

## **Bachelor-Thesis**

# **Planung, Bau und Inbetriebnahme einer Anlage zur Entspannungsverdampfung im Technikums-Maßstab**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Engineering

Im Studiengang  
Umwelt- und Energieverfahrenstechnik

An der Fakultät  
Maschinenbau und Verfahrenstechnik  
der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg

**Vorgelegt von:**                      **Julian Schlegel**

Abgabe-Datum:                      15.02.2023

Bearbeitungszeitraum:              3 Monate

1. Gutachter:                      Prof. Dr.-Ing. Susanne Mall-Gleißle

2. Gutachter:                      Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Zimmer



## I Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Bachelor-Thesis von mir selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt worden ist, insbesondere, dass ich alle Stellen, die wörtlich oder annähernd wörtlich oder dem Gedanken nach aus Veröffentlichungen, unveröffentlichten Unterlagen und Gesprächen entnommen worden sind, als solche an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit durch Zitate kenntlich gemacht habe, wobei in den Zitaten jeweils der Umfang der entnommenen Originalzitate kenntlich gemacht wurde. Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Versicherung rechtliche Folgen haben wird.

*Offenburg, 15.02.2023*

---

*Julian Schlegel*

## II Erklärung zum Urheberrecht

Diese Bachelor-Thesis ist urheberrechtlich geschützt, unbeschadet dessen wird der folgenden Rechtsübertragungen zugestimmt:

1. der Übertragung des Rechts auf Vervielfältigung der Bachelor-Thesis für Lehrzwecke an der Hochschule Offenburg (§ 16 UrhG),
2. der Übertragung der Vortrags-, Aufführungs- und Vorführungsrechts für Lehrzwecke durch Professoren der Hochschule Offenburg (§ 19 UrhG),
3. der Übertragung des Rechts auf Wiedergabe durch Bild- und Tonträger an die Hochschule Offenburg (§ 21 UrhG).

*Offenburg, 15.02.2023*

---

*Julian Schlegel*

## III Kurzfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine Anlage im Technikums-Maßstab für den Prozess der kontinuierliche Entspannungsverdampfung zu planen, zu bauen und in Betrieb zu nehmen. Ausgangspunkt der Arbeit ist die Entspannungsverdampfungs-Anlage „EVERDA“ der Hochschule Offenburg, welche in Batch-Fahrweise betrieben wurde.

Zur Erreichung dieses Ziels wurden die folgenden Punkte bearbeitet:

- Aufstellung von thermodynamischen Berechnungsgleichungen.
- Beschreibung der Entspannungsverdampfung in Batch-Fahrweise.
- Bewertung von Anlagenkomponenten der EVERDA in Batch-Fahrweise hinsichtlich ihrer Wiederverwendbarkeit für den kontinuierlichen Betrieb.
- Aufstellung der Rahmenbedingung für den kontinuierlichen Betrieb.
- Erstellung und Beschreibung eines detaillierten Anlagenkonzeptes für den kontinuierlichen Betrieb.
- Durchführung von Prozess-Simulationen mit dem neuen Konzept.
- Auslegung der Komponenten auf Basis der Rahmenbedingung und den Ergebnissen der Simulation.
- Entwurf und Aufbau der elektrischen Verschaltung zur Anlagensteuerung.
- Bau und Inbetriebnahme der Anlage.

## IV Abstract

The aim of this work is to plan, build and commission a pilot-scaled plant for continuous flash evaporation. The starting point of the work is the plant for flash evaporation "EVERDA" of the University of Applied Sciences Offenburg, which was operated in batch mode.

To achieve this goal, the following points were worked on:

- Establishment of thermodynamic calculation equations.
- Description of the flash evaporation in batch mode.
- Evaluation of plant components of EVERDA in batch mode regarding their reusability for continuous operation.
- Establishment of the framework conditions for continuous operation.
- Preparation and description of a detailed plant concept for continuous operation.
- Execution of process simulations with the new concept.
- Design of the components based on the framework condition and the results of the simulation.
- Design and construction of the electrical circuitry for plant control.
- Construction and commissioning of the plant.

## V Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich zunächst bei den Betreuern dieser Bachelorthesis Frau Prof. Dr.-Ing. Susanne Mall-Gleißle und Herrn Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Zimmer für die Möglichkeit zur Durchführung einer Bachelorarbeit an der Hochschule, mit einer interessanten Themenstellung bedanken. Besonders dankbar bin ich für unsere wöchentlichen Besprechungen. Durch ihre regelmäßigen und fachkundigen Anregungen hat das Projekt bis zuletzt eine beständige Dynamik mit zielführender Ausrichtung erhalten. Dank ihrer Persönlichkeiten hat sich eine besonders harmonische Zusammenarbeit entwickelt, die ich keinesfalls für selbstverständlich halte.

Ein großer Dank gilt Herrn Johannes Schlien, welcher maßgeblich an der Erstellung und der Umsetzung für die elektrischen Verschaltung der Anlage beteiligt war. Sein Einsatz hat maßgeblich dazu beigetragen, den Projektfortschritt zu beschleunigen.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Tobias Duri für die tatkräftige Unterstützung beim Bau der Anlage bedanken. Seine umfassenden Kenntnisse und Fähigkeiten in fertigungstechnischen Disziplinen, sowie im Apparatebau, haben dem Projekt neue Möglichkeiten gegeben und Raum zur Entfaltung eröffnet.

Ihnen allen möchte ich für Ihren Beitrag zu dieser Arbeit danken und wünsche jedem einzelnen für die Zukunft alles Gute.

## VI Abkürzungen, Symbole, Indizes

### Abkürzungen

<b>Abkürzung:</b>	<b>Bedeutung:</b>
Abb.	<b>A</b> bbildung
AV	<b>A</b> nsprech <u>v</u> erzögerung
el.	<b>e</b> lektrisch
EVERDA	<b>E</b> ntspannungs <u>v</u> erdampfungs- <b>A</b> nlage
KB	<b>K</b> onti- <b>B</b> etrieb
MESAWA	<b>M</b> ulti- <b>E</b> ffekt- <b>S</b> olar- <b>A</b> nlage zur Meer <u>w</u> asserentsalzung
NBR	Acrylnitril-Butadien-Kautschuk ( <b>N</b> itrile <b>B</b> utadiene <b>R</b> ubber)
NC	Öffner eines Relais ( <b>n</b> ormally <b>c</b> losed)
NO	Schließer eines Relais ( <b>n</b> ormally <b>o</b> pen)
PP	<b>P</b> oly <u>p</u> ropylen
PTFE	<b>P</b> oly <u>t</u> etra <u>f</u> luore <u>t</u> hylene
SLP	<b>S</b> trom <u>l</u> auf <u>p</u> lan
spez.	<b>s</b> pezifisch
UNESCO	<b>U</b> nited <b>N</b> ations <b>E</b> ducational, <b>S</b> cientific and <b>C</b> ultural <b>O</b> rganization
vgl.	<b>v</b> er <u>g</u> leiche
ZP	<b>Z</b> ustand <u>s</u> punkt



## VI Abkürzungen, Symbole, Indizes

### Symbole:

Symbol:	Größe:	Einheit:
$\beta$	Realfaktor	-
$\rho$	Dichte	kg/m <sup>3</sup>
$\vartheta$	Temperatur	°C
$\bar{c}_p$	Mittlere spezifische Wärmekapazität	J/(kg K)
e	Regelabweichung	-
f	Frequenz	Hz
h	Spezifische Enthalpie	J/kg
I	Stromstärke	A
k	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m <sup>2</sup> K)
m	Masse	kg
P / W	Arbeit/Leistung	W
p	Druck	bar
Pr	Prandtl-Zahl	-
Q	Wärme	J
R	Ohm'scher Widerstand	Ω
Re	Reynoldszahl	-
s	Spezifische Entropie	J/(kg K)
T	Thermodynamische Temperatur	K
t	Zeit	s
$\Delta T_m$	Mittlere logarithmischen Temperaturdifferenz	K
U	Spannung	V
u	Stellgröße	-
$u_L$	Leerrohrgeschwindigkeit	m/s
V	Volumen	m <sup>3</sup>
w	Führungsgröße	-
x	Dampfanteil	-
x	Regelgröße	-
z	Störgröße	-

## VI Abkürzungen, Symbole, Indizes

### Indizes:

Index:	Bedeutung:
•	Ableitung nach der Zeit
$\bar{\quad}$ ; m	Gemittelte Größe
'	trocken gesättigter Dampf
''	siedende Flüssigkeit
1, 2, 3 / a, b, c	Beliebige Zustandspunkte
ab	abgeführt
D	Dampf
exp	experimentell
F	Feed
Friwa	Frischwasser
groß	Größerer Wert innerhalb einer Berechnung
H	Heizung
irr	irreversibel
is	isentrop
klein	Kleinerer Wert innerhalb einer Berechnung
Kond	Kondensat
M	Messglied
p	Bei konstantem Druck
R	Regler
rev	reversibel
S	Sumpf
t	technisch
T	Turbine / Thyristorsteller
th	theoretisch
w	Reines Wasser
zu	zugeführt

## VII Inhaltsverzeichnis

---

1	Einleitung .....	1
2	Grundlagen und Definitionen .....	2
2.1	Die Historie der Versuchsanlage EVERDA.....	2
2.2	Prozessbeschreibung der Flash-Verdampfung.....	3
3	Thermodynamische Berechnung .....	5
4	Die Versuchsanlage EVERDA in Batch-Fahrweise .....	12
4.1	Planung zur Übernahme einzelner Anlagenkomponenten.....	13
4.1.1	Vorlagebehälter B1 und Verrohrung des Heizkreislaufs.....	13
4.1.2	Kolonne und Sumpfbehälter B2.....	16
4.1.3	Durchlauferhitzer W.1.1 und W.1.2.....	18
4.1.4	Vakuumpumpe P2.....	20
4.1.5	Kreiselpumpen P1 und P3.....	21
4.1.6	Turbine und Kondensator-Einheit T1 und W2.....	21
4.1.7	Sensorik und Messdatenerfassung.....	22
5	Voraussetzungen zum kontinuierlichen Betrieb .....	23
5.1	Rahmenbedingungen und Herausforderungen.....	23
5.2	Grundlegende Prozessbeschreibung zum kontinuierlichen Betrieb .....	25
6	Simulation und Parameterstudie .....	26
6.1	Heizleistungen bei verschiedenen Prozessparametern .....	27
6.1.1	Maximal realisierbare und verfügbare Heizungsleistung.....	29
6.2	Vergleich der Heizleistungen und Dampfmassenströme .....	31
6.3	Sättigungsdampfdruck, Temperatur und Dampfanteile .....	33
7	Planung und Bau der Anlage .....	34
7.1	Anlagenkonzept und R&I-Fließbild .....	34
7.1.1	Prozessbeschreibung.....	34
7.2	Auslegung und Übernahme von Komponenten .....	38
7.2.1	Kolonne und Sumpfbehälter .....	38
7.2.2	Kreislaufpumpe P1 und Kondensatpumpe P2 .....	41

7.2.3	Füllstands- und Pumpensteuerung.....	43
7.2.4	Auslegung des Heizsystems mit W1.1 und W1.2.....	47
7.2.5	Strömungswächter .....	50
7.2.6	Temperaturregelung des Feeds .....	51
7.2.7	Messdatenerfassung und Möglichkeiten zur Bilanzierung der Anlage .....	53
7.3	Bau der Anlage .....	54
8	Aufbau der elektrischen Verschaltung .....	55
8.1	Struktur des Stromlaufplans .....	55
8.2	Funktionsweise der verwendeten Relais .....	56
8.3	Spannungsversorgung und Sicherheitseinrichtungen.....	57
8.4	Anschluss, Regelung und Steuerung der Heizungen.....	57
8.4.1	Regelung und Steuerung der Heizung W.1.2 .....	57
8.4.2	Steuerung der Heizung W.1.1 .....	58
8.5	Vakuumpumpe P3 und Steckdosen X8.1 bis X8.4 .....	59
8.6	Anschluss von Durchflussmesser, Transformator und PID-Regler .....	59
8.7	Anschluss der Magnetventile, Pumpensteuerung.....	60
8.7.1	Magnetventil V-01, Füllstandsteuerung im Sumpf.....	60
8.7.2	Magnetventil V-13, Steuerung der Kondensatpumpe.....	60
8.7.3	Magnetventil V-14, Steuerung der Kreislaufpumpe.....	61
8.7.4	Sensoranschluss, Keysight-Kommunikation .....	61
9	Inbetriebnahme .....	62
9.1	Funktionsnachweis.....	62
9.2	Einstellen der Regelparameter .....	63
9.3	Testlauf .....	64
10	Fazit und Ausblick.....	66
10.1	Punkte zur Weiterentwicklung der Anlage .....	67
11	Literaturverzeichnis.....	68
12	Anhang .....	72
12.1	Anhangsverzeichnis .....	72

# 1 Einleitung

---

Am 28. Juli 2010 wurde das „Recht auf Wasser“ von der Generalversammlung der Vereinten Nationen als Menschenrecht mit 122 Stimmen anerkannt. 41 Staaten haben sich ihrer Stimme enthalten. [1] Die Enthaltungen wurden damit begründet, dass „ein internationales Recht auf Wasser nicht existiere“ und „aus finanziellen Gründen nicht umsetzbar sei“ [2]. Dass sich diese Vermutung bewahrheitet hat, zeigt sich in der noch immer anhaltenden Weltwasserkrise. Im Weltwasserbericht von 2021 stellt die UNESCO fest, dass im Jahre 2018 über 3,6 Milliarden Menschen noch immer an zeitweise unzureichender Wasserversorgung gelitten haben. [3]

Um dieser Situation entgegenzuwirken, müssen vielseitige Technologien für die Trinkwassergewinnung entwickelt und stetig verbessert werden. Eine mögliche Technologie ist die großtechnische Trinkwassererzeugung aus Meerwasser in Niedertemperatur-Solarkraftwerken mittels der Entspannungsverdampfung. Eines dieser Kraftwerke ist die „Multi-Effekt-Solar-Anlage zur Meerwasserentsalzung“ (MESAWA). Für die Auslegung und zur Weiterentwicklung der MESAWA, wurde eine Anlage zur Entspannungsverdampfung (EVERDA) im Technikums-Maßstab gebaut. Diese wird in Batch-Fahrweise betrieben. Die EVERDA wird nun im Technikum der Hochschule Offenburg weiterentwickelt und das Wissen um den Prozess der Entspannungsverdampfung an Studierende weitergetragen.[4]

Die Entspannungsverdampfung ist ein energieaufwändiger Prozess. Bei der Weiterentwicklung der EVERDA spielt daher die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit durch die Minimierung des Energiebedarfs eine entscheidende Rolle. Aus der verfahrenstechnischen Sicht ist die wirtschaftlichste Fahrweise eines Prozesses zumeist der kontinuierliche Betrieb. Hierbei werden vor allem die energieintensiven An- und Abfahrzyklen der Anlage minimiert. Dies führt zwangsläufig zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Prozesses durch den reduzierten Energieaufwand bei der Produktion des Trinkwassers. [5, 6]

Mit dieser Arbeit wird daher die Planung, der Bau und die Inbetriebnahme einer Anlage zur Entspannungsverdampfung im Technikums-Maßstab durchgeführt. Dies geschieht mit dem übergeordneten Ziel, dass durch möglichst wirtschaftliche Prozesse das „Recht auf Wasser“ für alle Staaten finanziell umsetzbar wird.

## 2 Grundlagen und Definitionen

---

### 2.1 Die Historie der Versuchsanlage EVERDA

---

Die Versuchsanlage zur Entspannungsverdampfung von Meerwasser (EVERDA), ist eine Versuchsanlage aus dem Verbundprojekt „MESAWA“ zwischen M+M Turbinen-Technik GmbH, WITT SOLAR AG sowie dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Die Versuchsanlage EVERDA diente zur Weiterentwicklung der großtechnischen MESAWA mit Stromerzeugung und integriertem Langzeitspeicher. [7–9]

Im Jahre 2014 wurde die EVERDA im Rahmen des Verbundprojektes gebaut und in Betrieb genommen. In der ersten Entwicklungsstufe nach Stengler [8] und Albrecht [7] bestand die EVERDA im Wesentlichen aus einem Vorlagenbehälter mit Heizkreislauf, einer Flashkolonne zur Phasentrennung und einer Wasserringpumpe, mit der sowohl der Unterdruck in der Anlage aufrecht erhalten, als auch der entstehende Dampf kondensiert wurde. Mit diesem Aufbau konnte die Eignung des Prozesses in Batch-Fahrweise zur Meerwasserentsalzung bestätigt werden.

Nach Beenden des Verbundprojektes am KIT, wurde die EVERDA an die Hochschule Offenburg übergeben. Seither dient die EVERDA im Technikum der Hochschule Offenburg zur Veranschaulichung der Meerwasserentsalzung mittels Flash-Verdampfung. Mit dem Ziel zur Erreichung einer integrierten Stromerzeugung und einer letztlich autarken Anlage, wird die EVERDA seither an der Hochschule Offenburg weiterentwickelt.

Die zweite Entwicklungsstufe der EVERDA umfasst die Integration eines Turbinen-Kondensator-Moduls im Jahre 2016 [10]. Die Erweiterung ermöglicht das Aufrechterhalten des Vakuums in der Anlage durch die Kondensation des Dampfes im Kondensator. Hiermit wird die Wasserringpumpe nur noch zum einmaligen Evakuieren der Anlage benötigt. Mit der Turbine wurde die Möglichkeit eröffnet, mit dem entstehenden Dampf vor der Kondensation Strom zu erzeugen. Versuche innerhalb der zweiten Entwicklungsstufe haben gezeigt, dass zur Einbindung der Turbine in den Prozess eine kontinuierliche Prozessführung notwendig ist.

Seither liegt der Fokus der Forschung an der EVERDA auf dem Erreichen eines stationären und kontinuierlichen Betriebes. Dieser stellt die dritte Entwicklungsstufe der EVERDA dar und soll eine möglichst effiziente Einbindung der Turbine in den Prozess ermöglichen.

**Definition Konti-Betrieb (KB):**

Unter dem Begriff kontinuierlicher Betrieb oder auch Konti-Betrieb (KB) wird in der Verfahrenstechnik die Fahrweise eines technischen Prozesses verstanden, welcher kontinuierlich also ohne Unterbrechungen, abläuft. Bei kontinuierlichen Prozessen wird der Zeitbedarf für das Umrüsten, Reinigen oder Wiederbefüllen, sowie die Häufigkeit der An- und Abfahrzyklen minimiert. Daher ist der kontinuierliche Betrieb, gegenüber dem Chargen- oder Batch-Betrieb, zumeist die wirtschaftlichere und somit bevorzugte Fahrweise. [5, 6]

**2.2 Prozessbeschreibung der Flash-Verdampfung**

In Abbildung 1 ist der Aufbau der EVERDA in der zweiten Entwicklungsstufe (EVERDA 2) nach Koch [10] vereinfacht dargestellt. Anhand dieser Darstellung wird der Prozess der Entspannungsverdampfung erläutert.

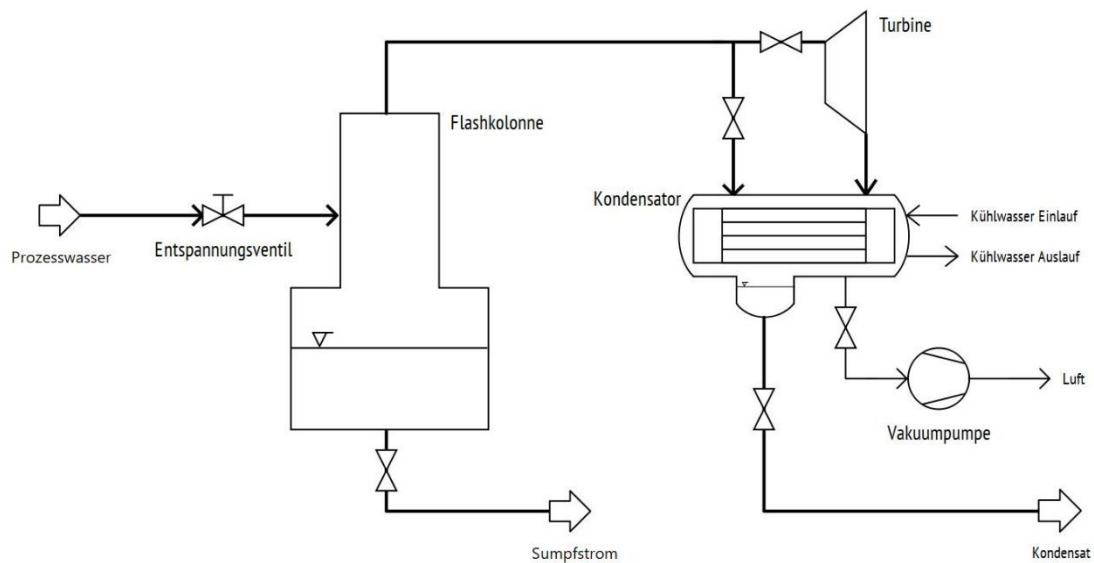


Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung zum Prozess Entspannungsverdampfung EVERDA 2 nach Koch [10]

Bei der Entspannungsverdampfung handelt es sich um einen Prozess, bei dem einem flüssigen Prozessmedium (im Folgenden als „Prozesswasser“ oder „Feed“ bezeichnet) Wärme zugeführt wird, sodass es sich nahe dem Siedepunkt befindet. Das Prozesswasser wird anschließend in ein Entspannungsventil geleitet und dort isenthalp auf einen niedrigeren Druck entspannt. Dieser Prozessschritt wird auch als „Flash“ bezeichnet. Hierbei verdampft ein Teil der flüssigen Phase. Der Sättigungsdampfdruck und die Sättigungstemperatur sind über die Dampfdruckkurve miteinander verknüpft. Da die Verdampfung ein endothermer Prozess ist, stellt sich bei gegebenem Druck eine Sättigungstemperatur gemäß dem thermodynamischen Gleichgewicht ein, welche unterhalb der Temperatur des Feed-Stromes liegt.

Druck und Temperatur in der Kolonne werden auch als Gleichgewichtsdruck und Gleichgewichtstemperatur, sowie Flashdruck und Flashtemperatur bezeichnet. Die Trennung von Gas- und Flüssigphase findet erst nach dem Entspannungsventil in der Flashkolonne statt. Während der Dampf die Kolonne am Kopf verlässt, sammelt sich die flüssige Phase am Boden der Kolonne im sogenannten „Sumpf“. Der entstehende Dampf könnte durch eine Turbine geleitet und damit mechanische Energie generiert werden.

Der für den Prozess benötigte Unterdruck wird beim Anfahren der Anlage mittels einer Vakuumpumpe erzeugt, welche am Kondensator angeschlossen ist und die gesamte Anlage evakuieren kann. Während des Betriebes wird der Unterdruck durch die Kondensation der Dampfphase im Kondensator aufrechterhalten. Die Kondensationswärme wird an das Kühlwasser übertragen.

Im Falle von Meerwasser als Prozesswasser verbleibt das im Feed gelöste Salz nach dem Flash in der flüssigen Phase. Die gasförmige Phase besteht aus (nahezu) salzfreiem Wasserdampf. Nach Albrecht [7] kann es in geringem Maß zu Tropfenmitriss kommen. Die durch den Salzgehalt bedingte Leitfähigkeit des Kondensates überschreitet jedoch nicht den Maximalwert für Trinkwasser von bis zu  $1000 \frac{\mu S}{cm}$ . Wird der Wasserdampf nach der Trennung der beiden Phasen wieder kondensiert, kann das so gewonnen Wasser als Trinkwasser verwendet werden. Der Prozess eignet sich demnach zur Trinkwasserzeugung [7].



### 3 Thermodynamische Berechnung

Zur Veranschaulichung der Flash-Verdampfung wird in diesem Kapitel das Druck-Enthalpie-Diagramm des reinen Wassers herangezogen. Die Flash-Verdampfung im Technikums-Betrieb findet in einem Temperaturbereich zwischen 50 und 100°C und bei Drücken von 0,1 bar bis 1 bar statt. Daher wird dieser Bereich aus dem  $\log(p),h$ -Diagramm des reinen Wassers in Abbildung 2 vergrößert dargestellt.

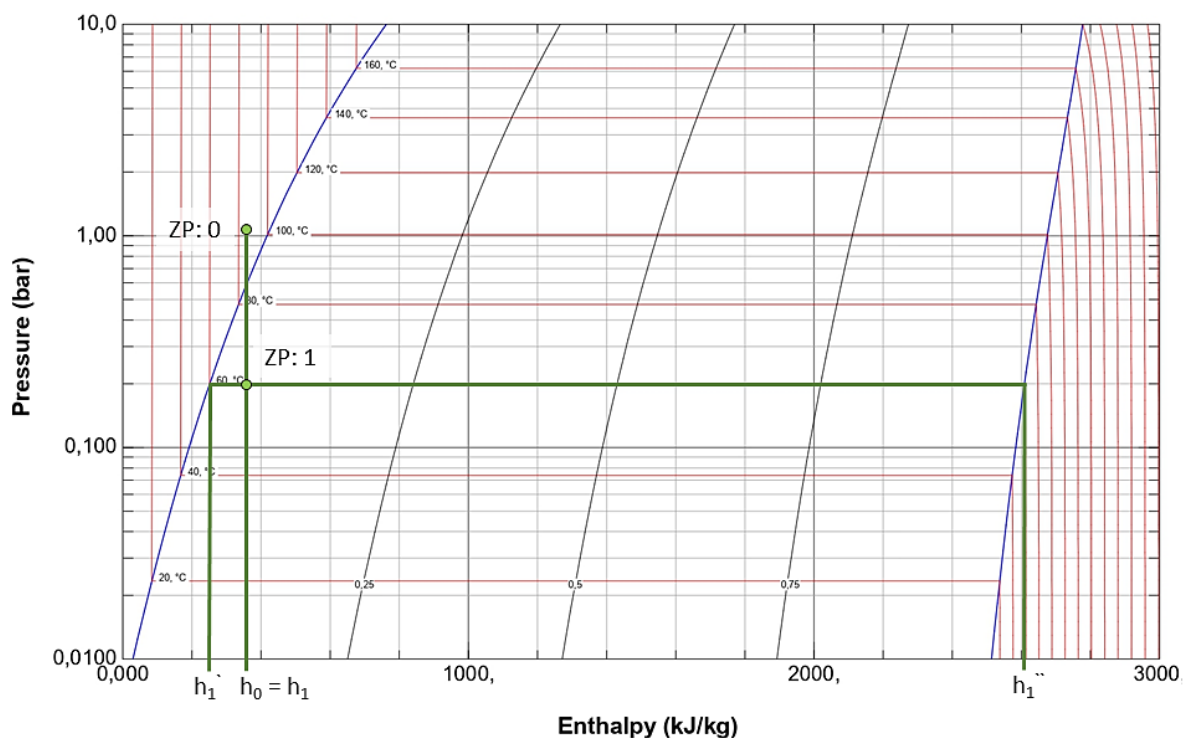


Abbildung 2: Darstellung der Flash-Verdampfung im  $\log(p),h$ -Diagramm des reinen Wassers erstellt mit Refprop

Für die Erwärmung des Wassers bis zur Feedtemperatur im Zustandspunkt 0 muss Wärme zugeführt werden. Die zugeführte Wärme zwischen zwei Zustandspunkten (a und b) kann nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik für offene Systeme mithilfe der spezifischen Enthalpien berechnet werden. Hierbei wird angenommen, dass keine technische Arbeit verrichtet wird. [11]

$$w_{a,b} + q_{a,b} = h_b - h_a \quad (1)$$

$$w_{a,b} = 0$$

Wenn der Wärmestrom konstant ist, kann dieser außerdem mithilfe der kalorischen Zustandsgleichung wie folgt berechnet werden: [12]

$$\dot{Q}_{zu} = \dot{m}_F \cdot \bar{c}_p(T) \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$Q_{zu} = \dot{m}_F \cdot \Delta t \cdot \bar{c}_p(T) \cdot \Delta T \quad (3)$$

Der zuzuführende Wärmestrom muss von einem Wärmeübertrager oder einer Elektroheizung zur Verfügung gestellt werden. Die Wärmeleistung ist proportional zur Austauschfläche der Wärmeübertragung  $A$  sowie der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz  $\Delta T_m$  und dem Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$ . [13]

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (4)$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_{gro\beta} - \Delta T_{klein}}{\ln \frac{\Delta T_{gro\beta}}{\Delta T_{klein}}} \quad (5)$$

In Abbildung 2 kennzeichnet der Zustandspunkt 0 (ZP: 0) die Temperatur und den Druck, mit dem das Wasser in das Entspannungsventil eingeleitet wird. Im Entspannungsventil wird das Wasser isenthalp auf einen Gleichgewichtsdruck  $p_1$  (welcher im obigen Beispiel 0,2 bar beträgt) entspannt. Es gilt:

$$h_0 = h_1 \quad (6)$$

Hierbei wird die Siedelinie im Druck-Enthalpie Diagramm überschritten.

ZP: 1 beschreibt den thermodynamischen Gleichgewichtszustand, welcher sich unmittelbar nach dem Entspannungsventil einstellt. Dieser befindet sich im Nassdampfgebiet, welches von der Siedelinie und der Taulinie eingeschlossen wird. Es stellt sich die dem Sättigungsdampfdruck  $p_1 = 0,2$  bar zugehörige Temperatur  $\vartheta_1 = 60^\circ\text{C}$  ein [14]. Diese beiden Parameter werden auch als Flashdruck und Flashtemperatur bezeichnet. In der Kolonne findet anschließend die Trennung der beiden Phasen statt.

Der Schnittpunkt von der Isothermen der Sättigungstemperatur bei  $60^\circ\text{C}$  mit der Siedelinie liefert die Enthalpie der siedenden Flüssigkeit  $h_1'$ .

Der Schnittpunkt der Isothermen der Sättigungstemperatur bei  $60^\circ\text{C}$  mit der Taulinie führt zur Enthalpie des trocken gesättigten Dampfes  $h_1''$ .

Aus den Enthalpien des Feeds ( $h_0$ ), der siedenden Flüssigkeit ( $h_1'$ ), sowie des trocken gesättigten Dampfes ( $h_1''$ ), lässt sich unter Anwendung des Gesetzes der abgewandten Hebelarme folgende Gleichung für den theoretischen Dampfanteil  $x_{th}$  aufstellen. [14]

$$x_{th} = \frac{h_0 - h_1'}{h_1'' - h_1'} \quad (7)$$

Der theoretische Dampfanteil  $x_{th}$  basiert auf einem ideal ablaufenden Prozess ohne Wärmeverlust und ist damit der maximal erreichbare Wert des Dampfanteiles für experimentelle Versuche. Der Dampfanteil  $x_{th}$ , die Sättigungstemperatur und der zugehörige Sättigungsdruck sind stoffspezifische Zustandsgrößen und unabhängig vom zugeführten Volumenstrom. Daher können diese Größen mit den Gleichungen der Thermodynamik berechnet und tabellarisch für ausgewählte Sättigungsdrücke angegeben werden. Eine Tabelle zum Dampfanteil bei ausgewählten Temperaturen des Feeds und variierenden Sättigungsdampfdrücken mit zugehöriger Sättigungstemperatur ist dem Anhang 12.3 beigelegt.

Bei bekanntem Feed-Massenstrom lässt sich aus dem theoretischen Dampfanteil  $x_{th}$  der entstehende Dampfmassenstrom  $\dot{m}_{D,th}$  sowie der Sumpfmassenstrom  $\dot{m}_{S,th}$  berechnen.

$$\dot{m}_{D,th} = x_{th} \cdot \dot{m}_F \quad (8)$$

$$\dot{m}_{S,th} = (1 - x_{th}) \cdot \dot{m}_F \quad (9)$$

Der reale Dampfanteil ergibt sich experimentell aus den gemessenen Massenströmen des Feeds und des entstehenden Dampfes. [15]

$$x_{exp} = \frac{\dot{m}_{D,exp}}{\dot{m}_{D,exp} + \dot{m}_{S,exp}} = \frac{\dot{m}_{D,exp}}{\dot{m}_{F,exp}} \quad (10)$$

Einen Vergleich zwischen realem und idealem Prozess liefert der Realfaktor  $\beta$ . Nach Stengler [8] entspricht dieser dem Quotienten aus dem Dampfanteil  $x_{exp}$ , welcher experimentell ermittelt wird und dem theoretischen Dampfanteil  $x_{th}$ , welcher aus dem idealen Prozess abgeleitet ist. Für den idealen Fall nimmt  $\beta$  den Wert 1 an. Damit würde der reale Prozess gemäß dem idealen Prozess ablaufen. Da in der Anlage Wärmeverluste auftreten, entspricht der reale Dampfanteil allerdings nicht dem theoretisch möglichen. Der Realanteil nimmt somit Werte zwischen 0 und 1 an und liefert eine Aussage über den Wirkungsgrad bei der Flashverdampfung bezüglich des entstehenden Dampfanteils. [8, 16]

$$\beta = \frac{x_{exp}}{x_{th}}, \text{ mit } 0 \leq \beta \leq 1 \quad (11)$$

Mithilfe des Dampfanteils lassen sich die Massenströme und Volumenströme des Dampfes und der flüssigen Phase berechnen, wobei Massen- und Volumenströme mithilfe der temperaturabhängigen Dichte ineinander umgerechnet werden können. Aus der Massenbilanz folgt für die Aufteilung des Feed-Massenstromes  $\dot{m}_F$  in den Dampf-Massenstrom  $\dot{m}_D$  und den Sumpf-Massenstrom  $\dot{m}_S$  :

$$\dot{m}_F = \rho_F(\vartheta_F) \cdot \dot{V}_F \quad (12)$$

$$\dot{m}_F = \dot{m}_D + \dot{m}_S = \rho_D(\vartheta_D) \cdot \dot{V}_D + \rho_S(\vartheta_S) \cdot \dot{V}_S \quad (13)$$

Es gilt für den theoretischen Dampfmassestrom  $\dot{m}_{D,th}$ :

$$\dot{m}_{D,th} = \dot{m}_F \cdot x_{th} = \rho_F(\vartheta_F) \cdot \dot{V}_F \cdot x_{th} \quad (14)$$

Der reale Dampfmassestrom lässt mit der folgenden Gleichung berechnen.

$$\dot{m}_{D,exp} = \dot{m}_F \cdot x_{exp} = \rho_F(\vartheta_F) \cdot \dot{V}_F \cdot x_{exp} = \dot{m}_F \cdot x_{th} \cdot \beta \quad (15)$$

Bei vollständiger Kondensation des Dampfes entspricht der Dampfmassestrom dem Kondensat-Massestrom und damit dem Massenstrom an gewonnenem Trinkwasser.

$$\dot{m}_D = \dot{m}_{Kond} \quad (16)$$

Wenn der entstehende Dampf in die Turbine eingeleitet wird, kann mechanische Energie erzeugt werden. Hierbei werden Wärmeverluste der Anlage und eventuell auftretende Kondensation in den Rohrleitungen nicht berücksichtigt.

Zur thermodynamischen Berechnung sind die Expansion innerhalb der Turbine und die zugehörigen Zustandspunkte in Abbildung 3 schematische dargestellt. Die Expansion kann ideal bzw. isentrop (also adiabat und reversibel), oder aber real (also irreversibel) betrachtet werden.

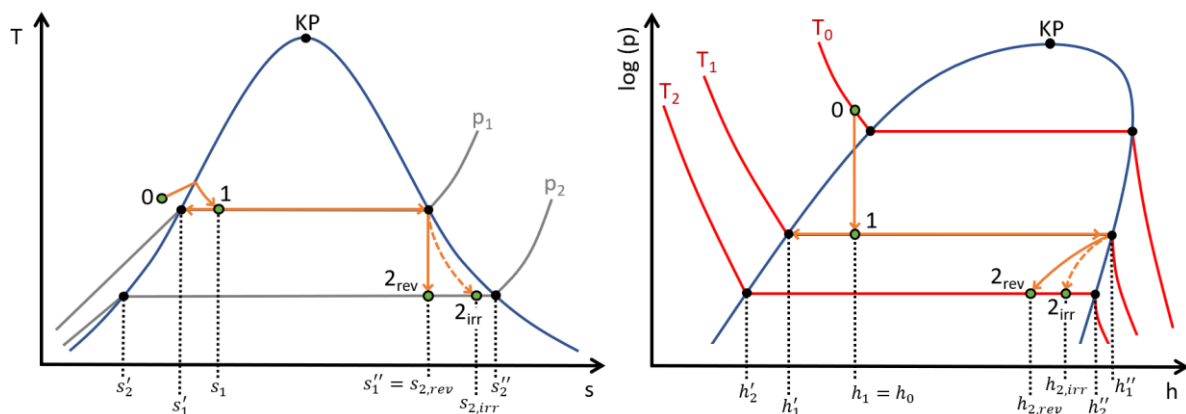


Abbildung 3: Flash-Verdampfung und Turbinenexpansion im  $T,s$ - und  $\log(p),h$ -Diagramm des reinen Wassers

Die technische Arbeit der Turbine für eine isentrope (adiabate und reversible) Expansion  $w_{t,rev,T}$  kann bei bekanntem Dampfmassenstrom mit den spezifischen Enthalpien des Dampfes vor- und nach der Turbine berechnet werden. Der Dampf am Eintritt der Turbine ist trockengesättigt. Nach der Turbine liegt Nassdampf vor.

$$w_{t,rev,T} = \dot{m}_{D,1} \cdot (h_1^{\ddot{}} - h_{2,rev}) \quad (17)$$

Hierbei beschreibt  $h_{2,rev}$  die spez. Enthalpie des gesamten Dampfes nach der Turbine und  $h_1^{\ddot{}}$  die spez. Enthalpie des trockengesättigten Dampfes im ZP 1. Die spez. Enthalpie  $h_{2,rev}$  setzt sich aus den spez. Enthalpien der siedenden Flüssigkeit  $h_2^{\dot{}}$  und des trocken gesättigten Dampfes  $h_2^{\ddot{}}$  unter Berücksichtigung des Dampfanteils  $x_{2,rev}$  nach der Turbine zusammen.

$$h_{2,rev} = h_{2,rev}^{\dot{}} + x_{2,rev} \cdot (h_2^{\ddot{}} - h_2^{\dot{}}) \quad (18)$$

Für den Dampfanteil gilt dabei:

$$x_{2,rev} = \frac{h_{2,rev} - h_2}{h_2 - h_2} = \frac{s_{2,rev} - s_2}{s_2 - s_2} \quad (19)$$

Für den reversiblen Fall und bei bekannten Druck- und Temperaturverhältnissen, sind die spez. Enthalpien und Entropien vor- und nach der Turbine bekannt. Diese lassen sich aus den Dampfdrucktafeln des reinen Wassers oder aus dem log(p),h-Diagramm, bzw. T,s-Diagramm des reinen Wassers ableiten [14].

Für den irreversiblen Fall muss der isentrope Wirkungsgrad der Turbine  $\eta_{is,T}$  berücksichtigt werden. Dieser ist das Verhältnis aus der technischen Arbeit für den irreversiblen  $w_{t,irr,T}$  und den reversiblen  $w_{t,rev,T}$  Fall. In Verbindung mit dem ersten Hauptsatz ergeben sich die folgenden Gleichungen:

$$\eta_{is,T} = \frac{w_{t,irr,T}}{w_{t,rev,T}} = \frac{h_1 - h_{2,irr}}{h_1 - h_{2,rev}} \quad (20)$$

$$h_{2,irr} = h_1 - \eta_{is,T} \cdot (h_1 - h_{2,rev}) \quad (21)$$

Für den Dampfanteil im irreversiblen Fall folgt daraus:

$$x_{2,irr} = \frac{h_{2,rev} - h_2}{h_2 - h_2} = \frac{s_{2,irr} - s_2}{s_2 - s_2} \quad (22)$$

Hierdurch kann die mechanisch generierte Energie der Turbine auch für den irreversiblen und damit realen Fall bestimmt werden.

$$w_{t,irr,T} = \dot{m}_{D,1} \cdot (h_1 - h_{2,irr}) \quad (23)$$

## 4 Die Versuchsanlage EVERDA in Batch-Fahrweise

Im derzeitigen Zustand wird die EVERDA im Technikum der Hochschule Offenburg in Batch-Fahrweise und mit Leitungswasser betrieben (Stand Oktober 2022). Zur Veranschaulichung des Versuchsablaufes ist eine vereinfachte Darstellung der EVERDA 2 für den Batch-Betrieb in Abbildung 4 dargestellt. Ein ausführliches R&I-Fließbild der EVERDA 2 nach Koch [10] ist dem Anhang 12.2 beigelegt.

Für den Batch-Betrieb ist ein Vorlagenbehälter (B1) mit einem Heizkreislauf (W1) für die Heißwasser-Aufbereitung an die Anlage angeschlossen. Der notwendige Unterdruck in der Anlage wird zu Beginn eines Versuches mit der Vakuumpumpe (P2) erzeugt, welche am Kondensator (W2) angeschlossen ist.

Nach der Aufheizphase wird der Behälterinhalt über das Entspannungsventil (V-10) in die zuvor evakuierte Flashkolonne (B2) geleitet und die flüssige Phase im Kolonnensumpf aufgefangen. Der entstehende Dampf wird über einen Bypass an der Turbine (T1) vorbei in den Kondensator geleitet. Dort kondensiert der Dampf vollständig. Das Kondensat wird in einem unter dem Kondensator befindlichen Behälter aufgefangen. Sobald der Vorlagenbehälter vollständig in die Kolonne entleert wurde, wird die Anlage belüftet. Der Sumpf wird zurück in den Behälter zur Vorlage gepumpt und das Kondensat über eine Handarmatur abgelassen. Der Versuchsablauf kann danach erneut gestartet werden. [10, 16]

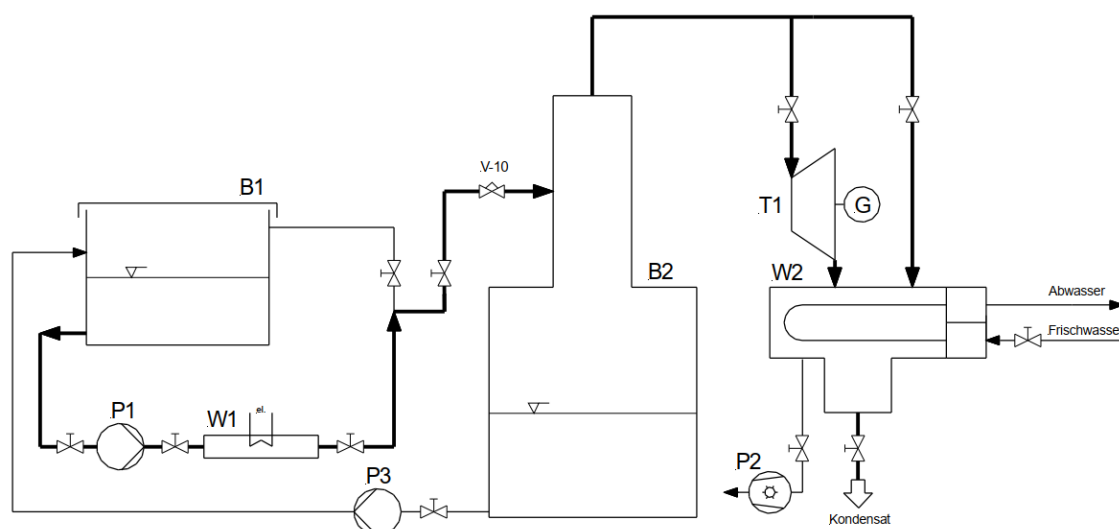


Abbildung 4: Vereinfachte schematische Darstellung der EVERDA 2 im Batch-Betrieb nach Koch [10]



## 4.1 Planung zur Übernahme einzelner Anlagenkomponenten

---

In diesem Kapitel werden die Hauptkomponenten der EVERDA im Batch-Betrieb erfasst. Die Erfassung dient der Entscheidungsfindung, welche der vorhandene Komponenten für einen KB verwendet werden können.

### 4.1.1 Vorlagebehälter B1 und Verrohrung des Heizkreislaufs

---

Der Vorlagenbehälter und die Verrohrung des Heizkreislaufes besitzen nur wenig Wärmedämmung. Insbesondere wenn hohe Temperaturen für die anschließende Flashverdampfung vorgelegt werden, wird im Heizkreislauf viel Wärme an die Umgebung abgegeben. Um die Wärmeverluste abschätzen zu können, wurde der Abkühlvorgang des vorgelegten Wassers nach Erwärmung auf 94 °C bis zu einer Temperatur von 90 °C gemessen. Für die Berechnung wurden die Stoffdaten des reinen Wassers gemittelt im Temperaturbereich von 94 °C bis 90°C nach VDI [14] herangezogen. Abbildung 5 zeigt den Abkühlvorgang des Heizkreislaufs.

Bei sinkender Temperatur verkleinert sich das treibende Temperaturgefälle zwischen Behälter und Umgebung. Dies führt zu einer Abkühlkurve in Form einer e-Funktion mit negativer Potenz. Diese nähert sich abflachend der Temperatur der Umgebung an. In kleinen Temperaturintervallen ist der Abkühlvorgang in guter Näherung als linear annehmbar. Die lineare Regression wurde mit einem Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,9976$  durchgeführt. Zur Abschätzung der Wärmeverluste wird diese Näherung als zulässig betrachtet.

Anfangstemperatur $\vartheta_1$ :	94 °C
Endtemperatur $\vartheta_2$ :	90°C
Zeitdifferenz $\Delta t$ :	3120 s
Vorgelegte Wassermasse:	277 kg
Dichte $\rho$ :	$995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Mittlere spezifische Wärmekapazität $\bar{c}_p$ :	$4,208 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

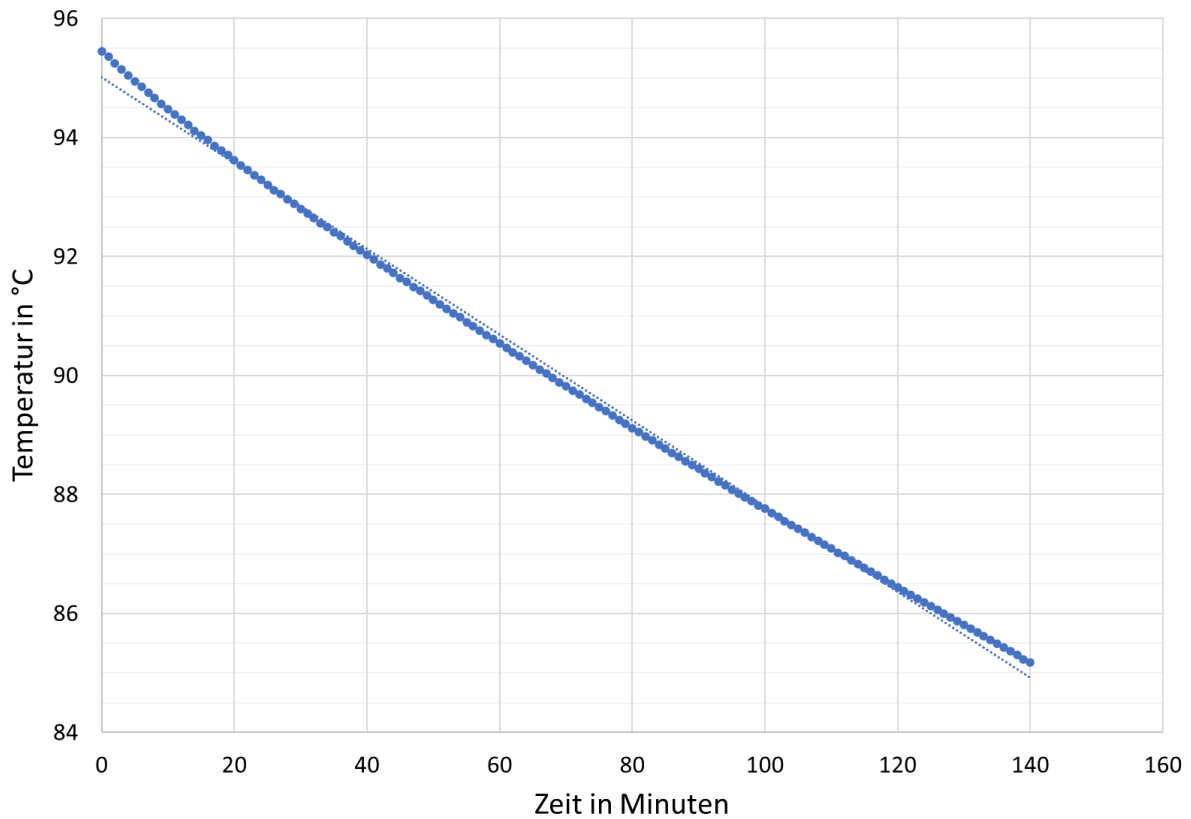


Abbildung 5: Abkühlvorgang Heizkreislauf mit linearer Regression zwischen 94 °C und 90 °C

Der abgeführte Wärmestrom wird als konstant angenommen und kann somit nach Gl. (1) bestimmt werden.

$$\dot{Q}_{ab} \approx 1,5 \text{ W}$$

Aus der Überschlagsrechnung geht hervor, dass der Heizkreislauf bei einer Temperaturen von etwa 92 °C ca. 1,5 kW Wärmeverluste aufweist. Dies ist auf die mangelnde Wärmedämmung der Anlage, sowie die Verformung des Deckels unter Temperatureinfluss zurückzuführen.

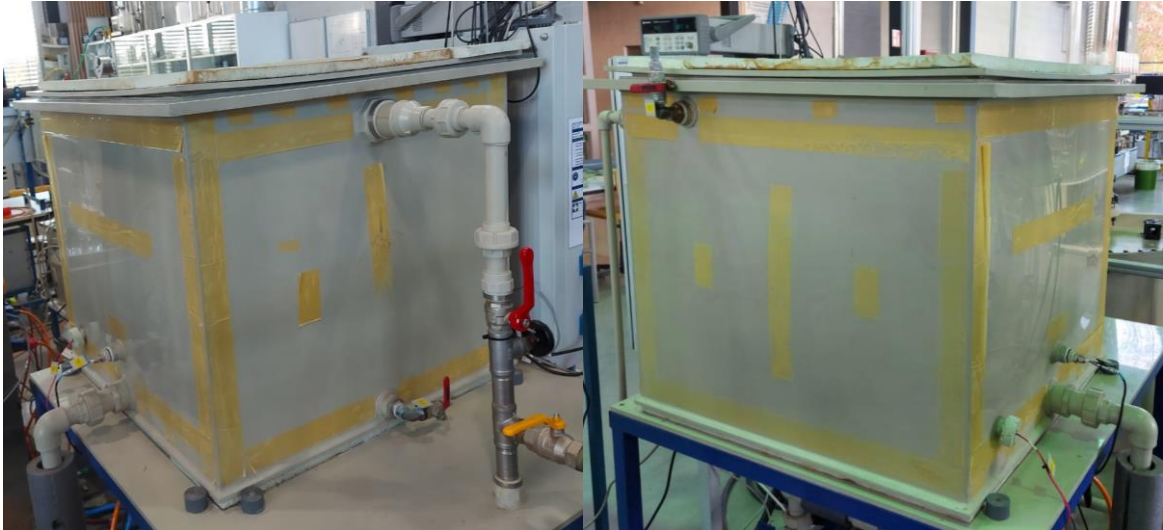


Abbildung 6: Vorlagenbehälter bei 80 °C Wassertemperatur, Vorderansicht (links) Rückseitenansicht (rechts)

In Abbildung 6 ist der Vorlagenbehälter B1 bei einer Wassertemperatur von 80°C abgebildet. Bei hohen Temperaturen verformt sich der Deckel und sinkt in der Mitte des Behälters ab, während die Ecken angehoben werden. Der Deckel schließt unter Hitzeeinwirkung nicht mehr vollständig mit dem Behälter ab. Durch die Öffnung kann Wasserdampf aus dem Behälter entweichen. Der Wasserdampf kondensiert nicht mehr im Behälter und führt somit ebenfalls Wärme ab.

Allgemein befindet sich der Vorlagenbehälter in einem schlechten Zustand. Es wurde daher mit den Betreuern beschlossen, den Vorlagenbehälter B1 nach Möglichkeit nicht in das Konzept für den KB einzubinden. [17]

#### 4.1.2 Kolonne und Sumpfbehälter B2



Abbildung 7: Kolonne mit Sumpfbehälter , Rückseitenansicht (links), Seitenansicht (rechts)

Die Kolonne besteht aus einem zweiteiligem, zylindrischen Glasschuss, welcher in der Mitte von einem Edelstahl-Flansch getrennt wird. Am Flansch erfolgt die Einspeisung des Feeds in die Kolonne. Durch die spezielle Geometrie des Einlaufrohrs am Flansch bildet sich im Betrieb eine zirkulierende Strömung durch den aufsteigenden Dampf an der Kolonnenwand aus. Der Glasschuss dient zur Anschauung der Phasentrennung. Am Kopf der Kolonne befindet sich die Dampfleitung, welche direkt zum Kondensator-Turbinen-Modul führt. Die am Kondensator angeschlossen Vakuumpumpe evakuiert neben dem Kondensator und der Turbine über die Dampfleitung auch die Kolonne und den Sumpfbehälter. Unterhalb des Glasschusses befindet sich der aus PP gefertigte Sumpfbehälter. Der Deckel des Sumpfbehälters ist durch kreuzförmig angeordnete PP-Streben verstärkt, welche der Verformung des Deckels im Vakuum entgegenwirken sollen. Die Streben sind durch Kunststoffschweißtechnik auf den Deckel angebracht. Der Sumpfbehälter hat einen Innendurchmesser von etwa 850 mm.

Bei den Versuchen im Batch-Betrieb hat sich herausgestellt, dass der Deckel des Sumpfbehälter im Unterdruck trotz Verstärkungselementen eine Wölbung aufweist. Mit dem Behälter wurden im Rahmen der Versuche im Technikum bereits viele Evakuierungszyklen durchgeführt.

Aufgrund der ständig wechselnden, mechanischen Belastung auf die Schweißnähte der Verstärkungstreben, sind Ermüdungserscheinungen wie Abhebungen und Risse zu erkennen. Da der Deckel des Sumpfbehälters das tragende Element für den darüberliegenden Glasschuss ist, geht von den Ermüdungserscheinungen ein nicht zu vernachlässigendes Gefährdungspotential aus. Würde der Sumpfbehälter im Extremfall durch das angelegte Vakuum implodieren, so könnte der Glasschuss zerbrechen. Hierbei könnten Glassplitter entstehen, die unkontrolliert in den Raum freigesetzt werden und Personen in näherer Umgebung verletzen könnten.

Aus diesen Umständen ist die Weiterverwendung des Sumpfbehälters und der Kolonne nur unter der Voraussetzung möglich, dass der Deckel in ausreichender Form gegenüber den mechanischen Belastungen verstärkt oder ersetzt wird. [18]

### 4.1.3 Durchlauferhitzer W.1.1 und W.1.2

---

Bei den im Batch-Betrieb verwendeten Durchlauferhitzern handelt es sich um Heizsysteme der Firma „Behncke GmbH“. Nach Angaben des Herstellers beträgt die Leistung der Durchlauferhitzer etwa 18 kW [19, 20].

Ein Durchlauferhitzer besteht aus einem Heizstab, welcher in ein Durchlaufrohr montiert wird. Der Heizstab besteht aus drei Heizelementen. Im Durchlaufrohr befindet sich zusätzlich ein Paddel-Strömungswächter, welcher die Heizung bei zu geringem Durchfluss ausschaltet. Hiermit kann ein Überhitzen der Heizungen verhindert werden. Es sind zwei Durchlauferhitzer (W.1.1 und W.1.2) vorhanden. Im Batch-Betrieb wurde nur der Durchlauferhitzer W.1.1 verwendet. Dieser ist voll funktionsfähig und bedarf daher keiner Leistungskontrolle, da diese bereits im Batch-Betrieb nachgewiesen werden konnte. Der zweite Durchlauferhitzer W.1.2 ist aus unbekanntem Gründen nicht in den Batch-Betrieb eingebunden.

Um die Funktionsfähigkeit des Heizstabes von W.1.2 nachzuweisen, wurde dessen theoretische- und die experimentelle Leistung ermittelt. Ein Heizstab besteht aus drei U-förmig gebogenen Heizelementen, welche dreiphasig in Stern-Schaltung angeschlossen werden und einen ohmschen Widerstand darstellen. [20]

#### a) Theoretisch ermittelte Leistung:

Die Leistung eines Heizstabes ist die Summe der Einzelleistungen der drei Heizelemente. Diese können wiederum mithilfe der Betriebsspannung und dem ohmschen Widerstand bestimmt werden. Jedes Heizelement wird von einer Phase des Dreiphasensystems im Starkstromnetz mit 230 V Spannung versorgt.

- Ohm'scher Widerstand R der Heizstäbe (gemessen): 9,1  $\Omega$
- Betriebsspannung U eines Heizstabes: 230 V

Zur Berechnung wird das Ohm'sche Gesetz und der Energiesatz nach Kirchhoff angewendet [21].

Für jedes Heizelement ergibt sich hieraus eine Stromstärke von:

$$I_{\text{Heizelement}} \approx 25,3 \text{ A}$$

Die Leistung eines einzelnen Heizelementes beträgt:

$$P_{\text{Heizelement}} \approx 5,8 \text{ kW}$$

Für einen Heizstab mit drei Heizelementen folgt daraus eine Gesamtleistung von:

$$P_{\text{Heizstab}} = 3 \cdot P_{\text{Heizelement}} \approx 17,4 \text{ kW}$$

Die gemessene Leistung liegt unterhalb der vom Hersteller angegebenen 18 kW. Die Messung des Widerstandes erfolgte auf den teils korrodierten Anschlüssen des Heizstabs. Dies erhöht den gemessenen Widerstand und verringert damit die errechnete Leistung. Dennoch kann mit der Messung bestätigt werden, dass der Heizstab funktionsfähig ist und keine Brüche im Material der Stäbe vorliegen.

### b) Experimentell ermittelte Leistung:

Für die Ermittlung der experimentellen Leistung wurde der Heizstab W.1.2 mit W.1.1. getauscht und somit angeschlossen. Es wurde die Zeitdauer zum Erhitzen einer definierten Wassermenge von einer Anfangstemperatur  $\vartheta_0 = 20 \text{ °C}$  bis zur Endtemperatur  $\vartheta_1 = 40 \text{ °C}$  gemessen.

In diesem Temperaturbereich kann die Aufheizkurve in guter Näherung als linearen angenommen werden. Für die Berechnung nach dem ersten Hauptsatz (Gl.1), werden die spezifischen Enthalpien des reinen Wassers bei 20 °C und 40°C nach VDI [14] verwendet.

- Vorgelegte Wassermasse:  $m_w = 330 \text{ kg}$
- Aufheizdauer von 20 °C bis 40 °C:  $\Delta t = 1550 \text{ s}$
- Spezifische Enthalpie Wasser bei 20 °C:  $h_1 = 84,0 \text{ kJ/kg}$
- Spezifische Enthalpie Wasser bei 40 °C:  $h_2 = 167,6 \text{ kJ/kg}$

Nach Gl. (1) folgt:

$$\dot{Q} = \frac{Q_{12}}{\Delta t} = \frac{(h_2 - h_1) \cdot m_w}{\Delta t} \approx 17,8 \text{ kJ/s} = 17,8 \text{ kW}$$

Es ergibt sich eine Leistung von etwa 18 kW, wobei die Wärmeverluste des Systems nicht berücksichtigt werden. Es ist daher anzunehmen, dass die tatsächliche Leistung der Heizstäbe mehr als 17,8 kW beträgt.

**c) Durchlaufrohr und Strömungswächter**

Die in den Durchlaufrohren verbauten Paddel-Strömungswächter haben einen durchflussspezifischen Schaltpunkt. Wenn der Durchfluss unter diesen Wert fällt, so schaltet der Strömungswächter über die Steuerung im Schaltkasten die Heizung aus. [20]

- Durchflussspezifischer Schaltpunkt bei:  $\dot{V} \approx 36 \frac{l}{min} = 2160 \frac{l}{h}$

**d) Fazit zur Wiederverwendbarkeit**

Beide Heizstäbe sind voll funktionsfähig. Die Leistungen von jeweils 18 kW konnten nachgewiesen werden. Beide Heizstäbe können daher für den KB verwendet werden. Hiermit steht insgesamt eine Leistung von etwa 36 kW zur Verfügung. Ein Strömungswächter zur Absicherung der Heizung gegen Überhitzung muss auch im KB vorgesehen werden. Der Strömungswächter aus dem vorhandenen Heizsystem kann verwendet werden, wenn der Durchfluss des Heizsystem im neuen Konzept stets mehr als 2160 l/h beträgt.

Es wurde beschlossen, die Heizstäbe in ein neu auszulegendes Durchlaufrohr einzubauen. Dies soll zu einem vereinfachten Aufbau des Heizsystems und einer wertigeren Optik der Gesamtanlage führen. [18]

#### 4.1.4 Vakuumpumpe P2

---

Die im Batch-Betrieb verwendete Vakuumpumpe P2 ist voll funktionsfähig. Allerdings benötigt die Vakuumpumpe für die Evakuierung der Anlage mehrere Stunden. Es wurde daher mit den Betreuern beschlossen, die Vakuumpumpe P2 zwar im KB zu übernehmen, jedoch zusätzlich eine Koppelstelle für die ebenfalls im Technikum vorhandene Wasserringpumpe zur schnelleren Evakuierung der Anlage vorzusehen. Die Wasserringpumpe soll hierbei extern angeschlossen werden und somit auch für andere Anlagen zur Verfügung stehen. [22]



#### 4.1.5 Kreiselpumpen P1 und P3

---

Die Kreiselpumpen P1 und P3 werden im Batch-Betrieb verwendet und sind voll funktionsfähig. Beide Pumpen haben eine Nennleistung von 0,55 kW.

Diese Pumpenart ist in jedem Fall vor Kavitation zu schützen. Als Kavitation bezeichnet man die augenblickliche, lokale Verdampfung von Flüssigkeitstropfen und das anschließende Zusammenfallen (Implosion) der entstandenen Gasblasen. Beim Zusammenfallen der Gasblasen entstehen hohe Drücke und sogenannte Mikrojets, die zur Schädigung von mechanischen Bauteilen der Pumpe führen. Ein besonders hohes Risiko besteht dann, wenn die Pumpe eine Flüssigkeit fördern soll, welche sich nahe der Siedetemperatur befindet. In diesem Fall kann der Druck auf der Saugseite der Pumpe unter den Dampfdruck der Flüssigkeit sinken und es kommt zur Kavitation. [23, 24]

Die Kreiselpumpen können weiterverwendet werden wenn sichergestellt wird, dass keine Kavitationsgefährdung von den Druck- und Temperaturbedingungen an den Pumpen ausgeht.

#### 4.1.6 Turbine und Kondensator-Einheit T1 und W2

---

Die EVERDA wurde im Rahmen der Abschlussarbeit von Koch [10] um ein Turbinen-Kondensator-Modul erweitert. Das Modul ist auf einen hohen technischen Stand und wurde nach Industriemaßstäben gefertigt. Details zur Funktion und dem Aufbau der Turbine können der Abschlussarbeit von Koch entnommen werden.

Um die Turbine sinnvoll betreiben und damit mechanische Energie generieren zu können, muss ein kontinuierlicher Dampfmassenstrom zur Verfügung gestellt werden. Da dies im bisherigen Batch-Betrieb nicht gewährleistet war, wurde der Dampf über einen Bypass an der Turbine vorbei, direkt in den Kondensator geleitet. Der Kondensator wird mit Frischwasser aus dem Technikum gekühlt. Unter dem Kondensator befindet sich ein Auffangbehälter für das entstehende Kondensat. Seitlich am Auffangbehälter sind zwei Anschlüsse verfügbar, an denen ein Bypass oder Füllstandsensoren angeschlossen werden könnten.

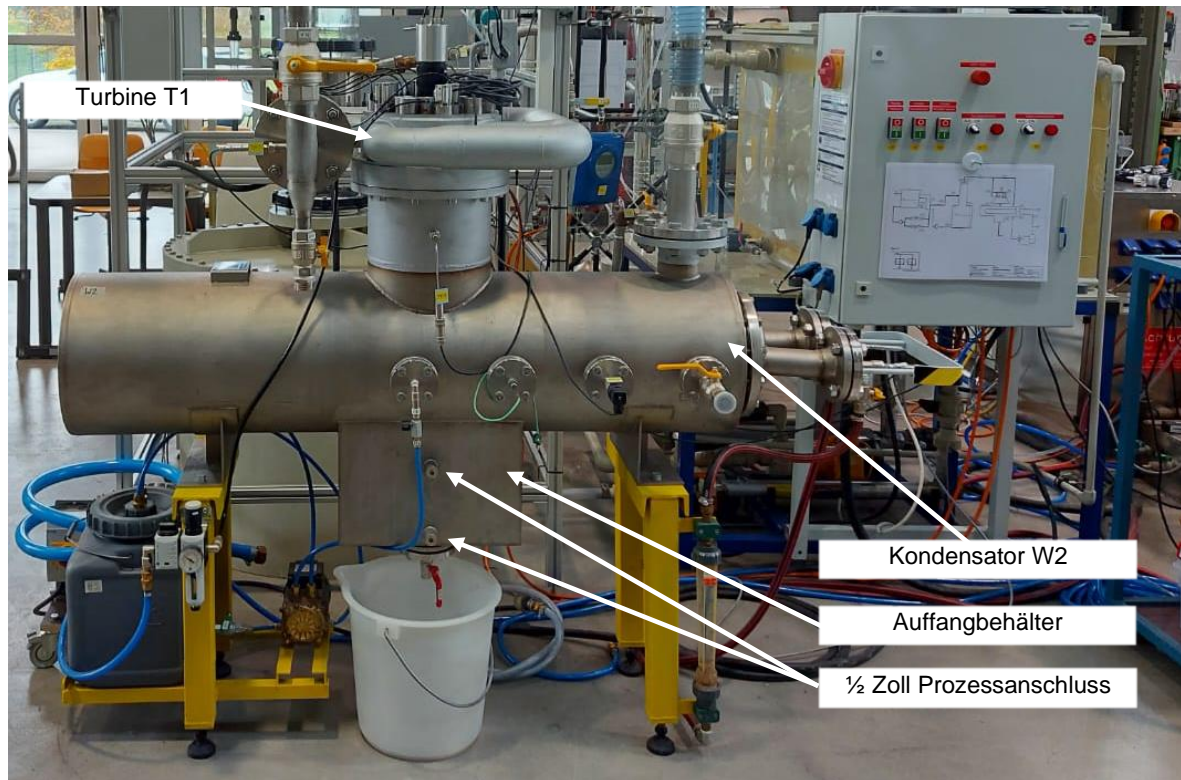


Abbildung 8: Kondensator-Turbinen Modul nach Koch [10]

Das Kondensator-Turbinen Modul soll unverändert in den KB übernommen werden. Mit dem neuen Konzept soll ein konstanter Dampfmassenstrom erzeugt werden, welcher das Einbinden der Turbine in den Prozess ermöglicht.

#### 4.1.7 Sensorik und Messdatenerfassung

Für den Batch-Betrieb wurden diverse Messstellen an der EVERDA eingerichtet. Zur Datenerfassung werden die Sensoren an ein Messdaten-Erfassungssystem mit Kanal-Multiplexer der Firma Keysigth angeschlossen. [25]. Die Messdaten werden an einen Computer weitergeleitet und mithilfe der Software LabView gespeichert sowie graphisch dargestellt.

Alle Sensoren sind funktionsfähig. Sensoren und Messdatenerfassung können direkt in das neue Konzept eingebunden werden. Eine Veränderungen bei der Messdatenerfassung oder die Umstellung auf andere Systeme (beispielsweise eine Speicherprogrammierbare Steuerung, kurz: SPS) ist im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgesehen. Die Position der Messstellen an der Anlage können im kontinuierlichen Konzept allerdings beliebig verändert werden. Durch die Positionierung der Messstellen sollen Prozessparameter überwacht und einzelne Anlagenkomponenten bilanziert werden können.

## 5 Voraussetzungen zum kontinuierlichen Betrieb

---

In diesem Kapitel wird die Konzeptionierung des kontinuierlichen Betriebes der EVERDA 3 erläutert. Ausgehend von den Anforderungen an den KB, wurde eine vereinfachte Darstellung des Gesamtkonzeptes entworfen und das neue Konzept mit der Software „ChemCAD“ simuliert. Es wurden ausführliche Parameterstudien durchgeführt, welche zur Auslegung der einzelnen Komponenten dienen.

### 5.1 Rahmenbedingungen und Herausforderungen

---

Die Rahmenbedingungen für den KB der EVERDA lassen sich in zwei Bereiche unterteilen. Zunächst erfordert der KB eine Auslegung der Anlage, welche eine kontinuierliche Prozessführung ermöglicht. Zusätzlich muss die EVERDA 3 die Anforderungen als Technikums-Anlage der Hochschule erfüllen.

#### a) Anforderungen an die Auslegung der Anlage

- Die Füllstände in den Behältern müssen automatisch geregelt oder gesteuert werden, um ein Leer- und Volllaufen der Anlage zu verhindern.
- Der Unterdruck in der Anlage muss aufrechterhalten werden.
- Die Komponenten müssen hinsichtlich der gewählten Werkstoffe und ihrer Auslegung gegenüber den Prozessbedingungen (Temperatur und Druck) beständig sein.
- Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten untereinander muss den kontinuierlichen Betrieb und das Erreichen konstanter Prozessparameter in der Anlage ermöglichen.

**b) Anforderungen als Technikums-Anlage der Hochschule Offenburg**

- Der Gesamt-Strombedarf der EVERDA, inklusive deren Peripherie, darf den maximal möglichen Strom einer Energiesäule im Technikum von 63 Ampere pro Phase nicht überschreiten.
- Volumenstrom und Temperatur des Feeds, sowie der Flashdruck sollen für Versuche variiert werden können.
- Der Dampfvolumenstrom soll ausreichend sein, um die Turbine betreiben zu können.
- Nach Möglichkeit soll der Prozess für Versuche im Technikum anschaulich gestaltet werden. Hierfür sind transparente Glaskomponenten prädestiniert.
- Die Bilanzierung verschiedener Anlagenkomponenten soll durch geschickte Anordnung der Messstellen möglich werden.
- Wenn die Möglichkeit besteht, sollen vorhandene Komponente aus dem Batch-Betrieb wiederverwendet werden.
- Neu anzuschaffende Komponenten sollen möglichst preiswert sein.

## 5.2 Grundlegende Prozessbeschreibung zum kontinuierlichen Betrieb

Im neu entwickelten Konzept zum KB wird der Heizkreislauf, welcher im Batch-Betrieb über den Vorlagenbehälter realisiert wurde (vgl. Abb. 4), verändert. Das neue Konzept ist in Abbildung 9 vereinfacht, also zunächst ohne Messstellen und Ventile, dargestellt.

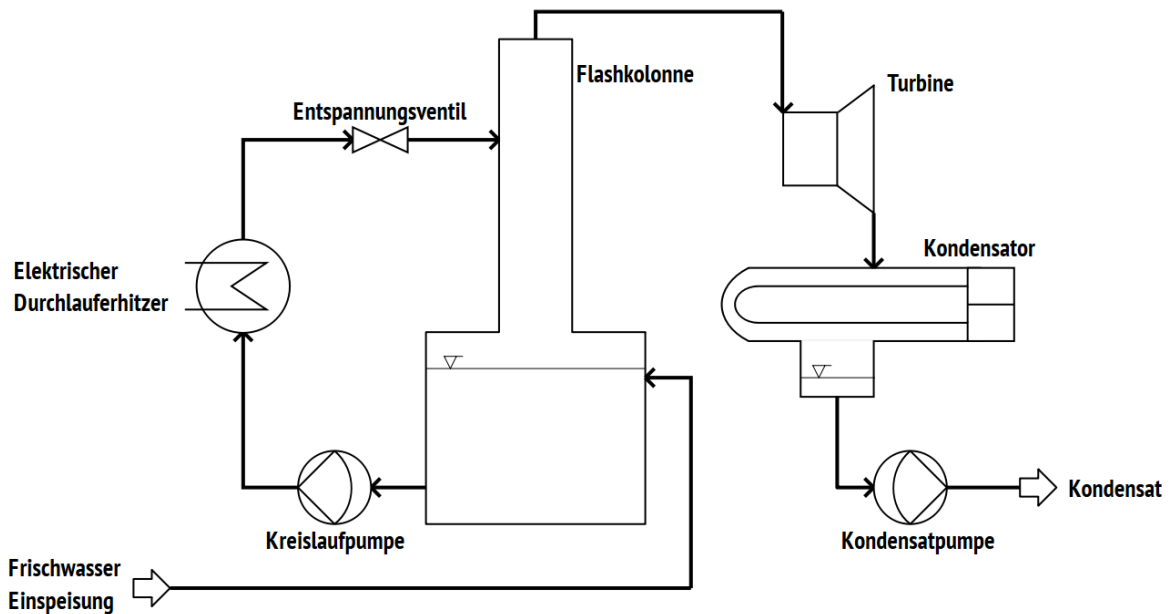


Abbildung 9: Vereinfachte Darstellung zum Konzept des kontinuierlichen Betriebes der EVERDA 3

Anstelle eines externen Behälters soll nun der Sumpf der Kolonne als Vorlage oder Speicherbehälter für den Heizkreislauf dienen. Der Vorlagebehälter B1 wird damit im neuen Konzept nicht weiterverwendet. Das Vakuum in der Anlage wird wie zuvor über eine am Kondensator angeschlossene Vakuumpumpe hergestellt. Zusätzlich wird die Einbindung der Wasserringpumpe über eine Koppelstelle am Kondensator vorgesehen. Das Frischwasser wird direkt in den Sumpf der Kolonne eingespeist. Eine Kreislaufpumpe fördert das Wasser vom Sumpf in den Durchlauferhitzer. Der Durchlauferhitzer liefert den nötigen Wärmestrom zur Erhöhung der Feedtemperatur. Mit dem Entspannungsventil kann manuell ein gewünschter Volumenstrom eingestellt werden. Der entstehende Dampf wird zunächst durch die Turbine geleitet, bevor er im Kondensator vollständig kondensiert. Die Möglichkeit, den Dampf über den Bypass an der Turbine vorbeizuleiten bleibt bestehen. Das Kondensat sammelt sich im Behälter unter dem Kondensator. Von hier aus fördert eine Kondensatpumpe das Kondensat aus der Anlage. Als Prozessmedium wird Süßwasser verwendet.

## 6 Simulation und Parameterstudie

---

Mit der Simulationssoftware ChemCAD wurde der kontinuierliche Betrieb nach der vereinfachten Darstellung (Abb. 9) simuliert. Ziel der Simulation ist die Erkenntnis über Zusammenhänge und Abhängigkeiten bezüglich der Prozess-Parameter. Insbesondere die Abhängigkeiten der zuzuführenden Wärmeleistungen von der gewünschter Temperatur des Feeds und dem gewünschtem Flashdruck ist für die Auslegung des Heizsystems von entscheidender Bedeutung.

Folgende Annahmen wurden für die Simulation getroffen:

- Prozessmedium ist Süßwasser.
- Temperatur des Frischwassers (Nachspeisung in den Sumpf) = 20 °C.
- Der Massenstrom an Kondensat, welcher die Anlage verlässt, entspricht dem Massenstrom an zugeführtem Frischwasser.  $\dot{m}_{Kond.} = \dot{m}_{Friwa}$
- Es erfolgt keine Anreicherung von Salz in der Anlage.
- Der Prozess verläuft ideal. Wärmeverluste der Anlage werden somit nicht berücksichtigt.

Für die Parameterstudien wurden die folgenden Variationen festgelegt:

- Feed-Volumenstrom von 1000 l/h bis 2000 l/h in 200 l/h-Intervallen.
- Feedtemperatur zwischen 70 °C und 100 °C in 1 °C-Intervallen.
- Flashdruck zwischen 0,05 bar und 0,3 bar in 0,025 bar-Intervallen.

Als Prozessmedium wird ausschließlich Süßwasser verwendet. Auch bei Wasser mit geringem Salzgehalt erhöht sich die Salzkonzentration im Sumpf, wenn nicht der gesamte Kreislaufstrom verworfen wird. Das Verwerfen des Kreislaufwasser bedeutet einen hohen Wasser- und Energiebedarf und wird daher nicht in Betracht gezogen. Es ist zu empfehlen, den Salzgehalt im Sumpf regelmäßig zu prüfen und das Kreislaufwasser zu ersetzen, wenn die Sättigungskonzentration erreicht wird. Da es sich um eine Technikums-Anlage mit variierenden Betriebszeiten handelt, ist das Ermitteln des Zeitpunkts zum Erreichen der Sättigungskonzentration praktisch nicht simulierbar. Ein weiteres Anlagenkonzept mit Salzanreicherung, sowie Konzepte zur Wärmerückgewinnung könnten Bestandteil einer theoretischen Ausarbeitung zu dieser Arbeit mit einer entsprechenden Simulation sein.

## 6.1 Heizleistungen bei verschiedenen Prozessparametern

In Abbildung 10 ist der Zusammenhang zwischen der benötigten Heizleistung für den Feedvolumenstrom 2000 l/h zum Erreichen verschiedener Feedtemperaturen bei variierendem Flashdruck dargestellt.

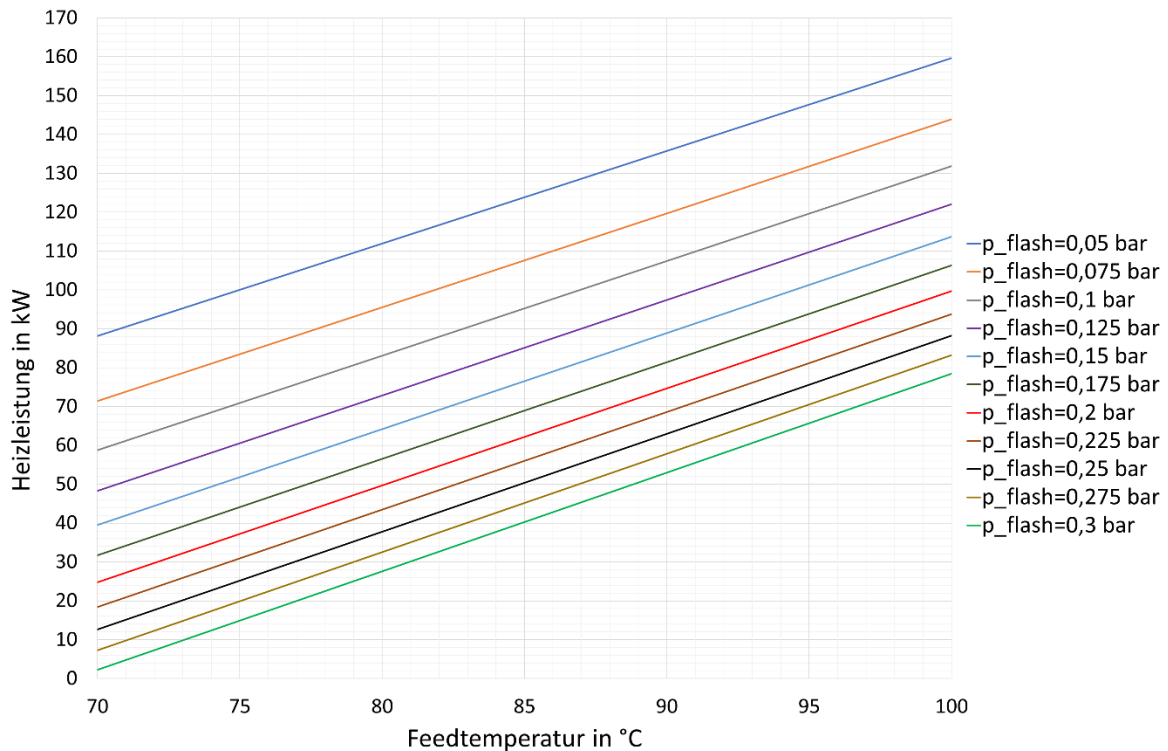


Abbildung 10: Abhängigkeit der Heizleistung von Flashdruck und Feedtemperatur bei 2000 l/h

Aus dem Zusammenhang zwischen Heizleistung, Feedtemperatur und Flashdruck wird deutlich, dass die benötigte Heizleistung bei steigender Feedtemperatur und sinkendem Flashdruck im KB zunimmt. Die benötigte Heizleistung stellt damit zugleich den wichtigsten Unterschied zwischen KB und Batch-Fahrweise dar. Bei der Batch-Fahrweise ist der Heizkreislauf von der Flashverdampfung vollständig entkoppelt. Beim Batch wird eine vorgelegte Masse an Wasser in einem separaten Kreislauf auf eine zuvor festgelegte Feedtemperatur vorgeheizt. Während der Aufheizphase beeinflusst die Leistung der Heizungen lediglich die Dauer, die zum Erreichen der gewünschten Feedtemperatur benötigt wird. Die gleiche Temperatur könnte aber auch mit einer geringeren Leistung der Heizung erreicht werden. Hierbei würde sich nur die Aufheizdauer verlängern.

Im Rahmen des Batch-Betriebes war es somit problemlos möglich, Temperaturen bis zu 100 °C vorzulegen und mit beliebigem Volumenstrom in die Kolonne zu leiten. Im Gegensatz dazu ist der Heizkreislauf im KB nicht von der Flashverdampfung entkoppelt. Im KB muss das Prozesswasser bei einmaligem Durchlaufen des Heizsystems von der flashdruckabhängigen Temperatur des Sumpfes, auf die gewünschte Feedtemperatur erhöht werden. Dem Kreislaufwasser muss hierfür der entsprechende Wärmestrom zugeführt werden. Die Auslegung der Heizung muss die Übertragung dieses Wärmestroms ermöglichen.

Im KB hängt die erreichbare Feedtemperatur demnach direkt von der verfügbaren Heizleistung ab. Als Beispiel wäre bei einem Feed-Volumenstrom von 2000 l/h und einem Flashdruck von 200 mbar bereits eine Heizleistung von 72 kW notwendig, um eine Feedtemperatur von 90 °C kontinuierlich einzuspeisen. (vgl. Abb. 10)

Im weiteren Verlauf wird geprüft, welche Heizleistung im Technikum realisierbar ist, wenn die gesamte verfügbare Stromstärke einer Energiesäule in Heizleistung umgesetzt würde. Die maximal realisierbare Heizleistung bei voller Integration der Stromstärke einer Energiesäule, wird anschließend mit der bereits verfügbaren Heizleistung von 36 kW (vgl. Kapitel 4.1.3) verglichen.



### 6.1.1 Maximal realisierbare und verfügbare Heizungsleistung

#### a) Maximal realisierbare Heizleistung

Aus den Voraussetzungen des kontinuierlichen Betriebes (Kapitel 5) geht bereits hervor, dass eine Energiesäule im Technikum eine maximale Stromstärke von 63 A für jede Phase liefern kann. An dieser Energiesäule muss die gesamte Anlage angeschlossen werden können. Hierbei darf die maximale Stromstärke nicht überschritten werden. Daher ist zunächst abzuschätzen, welchen Strombedarf die Komponenten an der EVERDA haben, welche in das Konzept zum KB übernommen werden sollen. Daraus ergibt sich die maximale Stromstärke, welche für den Heizkreislauf abgegriffen werden könnte.

Tabelle 1: Strombedarf der EVERDA-Peripherie

Komponente:	Strom in A:	Anschlussart:
Wasserringpumpe	3,2	dreiphasig
Messdatenerfassung (Keysight)	1,3	einphasig
Computer	0,1	einphasig
Summe:		4,6

Da die maximale Stromstärke der begrenzende Wert für die Einbindung elektrischer Komponenten ist und keinesfalls überschritten werden darf, wurden alle Ergebnisse aufgerundet. Somit ist sichergestellt, dass der verbleibende Stromanteil gegenüber der 63 A-Grenze, garantiert zur Verfügung steht.

Die Peripherie der EVERDA benötigt eine Gesamtstromstärke von etwa 4,6 A. Für alle weiteren elektrischen Komponenten des neuen Konzeptes verbleibt damit sicher eine abgreifbare Stromstärke von 58,4 A für jede Phase.

In der folgenden Berechnung wird angenommen, dass keine weiteren elektrischen Komponenten zur Umsetzung des KB nötig wären. Somit würden 58,4 A für den Heizkreislauf zur Verfügung stehen. Elektroheizungen, sowie die Stabheizkörper, welche im Technikum vorhanden sind, verhalten sich wie ohmsche Widerstände. Die Heizstäbe im Technikum sind in Sternschaltung angeschlossen. [26, 27]

Wird die Heizung im Dreiphasenwechselstrom betrieben, so ergibt sich für die Leistung dreier Heizstäbe als ohmsche Last die folgende Berechnungsvorschrift:

$$P_{\text{Heizung}} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \quad (20)$$

Hierin ist  $U_L$  die Spannung zwischen zwei Außenleitern im Dreiphasensystem. Diese beträgt im deutschen Stromnetz  $U_L = 400 \text{ V}$ . Gegen den Nullleiter ist die Spannung 230 V. [27] Fügt man in Gleichung (20) die maximal verfügbare Stromstärke von 58,4 A ein, ergibt sich daraus das Maximum der realisierbaren Leistung für die Heizungen mit einer Stromstärke von 58,4 A je Phase zu:

$$P_{\text{Heizung,max}} \approx 40500 \text{ W} = 40,5 \text{ kW}$$

#### **b) Verfügbare Heizleistung**

Im Technikum stehen zwei Heizstäbe mit einer Leistung von insgesamt 36 kW zur Verfügung. (vgl. Kapitel 4.1.3)

Beide Heizstäbe werden in Sternschaltung mit einer Strang-Spannung von 230 V betrieben. Wird die verfügbare Heizleistung vollständig in den KB integriert, ergibt sich hierfür nach Gleichung (20) ein Strombedarf von:

$$I_L \approx 52 \text{ A}$$

Mit der maximalen Stromstärke einer Energiesäule im Technikum von 63 A können beide Heizstäbe betrieben werden. Nach Anschluss beider Heizstäbe und Abzug des Strombedarfs der Peripherie, stünden noch 6,4 A auf allen drei Phasen für weitere elektrische Komponenten im KB zur Verfügung.

Im folgenden Kapitel soll nun festgestellt werden, ob die Erhöhung der verfügbaren Heizleistung von 36 kW bis zur maximal realisierbaren Leistung von 40,5 kW einen erstrebenswerten Vorteil für den KB verursachen würde. Es werden die mit den jeweiligen Leistungen erzeugbaren Dampfmassenströme ermittelt und verglichen.

## 6.2 Vergleich der Heizleistungen und Dampfmassenströme

Mit der verfügbaren und der maximal realisierbaren Heizleistung wurde erneut eine Simulation des KB durchgeführt. Hierbei wurden die Dampfmassenströme erfasst. Der Dampfmassenstrom ist der maßgebliche Parameter zum Betreiben der Turbine.

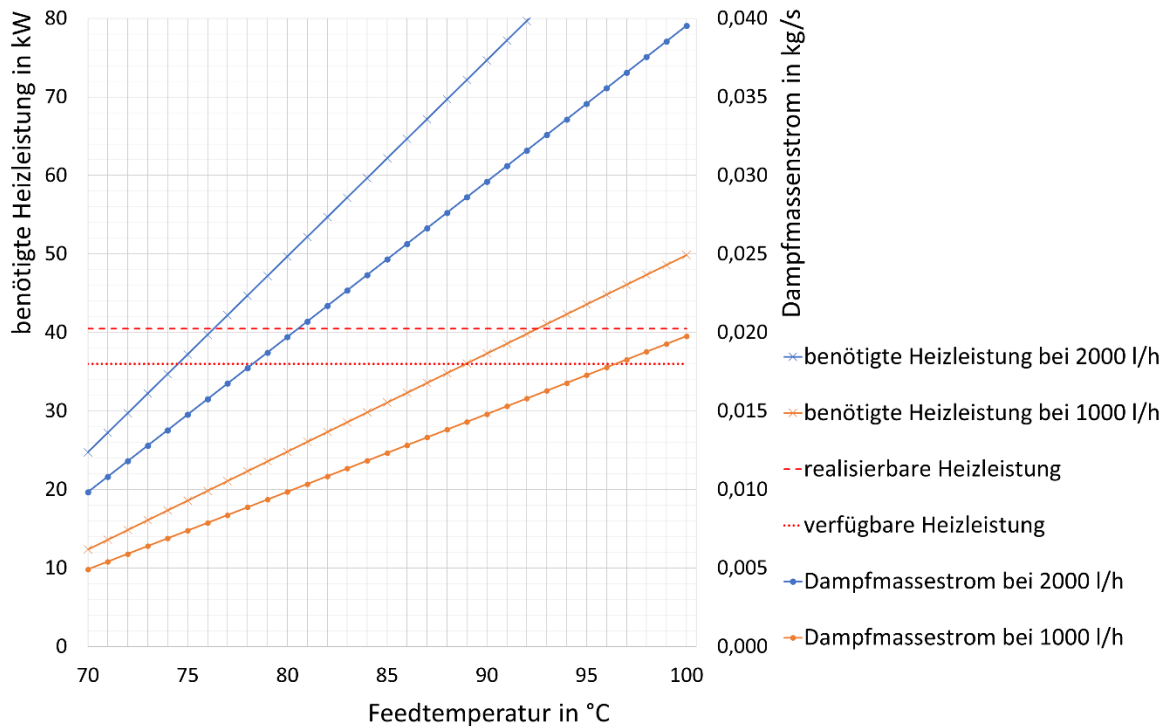


Abbildung 11: Abhängigkeit von Heizleistung und Dampfmassenstrom bei konstantem Flashdruck  $p = 0,2$  bar für die Volumenströme des Feeds 1000 l/h und 2000 l/h

In Abbildung 11 erfolgt der Vergleich der benötigten Heizleistungen, welche zum Erreichen der Feedtemperaturen notwendig sind und der dabei entstehenden Dampfmassenströme. Der Vergleich wird bei einem Flashdruck von 0,2 bar und bei den Volumenströmen 1000 l/h und 2000 l/h betrachtet. Hieraus ergeben sich auch die maximal erreichbaren Feedtemperaturen und Dampfmassenströme, wenn dem System die maximal realisierbare Heizleistung (40,5 kW) oder die verfügbare Heizleistung (36 kW) zugeführt wird.

Die maximal realisierbare Heizleistung von 40,5 kW ist rot gestrichelt dargestellt. Der Graph für die Abhängigkeit der benötigten Heizleistung zum Erreichen der Feedtemperaturen ist für 1000 l/h orange mit Kreuzen und für 2000 l/h blau mit Kreuzen abgebildet.

Betrachtet man den Schnittpunkt zwischen der realisierbaren Heizleistung und der benötigten Heizleistungen bei einem der beiden Volumenströme, führt dieser zum Maximum der realisierbaren Feed-Temperatur auf der x-Achse. Äquivalent dazu liefert der Schnittpunkt zwischen der verfügbaren Heizleistung (rot gepunktet, 36 kW) und den benötigten Heizleistungen, das Maximum der Feedtemperaturen mit 36 kW Heizleistung bei 2000 l/h bzw. 1000 l/h Feedstrom. Der zugehörige Dampfmassestrom kann über die gepunkteten Linien (blau für 2000 l/h, orange für 1000 l/h) auf der Sekundärachse für die jeweiligen Temperaturen des Feeds abgelesen werden.

**Beispiel: Feedtemperatur und Dampfmassestrom bei einem Volumenstrom des Feeds von 2000 l/h:**

Bei einem Flashdruck von 0,2 bar und einem Volumenstrom von 2000l/h wäre maximal eine Feedtemperatur von 76,2°C erreichbar, wenn die realisierbare Heizleistung von 40,5 kW in den KB integriert wird.

Bei diesen Bedingungen wird ein Dampfmassestrom von 0,0162 kg/s erzeugt. Der Dampfmassestrom folgt aus dem Schnittpunkt der Vertikalen zur Temperatur 76,2°C mit dem Graphen des Dampfmassestroms bei 2000l/h.

*Tabelle 2: Vergleich der realisierbaren- und erreichbaren Feedtemperatur und des Dampfmassestroms*

Feedvolumenstrom	2000 l/h	1000 l/h
Max. realisierbare Feedtemperatur (40,5 kW)	76,2 °C	92,5°C
Max. realisierbarer Dampfmassestrom (40,5 kW)	0,0162 kg/s	0,0162 kg/s
Bereits erreichbare Feedtemperatur (36 kW)	74,5 °C	89 °C
Bereits erreichbarer Dampfmassestrom (36 kW)	0,0143 kg/s	0,0143 kg/s

Aus dem Vergleich wird deutlich, dass eine Erhöhung der Heizleistung von 36 kW auf die maximal realisierbare Heizleistung von 40,5 kW zu einer Vergrößerung des Dampfmassestroms um 0,0021 kg/s führt. Dies entspricht etwa 12%.

Hierbei könnten allerdings keine weiteren elektrischen Komponenten an derselben Energiesäule betrieben werden, da sonst die zulässige Stromstärke überschritten wird. Außerdem müsste die Leistung des Heizsystems exakt auf die maximale Leistung von etwa 40,5 kW ausgelegt werden.

Die Vergrößerung der Heizleistung führt zwar zu einer Erhöhung des Massestroms an Dampf, jedoch bringt dieser erhebliche Einschränkungen für den Technikums-Betrieb mit sich. Der Umbau des Heizsystems auf 40,5 kW wäre unverhältnismäßig aufwändig und kostspielig. Es wurde daher mit den Betreuern beschlossen, dass eine Erhöhung der Heizleistung bis zur maximal realisierbaren Leistung nicht umgesetzt wird. Die EVERDA soll im KB mit den bereits verfügbaren 36 kW an Heizleistung betrieben werden. [18]

Mit 36 kW Heizleistung ist im idealen Fall der maximale Dampfmassestrom von 0,0143 kg/s erreichbar. Da die Anlage nicht ideal wärmegeklämt ist, wird der reale Dampfmassestrom geringer ausfallen. Die Turbine ist so konzipiert, dass sie auch bei geringen Dampfmasseströmen betrieben werden kann. Aus dem Abschlussbericht des Verbundprojektes MESAWA [9] geht die innere Turbinenleistung gegenüber den einströmenden Dampfmassen für verschiedene Stellungen der Ventile hervor. Hierin ist ersichtlich, dass die Turbine bereits ab einem Dampfmassestrom von 0,01 kg/s mechanische Energie abgeben kann. Somit ist das Betreiben der Turbine im neuen Konzept theoretisch möglich. Um Verluste bezüglich des Dampfmassestromes gering zu halten, muss die Anlage effizient wärmegeklämt werden.

### 6.3 Sättigungsdampfdruck, Temperatur und Dampfanteile

Die Dampfanteile bei der Flash-Verdampfung können ebenfalls simuliert werden. Diese sind unabhängig vom eingespeisten Volumenstrom und können tabellarisch zusammen mit der Sättigungstemperatur und dem zugehörigen Dampfdruck angegeben werden. Eine entsprechende Tabelle ist dem Anhang 12.3 beigelegt. Bei bekanntem Feed-Volumenstrom ist mit dem Dampfanteil auch bekannt, welche Masse an Dampf in welcher Zeit maximal gebildet werden kann. Der Dampfmassestrom, welcher den Sumpfbehälter verlässt, sammelt sich nach dem Kondensator im Auffang-Behälter. Es kann ermittelt werden, wie schnell sich die Füllstände in den Behältern bezüglich der Höhe maximal verändern. Dies spielt eine Rolle für die Gestaltung des Abpumpvorgangs des Kondensates und für die Steuerung oder Regelung der Füllstände.

## 7 Planung und Bau der Anlage

---

In diesem Kapitel wird die Planung zum Bau der Anlage für den KB detailliert beschrieben. Es wird erklärt, wie die einzelnen Komponenten zum KB ausgelegt wurden. Hierbei wurden die in Kapitel 5.1 genannten Rahmenbedingungen und Herausforderungen, sowie die Erkenntnisse aus den Parameterstudien (Kapitel 6) einbezogen, um das bestmögliche Anlagenkonzept zu erreichen.

### 7.1 Anlagenkonzept und R&I-Fließbild

---

Das neue Anlagenkonzept basiert auf der grundlegenden Prozessbeschreibung aus Kapitel 5.2. Das R&I-Fließbild zum detaillierten Anlagenkonzept der EVERDA 3 „EVERDA Meerwasserentsalzung kontinuierlicher Betrieb“ ist dem Anhang 12.4 beigefügt. Anhand dieses R&I-Fließbildes kann der Prozessablauf einschließlich der Funktion zur Steuerung der Anlage erklärt werden.

Die Nummerierung der Komponenten (Ventile, Schalter und Messtellen) im R&I-Fließbild ist so gewählt, dass die Zahlen beim Folgen des Hauptstoffstromes (Kondensat) ausgehend von der Frischwasserleitung steigen.

Bei der Nummerierung der Ventile wurde eine weitere Logik im Aufbau eingeführt. Die Ventile V-01 bis V-11 sind flüssigkeits -oder dampfführende Ventile. Die Ventile V-12 bis V-15 sind hingegen gasführend.

#### 7.1.1 Prozessbeschreibung

---

Die gesamte Anlage muss zu Beginn evakuiert werden. Hierfür stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Die Evakuierung erfolgt entweder über die bei V-11 am Kondensator angeschlossene Vakuumpumpe P3 in den Behälter B4 oder über V-15 am freien Prozessanschluss des Kondensators mithilfe einer externen Pumpe. Hier könnte die Wasserringpumpe aus dem Technikum angeschlossen werden. Nach der Evakuierung lässt sich der Prozess am besten anhand des Hauptstoffstromes (Kondensat) erklären. Das Frischwasser wird zunächst in den Sumpf eingespeist. Ausgehend von dieser Leitung wird der Prozess beschrieben.

Über die Frischwasserleitung und das Magnetventil V-01 wird das Frischwasser in den Sumpfbehälter der Kolonne B1 eingespeist. Die Einspeisung erfolgt so lange, bis der Füllstandschalter L01 seinen Schalterpunkt erreicht und die Frischwasserleitung über das V-01 wieder schließt. Wenn der Füllstand in B1 wegen der Dampfproduktion unter den Schalterpunkt fällt, öffnet L01 das Ventil V-01 und es wird wieder Wasser in den Sumpf nachgespeist. Der obere Füllstandschalter L01 ist von einem Tauchrohr umgeben. Das Tauchrohr die Wasseroberfläche am Schalterpunkt von L01 beruhigen und damit ein genaueres Schalten ermöglichen. Mit TIR-01 wird die Sumpftemperatur gemessen. Die Messdatenerfassung aller Temperatur-, Druck- und Volumenstrom-Messstellen erfolgt wie im Batch-Betrieb mit dem Keysight-Gerät. Die Aufzeichnung, Speicherung und Anzeige der Messdaten erfolgt mithilfe eines LabView basierten Computerprogrammes.

Das Wasser verlässt den Sumpf am Bodenventil V-02 und wird von der Pumpe P1 in den Heizkreislauf gepumpt. Daher wird P1 auch als Kreislaufpumpe bezeichnet. Die Pumpe P1 wird mit Druckluft betrieben werden, sodass für sie kein weiterer Strombedarf besteht und die Energiesäule des Technikums nicht weiter belastet wird. Außerdem muss die Pumpe P1 kavitationsbeständig sein, da Sie Wasser nahe des Siedepunkts aus dem Behälter B1 abpumpen muss. In der Druckluftleitung zu P1 befindet sich das Magnetventil V-14, mit dem die Pumpe am Schaltschrank ein- und ausschaltbar ist. Um ein Trockenlaufen der Pumpe P1 zu verhindern, wird der zweite Schalterpunkt des Füllstandschalters im Sumpf L02 verwendet. Fällt der Füllstand in B1 bis zum Schalterpunkt L02 ab, so schließt dieser das Ventil V-14 und schaltet damit die Pumpe P1 aus. Im Normalbetrieb sollte dies jedoch nie eintreten.

Druckseitig von P1 folgen die elektrischen Heizungen W1.1 und W1.2, welche in ein neues Durchlaufrohr montiert sind. Am oberen Ende der Heizung befindet sich zudem eine Möglichkeit zur Entlüftung des Heizsystems. Am obenliegenden Auslass des Durchlaufrohrs folgt der Drucksensor PI01. Dieser zeigt den Druck im Heizkreislauf an. Nach dem Drucksensor folgt der schalterpunktspezifische Strömungswächter F01. Der Strömungswächter schaltet die Heizungen bei Unterschreitung eines Volumenstromes von etwa 800 l/h aus. Dies kann passieren, wenn sich Luft im Heizkreislauf befindet oder die Pumpe P01 ausgeschaltet ist. F01 sichert damit die beiden Heizungen W1.1 und W1.2 gegen Überhitzungen ab.

Es ist zudem nicht möglich die Heizungen einzuschalten, wenn die Kreislaufpumpe P01 ausgeschaltet ist. Damit bietet F01 auch eine Sicherung gegen fehlerhafte Bedienung der Anlage. Beide Heizungen sind nach Einschalten der Pumpe P01 am Schaltschrank einzeln händisch ein- und ausschaltbar. Je nach gewünschten Prozessparametern können beide oder nur eine Heizung zugeschaltet werden. Die ungerregelte Heizung W.1.1 übernimmt die Rolle einer Vorheizstufe. Dieser Aufbau ermöglicht das Zuschalten von 18 kW geregelter Heizleistung oder 18 kW ungerregelte Vorheiz-Leistung und 18 kW geregelter Leistung.

Um zu entscheiden, bei welchen Betriebsparametern die Vorheizstufe zugeschaltet werden muss, sind mehrere Tabellen im Anhang 12.5 verfügbar. Diese zeigen die Abhängigkeiten der Heizleistungen, Dampfmassenströme und der Dampfvolumenströme von der Feedtemperatur und dem Flashdruck für die Intervalle der Parameterstudien. Die Tabellen beziehen sich hierbei auf unterschiedliche Feed-Volumenströme. Durch farbliche Abgrenzungen innerhalb der Tabellen werden die Betriebsparameter, welche mit und ohne Vorheizstufe erreichbar sind visualisiert.

Mit dem Ventil V-03 kann die Leitung zwischen Heizung und Kolonne geschlossen werden. Dies kann zum Ausbau einzelner Anlagenteile nützlich sein. Mit dem Durchflussmesser FIR02 wird der aktuelle Volumenstrom gemessen. TIR02 misst die Temperatur des Feeds. Mit der Temperatur bei TIC03 wird die Leistung von W.1.2 geregelt. Dies ermöglicht es, verschiedene Feed-Temperaturen zu wählen.

V-04 ist das Drosselventil zur Einspeisung in die Kolonne. Durch die Ventilstellung von V-04 kann ein gewünschter Volumenstrom des Feeds manuell eingestellt werden. Im Drosselventil erfolgt spontan die Flash-Verdampfung. Aus einem Teil des flüssigen Wassers entsteht Wasserdampf. Beim seitlichen Eintritt in die Kolonne B1 werden die beiden Phasen durch die Schwerkraft getrennt. Die flüssige Phase fließt zurück in den Sumpfbehälter und schließt damit den Heizkreislauf.

Die Dampfphase steigt in der Kolonne nach oben. Der Druck im Gasraum der Kolonne wird mit dem Drucksensor PIR02 erfasst. TIR04 misst die Temperatur im Gasraum. Der Dampf verlässt die Kolonne B1 über die obenliegende Leitung.



Vom Kopf der Kolonne aus strömt der Dampf bei geschlossenem V-05 über den Bypass und V-06 an der Turbine T1 vorbei in den Kondensator W2. Wird V-05 geöffnet und V-06 geschlossen, kann der Dampf in die Turbine eingeleitet werden. TIR05 und TIR06 messen die Dampf-Temperaturen vor und nach der Turbine.

Im Kondensator W2 wird der Dampf vollständig kondensiert. Mit V-09 wird der Kühlwasser-Zulauf zum Kondensator geöffnet. Der Rücklauf wird mit V-10 geöffnet. Mit den Temperaturmessstellen TIR08 und TIR09 wird die Kühlwassertemperatur am Ein- und Austritt vom Kondensator gemessen. Mit dem Schwebekörper-Durchflussmesser FI03 wird der aktuelle Kühlwasser-Volumenstrom angezeigt. TIR07 und PIR03 messen Druck und Temperatur im Kondensator.

Das Kondensat sammelt sich nach dem Kondensator im Auffangbehälter B2. An diesem Behälter muss ein Füllstandschalter L03 angeschlossen sein. Zum Anschluss des Füllstandschalters werden die vorhandenen Anschlüsse am Behälter verwendet. Die effektivste Lösung zur Füllstandsmessung an dieser Stelle ist ein Bypass-Rohr aus Borosilikatglas, an dem seitlich der Füllstandschalter installiert wird. Das Bypass-Rohr kann dabei als kleiner externer Ausgleichsbehälter B3 angesehen werden. Durch das Glasrohr lässt sich die Änderung der Füllstände beobachten. Wenn B2 und B3 über die beiden Anschlüsse miteinander verbunden sind, ist der Füllstand in B2 immer gleich dem Füllstand von B3. Steigt der Füllstand in B3 an, so schaltet der Füllstandsensoren L03 das Ventil V-13 in der Druckluftleitung und damit die Kondensat-Pumpe P2 an. Diese pumpt die Flüssigkeit über V-07 durch das darunter befindliche Rückschlagventil ab. Das Kondensat kann druckseitig von P2 an einem offenen Schlauchende mit einem Gefäß aufgefangen werden. Sinkt der Füllstand in B2 infolge wieder ab, so schaltet L03 die Pumpe P2 mit dem Magnetventil V-13 wieder aus. Die Pumpe P2 ist äquivalent zur Kreislaufpumpe kavitationsbeständig und druckluftbetrieben. Das Rückschlagventil verhindert das Ansaugen von Luft in die Anlage. Wird die Anlage heruntergefahren, kann nach dem Belüften der Anlage in B2 und B3 verbliebenes Kondensat über den Auslauf bei V-08 abgelassen werden.

Durch diesen Prozessaufbau ist eine kontinuierliche Prozessführung möglich, bei der stationäre Betriebsparameter erreicht werden. Lediglich das Gefäß zum Auffangen des Kondensates muss periodisch geleert werden.

## 7.2 Auslegung und Übernahme von Komponenten

---

In diesem Kapitel wird die Auslegung der einzelnen Komponenten beschrieben. Es wird erklärt, welche Komponenten aus dem Batch-Betrieb übernommen werden konnten und welche Anlagenteile neu ausgelegt und beschafft werden mussten. Bei der Auslegung, Beschaffung und Übernahme der Komponenten spielen die Rahmendbedingungen zum KB eine entscheidende Rolle. Es wurde versucht, möglichst viele Anlagenteile des Batch-Betriebes zu übernehmen, um die Kosten für das Gesamtprojekt möglichst gering zu halten. Bei neu angeschafften Komponenten wurden verschiedene Anbieter und Lösungen in Betracht gezogen.

### 7.2.1 Kolonne und Sumpfbehalter

---

Wie im Kapitel 4.1.1 beschrieben, können Kolonne und Sumpfbehalter aus dem Batch-Betrieb übernommen werden. Allerdings muss hierfür der Deckel des Sumpfbehalter verstärkt oder ersetzt werden, sodass er der mechanischen Belastung des Vakuums standhält und kein Sicherheitsrisiko darstellt. Um den Deckel gegen die Verformung zu verstärken wurden verschiedene Lösungsansätze erarbeitet.

#### a) **Stützkonstruktion im Inneren des Behälters**

Eine Lösung, um den Deckel zu verstärken ist das Einbauen eines tragfähigen Gerüsts in den Behälter. Das Gerüst soll die Verformung des Deckel nach innen im Belastungsfall gegen den Boden abstützen und versteifen. Als Material könnten hierfür gewöhnliche Edelstahl-Profile (Vierkant- oder T-Profile) verwendet werden. Dies würde eine kostengünstige Lösung darstellen. Es ist allerdings nicht möglich, das Gerüst sicher in den Behälter einzubauen. Der Boden des Behälters ist geneigt und ebenfalls aus Polypropylen gefertigt. Wird das Gerüst auf dem Boden abgestützt, könnte es sich unter Belastung verschieben und damit seine Funktion verlieren. Würde man zur Befestigung Bohrungen an Behälterboden und Deckel vorsehen, könnte hierdurch die Vakuumtauglichkeit und die Tragfähigkeit des Behälters beeinträchtigt werden. Aus diesen Gründen wurde die Variante zum Einbau eines Gerüsts in den Behälter nicht umgesetzt.

**b) Externes Verstärkungsgerüst am Behälterdeckel**

Eine weitere Variante zur Verstärkung des Sumpfbehälters ist ein Gerüst, welches von außen am Deckel des Behälters angebracht wird. Durch das Vakuum wird die Mitte des Deckels inklusive des darüberliegende Glasschusses nach unten gezogen. Ein extern montiertes Verstärkungsgerüst würde dieser Verformung entgegenwirken, indem es die Kräfte des Unterdrucks am unteren Flansch des Glasschusses aufnimmt und gegen den äußeren Rand des Deckels abstützt. Auch dieser Ansatz wäre mit handelsüblichen Edelstahl-Profilen realisierbar und damit kostengünstig. Allerdings würde ein äußeres Gerüst auf dem Deckel die optische Wirkung der Anlage beeinträchtigen. Das Gerüst könnte als „Notlösung“ angesehen werden, da es nicht zu den sonst sauber ausgearbeiteten Anlagenteilen passt. Es wurde daher entschieden, dass das externe Verstärkungsgerüst den optischen Anforderungen der EVERDA nicht gerecht wird und deshalb ebenfalls nicht umgesetzt wird. [18]

**c) Ersetzen des Deckels am Sumpfbehälter**

Als effektivste Lösung zum Verstärken des Sumpfbehälters wurde das Ersetzen des Deckels angesehen. Statt aus Polypropylen soll ein Deckel aus Edelstahl ausgelegt werden, welcher den mechanischen Belastungen standhält. Als Material wurde der Edelstahl 1.4404 vorgeschlagen. Mit dem Kalkulations-Tool „MITCalc“ wurde die notwendige Plattenstärke des Deckels berechnet. [28]

Als Belastungsfall wurde eine Flächenlast  $q$  über den gesamten Durchmesser der Platte mit der Druckdifferenz bei absolutem Vakuum,  $\Delta p = 1 \text{ bar}$ , angesetzt. Die Platte ist auf dem Außendurchmesser gelagert.

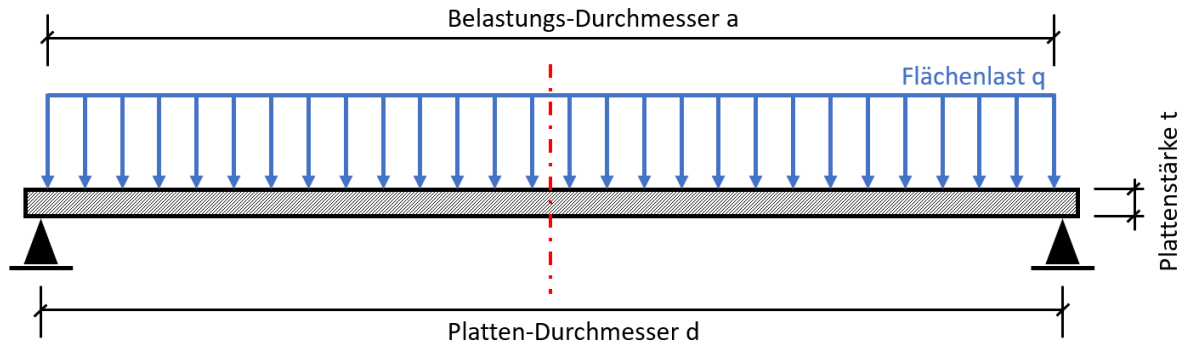


Abbildung 12: Skizze zum Belastungsfall des Sumpfbehälter-Deckels

Die stetige Belastung der Platte mit der Flächenlast  $q$  über den gesamten Plattendurchmesser liefert die stärkste Belastung auf die Platte und bietet damit die höchste Sicherheit bei der Auslegung. Hierbei soll ein Sicherheitsfaktor  $SF$  von mindestens 1,5 eingehalten werden. Das bedeutet, die Platte soll mindestens der 1,5-fachen Belastung standhalten, ohne plastisch verformt zu werden.

Tabelle 3: Werkstoffeigenschaften des Edelstahl 1.4404 nach L.Klein und HSM [29, 30]

Werkstoffeigenschaft:	Wert:
Elastizitätsmodul $E$	$2,0 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
Schubelastizitätsmodul $G$	$1,17 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
Poisson Konstante $\nu$	0,3
Dichte $\rho$	$7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Biegefestigkeitsgrenze $\sigma_y$	$200 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Tabelle 4: Berechnungsparameter zur Ermittlung von  $SF$  und  $y$

Berechnungsparameter	Wert:
Plattenstärke $t$	10 mm bis 16 mm
Platten-Durchmesser $d$	900 mm
Belastungs-Durchmesser $a$	900 mm
Belastung pro Flächeneinheit $q$	$0,1013 \text{ MP} = 1,013 \text{ bar}$

Mit den Werkstoffeigenschaften und den Berechnungsparametern wurde die Masse der Platte  $m$ , der Sicherheitsfaktor  $SF$ , und die Durchbiegung der Platte  $y$ , bei Plattenstärken zwischen 10 mm und 16 mm ermittelt.

Tabelle 5: Ergebnistabelle zur Auslegung der Plattenstärke

Plattenstärke t in mm	Masse der Platte m in kg	Durchbiegung y in mm	Sicherheitsfaktor SF
10	50,77	14,45	0,79
11	55,84	10,85	0,95
12	60,92	8,36	1,13
13	66,00	6,58	1,33
14	71,08	5,27	1,54
15	76,15	4,28	1,77
16	81,23	3,53	2,02

Nach dieser Berechnung sollte die Platte für den Deckel des Sumpfbehälters eine Plattenstärke von mindestens 14 mm aufweisen.

### 7.2.2 Kreislaufpumpe P1 und Kondensatpumpe P2

Im KB müssen die Pumpen P1 und P2 Flüssigkeit nahe dem Siedepunkt fördern. Beide Pumpen sind daher kavitationsgefährdet. Aus diesem Grund muss eine kavitationsbeständige Pumpenart verwendet werden. Die Kreiselpumpen aus dem Batch-Betrieb erfüllen diese Anforderung nicht und können folglich nicht verwendet werden. Als Alternative bieten sich Membranpumpen an. Um den Strombedarf der Anlage nicht zu erhöhen werden idealerweise druckluftbetriebene Membranpumpen eingesetzt. Allerdings erzeugen Membranpumpen eine pulsierende Strömung. Es kann unter Umständen nötig sein, einen Pulsationsdämpfer einzubinden.

#### a) Kreislaufpumpe P1

Im Rahmen der Bachelorarbeit von Bail [31] wurde bereits eine solche Pumpe im Hinblick auf die Umstellung zum kontinuierlichen Betrieb beschafft. Es handelt sich hierbei um die Druckluftmembranpumpe „VA-15“ der Firma Verder. Das Datenblatt zur Pumpe ist dem Anhang 12.6 beigefügt. Da die Pumpe bereits vorhanden ist, sollte diese nach Möglichkeit in den KB eingebunden werden. Nach den Versuchen von Bail erreicht die Membranpumpe einen Volumenstrom von 800 l/h bei einem Flashdruck von 160 mbar. Ab etwa 200 mbar ist ein Fördervolumenstrom von etwa 1000 l/h zu erwarten. Damit ist die Pumpe ausreichend, um den kontinuierlichen Betrieb zu realisieren. [31]

**b) Kondensatpumpe P2**

Die Kondensatpumpe P2 muss in der Lage sein, den maximal entstehenden Kondensat-Strom aus dem Auffangbehälter abpumpen zu können. Der maximale Kondensat-Strom entspricht dem im Kapitel 6.2 berechneten maximalen Dampf-massestrom. Somit muss die Pumpe P2 einen Durchfluss von mindestens 0,0143 l/s (51 l/h) erzeugen, um bei maximaler Leistung der Heizung das Fluten der Anlage mit Kondensat zu verhindern. Die Kondensatpumpe muss ebenfalls kavitationsbeständig sein. Für diese Aufgabe wurde die kleinste Membranpumpe der Verderair-Baureihe VA-08 der Firma Verder vorgeschlagen und beschafft. Das Datenblatt zur Kondensatpumpe P2 ist im Anhang 12.7 beigefügt.

Laut Datenblatt ist die Förderleistung der Pumpe ausreichend um die notwendigen 52 l/h zu fördern. Das Kondensat wird nach der Pumpe in einem Eimer aufgefangen.

Da beide Pumpen mit Druckluft betrieben werden, erhöhen sie die für den Prozess notwendige Stromstärke nicht. Allerdings muss das Ein- und Ausschalten der Pumpen über das Öffnen und Schließen der Druckluftleitungen realisiert werden. Hierfür können Magnetventile in die Druckluftleitungen eingebaut werden. Außerdem muss der Füllstand in den Behältern B2 und B3 berücksichtigt werden, um ein Trockenlaufen zu verhindern. Da Druckluftmembranpumpen pulsierende Strömungen erzeugen, kann es unter Umständen notwendig sein, im Heizkreislauf nach der Kreislaufpumpe P1 einen Pulsationsdämpfer einzubauen. Die Pulsation der Pumpe P2 hat keinen Einfluss auf den Prozess.

Ob die Pulsation des Förder-Stroms im Heizkreislauf einen prozessrelevanten Einfluss hat, muss an der bestehenden Anlage geprüft werden. Die Datenblätter liefern keine Informationen darüber, wie sich die Förderleistung der Pumpen bei eintretender Kavitation verhält.

### 7.2.3 Füllstands- und Pumpensteuerung

---

Im Sumpfbehälter der Kolonne ist ein Füllstandschalter mit zwei Schaltpunkten vorhanden. Bei den Schaltern handelt es sich um Reed-Kontakte, welche als Öffner fungieren. Diese öffnen im beschalteten Zustand einen Stromkreis. Reed-Kontakte sind in der Regel aus zwei Kontaktzungen aufgebaut. Hierbei ist ein Schaltelement aus einer Nickel-Eisen-Legierung in ein Glasrohr eingeschmolzen und damit hermetisch verschlossen. Im Glasrohr überlappen sich zwei magnetische Kontakte mit einem Abstand von wenigen Mikrometern. Bringt man ein Magnetfeld in die Nähe des Glasröhrchens, bilden sich aufgrund des magnetischen Flusses an den Enden der Kontaktzungen magnetische Pole entgegengesetzter Polarität aus. Die Zungen ziehen sich Infolge gegenseitig an, bis sie sich letztlich berühren und damit einen elektrischen Kontakt herstellen. Der Stromkreis wird geschlossen. Entfernt sich das Magnetfeld vom Schaltpunkt, fällt die Polarität der Kontaktzungen ab und der Stromkreis wird durch die Rückstellkräfte der Kontaktzungen geöffnet. Dieser Aufbau führt zu einem Schaltpunkt als „Schließer“. Kehrt man die Funktionalität um, sodass sich zwei in Kontakt stehende Zungen bei Anwesenheit des Magnetfeldes voneinander entfernen, erhält man einen Schaltpunkt als „Öffner“. Bei einem Schwimmerschalter wird ein Dauermagnet in einem Schwimmer verwendet, um einen oder mehrere feststehenden Reed-Kontakte zu betätigen. [32]

#### a) **Steuerung der Kreislaufpumpe P1 mit dem Magnetventil V-14**

In die Druckluftleitung der Kreislaufpumpe P1 wird ein Magnetventil V-14 eingebaut, welches stromlos geschlossen ist. Die Stromversorgung des Magnetventils wird mit dem unteren Schaltpunkt L02 des Füllstandschalters verknüpft. Nähert sich der Schwimmerschalter dem unteren Schaltpunkt, wird dessen Stromkreis geöffnet und damit die Stromversorgung zum Magnetventil V-14 unterbrochen. Liegt der Füllstand über dem unteren Schaltpunkt, kann das Ventil V-14 mit dem Taster am Schaltschrank mit Spannung versorgt werden. Hiermit kann die Kreislaufpumpe eingeschaltet werden. Für den Fall einer Leckage in der Anlage ist damit der Trockenlaufschutz der Pumpe P1 gewährleistet. Die elektrische Verschaltung der einzelnen Komponenten wird in Kapitel 8 „Aufbau der elektrischen Verschaltung“ näher erläutert.

## b) Füllstandsteuerung im Sumpfbehälter B1

Der obere Schaltpunkt L01 des Füllstands Schalters dient zur Steuerung des Füllstands im Sumpf. In die Frischwasserleitung zum Sumpfbehälter wird ein weiteres Magnetventil V-01 eingebaut. Befindet sich der Schwimmer unterhalb des oberen Schaltpunktes, ist der Stromkreis geschlossen und das Magnetventil geöffnet. Das Magnetventil wird so lange mit Spannung versorgt, bis der obere Schaltpunkt durch den Schwimmer geöffnet wird. Damit wird die Stromversorgung zum Magnetventil V-01 unterbrochen und die Frischwasserleitung geschlossen. Fällt der Füllstand in B1 infolge der Dampfproduktion bis zum Erreichen des Schaltpunktes ab, wird das Magnetventil wieder geöffnet. Es muss beachtet werden, dass die Wassereinspeisung in den Sumpf zu einer unruhigen Wasseroberfläche führt. Wird der Schwimmer von einer beliebigen Welle erfasst, kann der Schaltpunkt überwunden werden und ein Schaltvorgang wird ausgelöst. Dies könnte zu einer unregelmäßigen und häufigen Beschaltung des Magnetventils und damit zu unnötig hohem Verschleiß führen. Aus diesem Grund ist ein Tauchrohr im Sumpf um den oberen Schaltpunkt ausgehend vom Behälterdeckel vorgesehen. Durch diese Maßnahme wird die Wasseroberfläche unmittelbar am oberen Schaltpunkt beruhigt. Die Wellen um den Schaltpunkt können dennoch nicht vollständig eliminiert werden. Daher wird mit einem Zeitrelais eine zeitliche Verzögerung zum Einschalten des Magnetventil realisiert.

Das Erreichen des Schaltpunktes vom Schwimmer löst damit nicht mehr spontan das Magnetventil aus, sondern startet die Ansprechverzögerung (AV) des Zeitrelais. Die AV läuft für eine zuvor festgelegte Zeit. Erst nach ununterbrochenem Ablauf der Zeit, schließt das Zeitrelais den Stromkreis für das Magnetventil. Wird der Reed-Kontakt während der AV (z.B. durch eine Welle) kurz geöffnet und dann wieder geschlossen, beginnt die Zeit der AV von neuem abzulaufen. Bei maximaler Heizleistung und idealen Prozessbedingungen verlässt die Kolonne ein Dampfmassestrom von maximal 0,0143 l/s (ca. 51 kg/h). Ein Millimeter Füllstand im Sumpf entspricht etwa 0,55 kg Wasser. Es wird vorgeschlagen, den Füllstand im Sumpf mit einer AV von 3 Minuten zu steuern. Dies entspricht einer Nachspeisung von ca. 2,5 kg Wasser in jedem Schaltzyklus. Die Veränderung der Sumpftemperatur durch die Einspeisung dieser Wassermasse ist vernachlässigbar gering.



**c) Füllstandsteuerung im Kondensatbehälter B2 und B3**

Für die Steuerung des Füllstandes im Kondensatbehälter ist ein Bypass-Rohr B3 aus Borosilikatglas an den Auffangbehälter B2 angeschlossen. Um das Glas vor mechanischen Belastungen zu schützen ist dieses in eine Edelstahlarmatur gefasst. An der Armatur kann der kapazitive Füllstandschalter L03 angebracht werden. Der Sensor wird so eingeschraubt, dass sich dessen Front nur wenige Millimeter vom Glasrohr entfernt befindet. Je nach Bedarf kann die Position des Sensors in der Höhe verändert werden. Am Glas ist eine Millimeterskala vorhanden, mit der die Änderung des Füllstandes an Kondensat beobachtet werden kann. Der kapazitive Sensor wird mit einem eingebauten Potentiometer auf das leere Glasrohr kalibriert. Steigt das Kondensat im Rohr bis zum Sensor an, wirkt dieses als Dielektrikum und verändert damit das magnetische Feld um den Sensor. Diese Veränderung wird vom Sensor erfasst und ein Schaltsignal wird ausgelöst. In diesem Zustand (wenn sich Kondensat vor dem Sensor befindet) schließt der kapazitive Sensor seinen Stromkreis (die LED am Sensor leuchtet). Damit fungiert L03 als „Schließer“.

Um mit einem einzelnen Sensor zum einen das Abpumpen des Kondensates und zum anderen den Trockenlaufschutz der Kondensatpumpe P3 zu realisieren, wird ein weiteres Zeitrelais mit Ansprechverzögerung verwendet. Zur Bestimmung der einzustellenden Zeit für die AV muss das Volumen des Kondensatbehälters bestimmt werden. Hierfür wurde der Behälter B2 bis zum Überlaufen des oberen Prozessanschlusses mit Wasser gefüllt. Anschließend wurde das Wasser über den unteren Prozessanschluss abgelassen und gewogen. Der Abstand zwischen der Unterkante des oberen Prozessanschlusses und der Unterkanten des unteren Prozessanschlusses beträgt 140 mm. Es wurde eine Wassermasse von etwa 14,1 kg ermittelt. Der maximale Kondensat-Massestrom entspricht dem Dampfmassestrom 0,0143 kg/s. Das Kondensat im Behälter B2 steigt folglich um etwa 8,5 mm/min bei voller Leistung der Heizung (36 kW) und idealen Bedingungen. Der Sensor wird am unteren Skalenende angebracht. Die AV des Zeitrelais wird auf 10 Minuten gesetzt. In dieser Zeit steigt der Füllstand um maximal 85 mm an, bevor die Kondensatpumpe eingeschaltet wird. Die Höhenänderung von 85 mm befindet sich vollständig im Bereich der Skala auf dem Glasrohr. Somit ist der jeweilige Flüssigkeitsstand immer im Bereich des Glasrohrs und damit sichtbar.

Das Einschalten der Kondensatpumpe P2 erfolgt äquivalent zur Kreislaufpumpe P1 mittels eines stromlos geschlossenen Magnetventils V-13 in der Druckluftleitung zu P3. Zehn Minuten nachdem der Flüssigkeitsstand des Kondensates den Sensor L03 überschritten hat, schaltet das Zeitrelais und setzt damit das Magnetventil unter Strom. Das Magnetventil öffnet und startet damit die Pumpe P3 zum Abpumpen des Kondensates. Der Füllstand im Behälter fällt ab, bis der Flüssigkeitsstand die Position des Sensors unterschreitet. An diesem Punkt öffnet der kapazitive Sensor seinen Stromkreis. Die Stromversorgung des Zeitrelais und des Magnetventils V-13 wird unterbrochen. Das Magnetventil schließt die Druckluftversorgung und schaltet damit Pumpe P3 aus, bevor die gesamte Flüssigkeit aus dem Behälter abgepumpt wird.

Durch diesen Aufbau ist es möglich, die Steuerung des Füllstandes an Kondensat, sowie den Trockenlaufschutz der Kondensatpumpe mit einem einzelnen Sensor zu realisieren. Zusätzlich befindet sich der Flüssigkeitsstand des Kondensates bei dieser Auslegung stets im Bereich des Bypass-Rohres und kann zu jeder Zeit beobachtet werden.

Die Datenblätter zu den verwendeten Komponenten befinden sich im Anhang an folgenden Positionen:

P1: Anhang 12.6 Verderair Druckluftmembranpumpe VA-15 Datenblatt

P3: Anhang 12.7 Druckluftmembranpumpe VA-08 Datenblatt

Ventile: Anhang 12.8 Magnetventile

Zeitrelais: Anhang 12.9 Zeitrelais mit Ansprechverzögerung

L03: Anhang 12.10 Bypass-Rohr mit kapazitivem Sensor

Beim Bypass-Rohr B3 mit kapazitivem Sensor L03 handelt es sich um die folgende Konfiguration gemäß Datenblatt (Anhang 12.10): „NZJ-S14G21D0“

#### 7.2.4 Auslegung des Heizsystems mit W1.1 und W1.2

---

Für die beiden Heizstäbe W1.1 und W1.2 wurde ein neues Durchlaufrohr konzipiert. Für den Bau des Heizsystems wurde ein 3D-Modell mit SOLIDWORKS erstellt. Bei einem Flashdruck von 200 mbar und einem Volumenstrom von 1000 l/h können bei voller Leistung maximal 89 °C Feedtemperatur erreicht werden (vgl. Abb. 10). Nach der Installationsanweisung für die Durchlauferhitzer von Behncke [15] sollte ein Volumenstrom von 1000 l/h im Heizsystem nicht unterschritten werden. Daher stellt dieser Volumenstrom den unteren Grenzwert für die Auslegung des neuen Heizsystems dar.

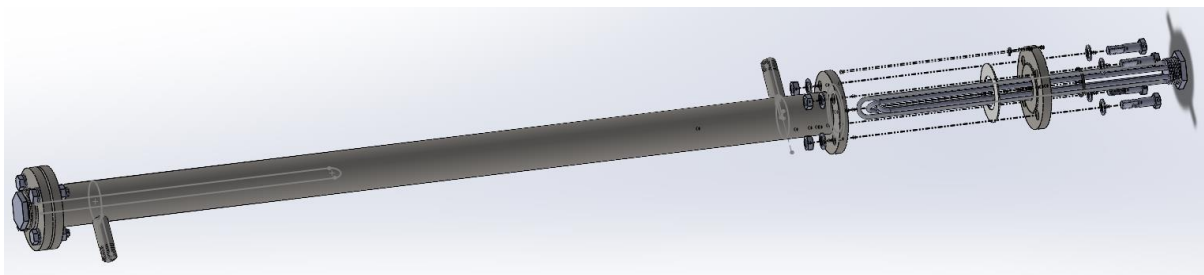


Abbildung 13: 3D-Modell des Heizsystems der EVERDA zum kontinuierlichen Betrieb

Beide Heizstäbe sollen in ein einzelnes Durchlaufrohr eingebaut werden können. Die Aufnahme der Heizstäbe erfolgt durch zwei 1,5 Zoll DN 40 Gewinde-Flansche. Als Gegenflansch werden zwei ½ Blatt DN 40 Lochflansche verwendet. Diese sind fest mit dem Durchlaufrohr verschweißt. Als Dichtung zwischen den Flanschen dient eine Dichtscheibe aus PTFE. Die Abdichtung am Schraubgewinde der Heizungen wird durch O-Ringe aus NBR gewährleistet. PTFE und NBR sind gegenüber den Prozessbedingungen in ausreichender Weise beständig. Die Ausrichtung des Heizsystems ist vertikal. Am oberen Gewindeflansch ist eine Entlüftungsbohrung vorgesehen, mit der die Heizung vollständig entlüftet werden kann. Zwei ¼ Zoll Anschweißnippel am oberen und unteren Ende des Durchlaufrohres bilden den Ein- und Auslauf des Heizsystems und ermöglichen damit den Prozessanschluss. Flansche und Dichtungen sind an die Dimensionen des Durchlaufrohres angepasst. Der Innendurchmesser des Durchlaufrohres muss mindestens dem maximalen Außendurchmesser eines Heizstabes (45 mm) entsprechen. Die Länge des Rohres muss mindestens zweimal der Länge der Heizstäbe, also mindestens 1160 mm entsprechen.

Nach Absprache mit dem Technischen Meister des Technikums hat ein hierfür geeignetes und handelsübliches Edelstahlrohr einen Innendurchmesser von 53,1 mm bei einer Wandstärke von 3,6 mm. Die hohe Wandstärke ermöglicht ein leichteres Schweißen gegenüber einem Rohr mit geringerer Wandstärke. [33]

Für die Berechnung der Wärmeübertragung im Heizsystem muss die Geometrie der Heizstäbe bekannt sein. Der freie Innendurchmesser des Strömungsrohres wird nach Einschrauben der Heizkörper um die Querschnittsfläche der drei Heizstäbe verkleinert. Dies hat Einfluss auf die Leerrohrgeschwindigkeit. Für die Wärmeübertragung steht die Gesamt-Mantelfläche von sechs Heizstäben zur Verfügung. In Tabelle 6 ist die Geometrie der Heizstäbe und Heizelemente für die Berechnung der Wärmeübertragung zusammengefasst.

Tabelle 6: Geometrie der Heizstäbe und Heizelemente

Geometrie	Wert
Länge eines Heizstabes	$580 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Maximaler Durchmesser eines Heizstabes	$45 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Durchmesser des einzelnen Heizelements	$8,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Querschnittsfläche von drei Heizstäben	$1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
Gesamt-Mantelfläche von sechs Heizstäben	$0,179 \text{ m}^2$

Die Temperatur des Wassers im Heizsystem beträgt im Prozess zwischen 60 °C und 95 °C. Dies entspricht den Werten der Parameterstudie (vgl. Kapitel 6).

Für die Berechnung der Wärmeübertragung werden die Stoffdaten des reinen Wassers für diesen Temperaturbereich nach VDI-Wärmeatlas [14] herangezogen.

Tabelle 7: Stoffeigenschaften des reinen Wassers gemittelt zwischen 60 C und 95 °C nach VDI [14]

Stoffeigenschaft	Wert
Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	$660 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
Kinematische Viskosität $\nu$	$4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
Dichte $\rho$	$980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Mittlere spezifische Wärmekapazität $\bar{c}_p$	$4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Der untere Grenzwert für den Durchfluss beträgt 1000 l/h. Nach Abzug der Querschnittsfläche von drei Heizstäben vom Rohr-Querschnitt ergibt sich die im Rohr durchströmte Fläche und die Leerrohrgeschwindigkeit entlang der Länge des Rohres  $u_L$  nach Hannoschöck [34].

$$u_L \approx 0,1314 \text{ m/s}$$

Aus der Geometrie des Rohrs, den Stoffdaten des Wassers und den Strömungsverhältnissen können die Reynolds, die Prandtl Zahl und die Rohrreibungszahl  $\xi$  bestimmt werden.

$$Re = 17438$$

$$Pr = 2,5$$

$$\xi = 0,0266$$

Die Strömung liegt damit im turbulenten Bereich ( $Re \geq 2300$ ). [35]

Mit dem Nusselt-Ansatz turbulenter Strömungen [35] folgt:

$$Nu_{di,turb} \approx 89 \quad ; \quad \text{für } f_1 = f_2 = 0$$

Es wird ein Flashdruck von 200 mbar angenommen. Bei diesem Druck und 1000 l/h Feedvolumenstrom ist mit 36 kW eine Feedtemperatur von  $T_F = 89 \text{ }^\circ\text{C}$  bei einer Sumpftemperatur von etwa  $T_S = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  erreichbar. (vgl. Kapitel 6.2 und 6.3) Die Oberflächentemperatur der Heizstäbe wird als konstant angenommen. Mit Gl. (5) lässt sich die zur Erwärmung notwendige Oberflächentemperatur der Heizstäbe  $T_H$  berechnen. Die gesamte zur Wärmeübertragung verfügbare Fläche  $A$  entspricht der Gesamt-Mantelfläche von sechs Heizstäben.

$$\Delta T_{gro\beta} = T_H - T_S$$

$$\Delta T_{klein} = T_H - T_F$$

Das Umstellen von Gl. (5) auf die gesuchte Temperatur  $T_H$  liefert die entstehende Oberflächentemperatur der Heizung.

$$T_H \approx 530 \text{ K}$$

Mit dem Strömungsrohr ist bei 200 mbar Flashdruck und einem Volumenstrom von 1000 l/h eine Oberflächentemperatur von etwa 257 °C nötig, um bei 36 kW eine Feedtemperatur von 89 °C zu erreichen. Führt man dieselbe Rechnung mit dem Durchflussrohr der ursprünglichen Heizung von Behncke durch, führt diese zu einer Oberflächentemperatur von etwa 215 °C. Der Umbau führt demnach zu einer Erhöhung der Oberflächentemperatur der Heizstäbe um etwa 43 °C.

Nach Rücksprache mit einem Vertreter der Behncke GmbH ist diese Temperaturerhöhung für die Heizstäbe unkritisch [19]. Das neue Durchlaufrohr kann mit der angenommenen Geometrie gebaut werden.

Eine Explosionszeichnung und die Stückliste mit den Komponenten des neuen Heizsystems ist im Anhang 12.11 verfügbar.

Wird die Strömungsgeschwindigkeit verringert oder fällt der Volumenstrom wegen eines Rohrbruchs drastisch ab, ist die Wärmeübertragung an den Heizstäben nicht mehr gewährleistet. Die Heizstäbe könnten infolge einer zu großen Erwärmung beschädigt werden. Aus diesem Grund ist es unerlässlich, den Volumenstrom mit einem geeigneten Strömungswächter zu überprüfen und die Heizungen damit abzusichern.

#### 7.2.5 Strömungswächter

Zur Überwachung des Volumenstroms und zur Absicherung der Heizungen gegen Überhitzen, wurde ein Prallscheiben- oder Paddelströmungswächter F01 der Firma Kobold eingebaut. Der Strömungswächter hat einen durchflussspezifischen Schaltpunkt. Bei ausreichendem Durchfluss drückt die Flüssigkeit die Prallscheibe gegen eine Feder in Strömungsrichtung. Hierdurch wird ein elektrischer Kontakt geschlossen. Fällt der Volumenstrom ab, drückt die Feder das Paddel in die Ausgangsposition zurück und öffnet damit den elektrischen Kontakt. Der Strömungswächter wurde so gewählt, dass der Schalter bei einem Durchfluss von etwa 800 l/h schaltet. Der Schaltpunkt ist spezifisch für wässrige Medien. Der Strömungswächter wird elektrisch so verdrahtet, dass dieser die Heizungen abschaltet, wenn nicht genügend Durchfluss am Strömungswächter vorhanden ist.

Die elektrische Verschaltung ist in Kapitel 8 beschrieben

Der Strömungswächter, welcher in der Heizung von Behncke eingebaut war, hat einen Schalterpunkt bei etwa 2100 l/h. Dieser Volumenstrom wird im KB mit der Kreislaufpumpe P1 nicht erreicht. Entsprechend kann der Strömungswächter nicht wiederverwendet werden. Das Datenblatt zum neuen Strömungswächter ist im Anhang 12.12 beigefügt. Bei der Ausführung handelt es sich um den Strömungswächter vom Typ „PSR-12206R20R4“ gemäß Datenblatt.

### 7.2.6 Temperaturregelung des Feeds

Die Temperatur des Feeds soll im KB regelbar sein. Der Regelkreis für die Feed-Temperatur ist in Abbildung 14 dargestellt.

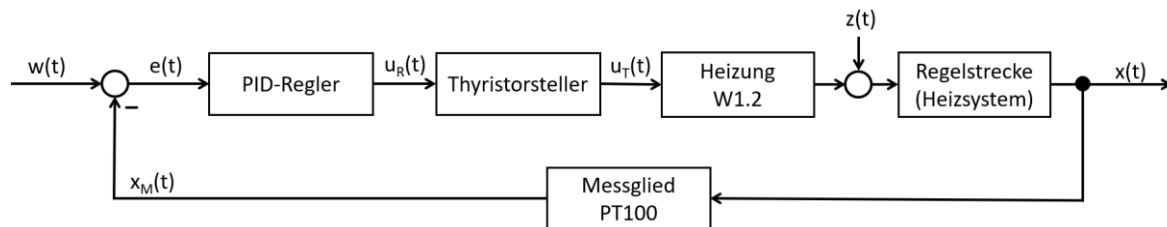


Abbildung 14: Regelkreis zur Temperaturregelung des Feeds

Tabelle 8: Legende zum Regelkreis für die Temperaturregelung des Feeds

Zeichen	Parameter	Einheit/Wertebereich
$w(t)$	Führungsgröße, Sollwert der Feedtemperatur	°C
$e(t)$	Regelabweichung	°C
$u_R(t)$	Stellgröße des PID-Reglers	4-20 mA
$u_T(t)$	Stellgröße des Thyristorstellers	0-100% der el. Leistung
$z(t)$	Störgrößen der Umgebung	diverse
$x(t)$	Regelgröße, Ist-Wert der Feedtemperatur	°C
$x_M(t)$	Rückführung, Widerstandswert des Temperaturfühlers	°C

Für die Regelung wurde ein PT-100 Temperaturfühler (TIC 03) unmittelbar vor dem Flash-Ventil V-04 an der Anlage installiert (vgl. R&I-Fließbild zum KB, Anhang 12.4). Gemäß der Kennlinie des Temperaturfühlers ändert sich dessen Widerstand in Abhängigkeit der Temperatur. Der Widerstand wird als Rückführung  $x_M(t)$  von einem PID-Regler der Firma Eurotherm des Typs 94/94C ausgewertet. Eine Bedienungsanleitung zum PID-Regler ist online [36] verfügbar. Der Sollwert der Feed-Temperatur (Führungsgröße  $w(t)$ ) wird manuell am Regler vorgegeben.

Mit den Regelparametern (P-, I- und D-Anteil), errechnet der PID-Regler aus der Regelabweichung  $e(t)$  zwischen Führungsgröße  $w(t)$  und Rückführung  $x_M(t)$ , einen stetigen Ausgang mit einer Stromstärke von 4-20 mA.

Dies ist die Stellgröße des PID-Reglers  $u_R(t)$  für den Thyristorsteller. Für diesen ist die Stromstärke von 4-20 mA gleichbedeutend mit 0-100 %. In Abhängigkeit der erfassten Stromstärke schaltet der Thyristorsteller 0-100 % der elektrischen Leistung der Heizung W1.2. Die Regelung der elektrischen Leistung durch den Thyristorsteller wird mit dem sogenannten „Phasenanschnitt“ realisiert.

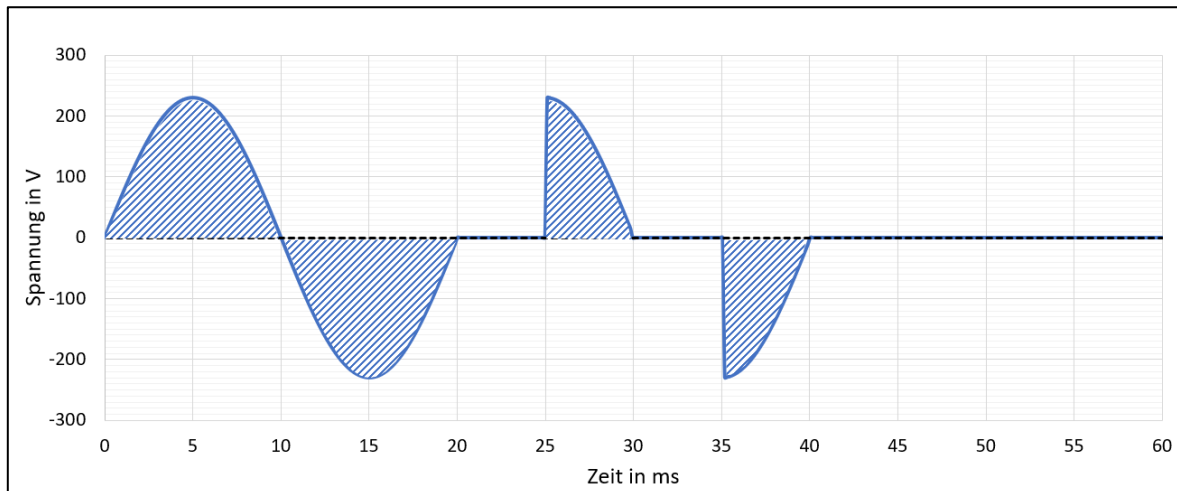


Abbildung 15: Prinzipskizze zum Phasenanschnitt-Betrieb eines Thyristorstellers

Beim Phasenanschnitt wird nur ein Teil der sinusförmigen Wechselspannung auf die Last (Heizung) geschaltet. Die Periodendauer bei einer Wechselstromfrequenz von 50 Hz beträgt 20 ms. In der Prinzipskizze zum Phasenanschnitt-Betrieb aus Abbildung 15 wird die erste Periode der Sinusschwingungen vollständig auf die Last durchgeschaltet. Dies entspricht einer Leistung von 100 % oder einem Stromsignal des PID-Reglers von 20 mA. Bei 20 ms erhält der Thyristorsteller das Signal, nur noch 50 % der Leistung zu übertragen (Eingangssignal 12 mA). Daraufhin erfolgt ab dem Nulldurchgang die Verzögerung der durchgeschalteten Spannung bis zur Hälfte der Halbwelle. Bei 25 ms „zündet“ der Thyristorsteller. Die Leistung wird bis zum nächsten Nulldurchgang durchgeschaltet. Der Flächenanteil einer Halbwelle, in welcher der Thyristorsteller zündet, an der Gesamtfläche einer Sinus-halbwelle, entspricht der durchgeschalteten elektrischen Leistung in Prozent. Ab 40 ms wird keine Leistung mehr durchgeschaltet. An dieser Stelle ist die Feedtemperatur erreicht oder überschritten. (Eingangssignal 4 mA). [27, 37] Die vom Thyristorsteller durchgeschaltete Leistung ist die Stellgröße  $u_T(t)$  für die Heizung W1.2 (Last). Die Leistung der Heizung beeinflusst den in der Regelstrecke übertragenen Wärmestrom und damit die Regelgröße  $x(t)$  (Feed-Temperatur).



Durch diesen Regelkreis kann die Feedtemperatur variiert werden. Die exakte elektrische Verschaltung der Komponenten wird in Kapitel 8 beschrieben. Das Datenblatt zum verwendeten Thyristorsteller ist dem Anhang 12.13 beigelegt.

### 7.2.7 Messdatenerfassung und Möglichkeiten zur Bilanzierung der Anlage

Die Messeinrichtungen zur Temperatur-, Druck- und Volumenstrommessung wurden vollständig aus dem Batch-Betrieb übernommen. Die Messstellen wurden gemäß dem R&I-Fließbild der EVERDA zum kontinuierlichen Betrieb an der Anlage positioniert (siehe Anhang 12.4). Die Auswertung der Messdaten erfolgt weiterhin nach dem in Kapitel 4.1.7 (Sensorik und Messdatenerfassung) beschriebenen System. Die Messdatenerfassung und die Anzeige der Messdaten wurde auf die neuen Bezeichnungen der Messstellen angepasst. Die Benutzeroberfläche der Computeranwendung wurde dem neuen Anlagenaufbau angepasst. Aus der neuen Anordnung der Messstellen ergeben sich folgenden Möglichkeiten zur Bilanzierung verschiedener Anlagenteile im Rahmen von Technikums-Versuchen:

#### **a) Bilanzierung des Hauptprozesses, Trinkwassergewinnung**

Die Anlage wird mit Trinkwasser aus dem Technikum statt Salzwasser betrieben. Das Resultat des Prozesses, nämlich die Gewinnung des Kondensates, kann dennoch als repräsentative Produktion von Trinkwasser betrachtet werden. Dass mit der EVERDA eine Trinkwassererzeugung in vergleichbarer Weise mit Salzwasser als Prozessmedium möglich ist, wurde mit der Abschlussarbeit von Albrecht [7] nachgewiesen. Zur Bilanzierung des experimentell gewonnenen Trinkwassers ist ein stationärer Zustand der Anlage abzuwarten. Anschließend muss die Zeit zwischen mindestens zwei Abpumpvorgängen der Kondensatpumpe ermittelt werden. Das abgepumpte Kondensat wird einem geeigneten Gefäß aufgefangen und gewogen. Aus der Masse an Kondensat und der verstrichenen Zeit ergibt sich der experimentell erzeugte Dampfmassestrom.

Dieser entspricht dem Massestrom an erzeugtem Kondensat.

$$\dot{m}_{D,exp} = \dot{m}_{Kond.,exp} = \frac{m_{Kond.,exp}}{\Delta t} \quad (24)$$

Durch den Vergleich mit der theoretischen Berechnung des Dampfmassestroms, kann der Realfaktor  $\beta$  nach Stengler [8] ermittelt werden. Hierfür können die Gleichungen aus Kapitel 3 „Thermodynamische Berechnung“ angewandt werden.

**b) Bilanzierung der Wärmeübertragung im Durchlauferhitzer W1.1, W1.2**

Da die Geometrie des Durchlaufrohres bekannt ist, kann eine strömungstechnische Bilanzierung durchgeführt werden (Reynoldszahl, Prandtl-Zahl). Mit der Temperatur des Sumpfes (TIR01), der Temperatur des Feeds (TIR02) und dem Volumenstrom im Heizkreislauf (FIR02), kann der Durchlauferhitzer hinsichtlich des übertragenen Wärmestromes bilanziert werden. Außerdem kann die Oberflächentemperatur der Heizstäbe ermittelt werden (vgl. Kapitel 7.2.4 „Auslegung des Heizsystems“)

**c) Bilanzierung der Turbine T1**

Es befinden sich Druck- und Temperaturmessstellen vor und nach der Turbine. (TIR05, TIR06; PIR02, PIR03). Hiermit kann die Enthalpie-Differenz bei der Expansion des Dampfes in der Turbine mithilfe von Dampfdrucktafeln oder dem  $\log(p),h$ -Diagramm des reinen Wassers bestimmt werden (vgl. Kapitel 3). Der durch die Turbine geleitete Dampfmassenstrom kann bei konstanten Prozessparametern über das Wiegen des Kondensates ermittelt werden. Mit den Gleichungen aus Kapitel 3 kann die Leistung der Turbine für den isentropen und realen Fall berechnet werden. Für die Berechnung des realen Falls wird ein isentroper Wirkungsgrad für die Turbine angenommen.

### 7.3 Bau der Anlage

---

Der Bau der Anlage wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Technischen Meister des Technikums durchgeführt. Der neue Anlagenaufbau entspricht der Anordnung im R&I-Fließbild „EVERDA Meerwasserentsalzung kontinuierlicher Betrieb“ (vgl. Anhang 12.4). Die Anlage wurde so ausgerichtet, dass alle Komponenten gut ersichtlich sind. Diese sind mit den Bezeichnungen des R&I-Fließbildes versehen worden. Hiermit ist der Prozessablauf aus dem Fließbild leicht mit der realen Anlage vergleichbar.

## 8 Aufbau der elektrischen Verschaltung

---

In diesem Kapitel wird die elektrische Umsetzung des neuen Konzeptes erläutert. Dies beinhaltet insbesondere den Aufbau des Schaltschranks. Der Aufbau der Komponenten im Schaltschrank ermöglicht die Verschaltung der Anlagenteile untereinander, in der für den Prozess benötigten Form. Die Planung und die Umsetzung der elektrischen Installation ist in enger Zusammenarbeit mit dem Kommilitonen Schlien erfolgt. Als gelernter Elektriker hat Herr Schlien die hierfür notwendige Qualifizierung und Erfahrung. Zum besseren Verständnis können die folgenden Kapitel parallel zum Stromlaufplan (SLP) betrachtet werden. Der SLP, inklusive einer Komponentenliste zu den verwendeten elektrischen Komponenten, ist im Anhang 12.14 verfügbar.

### 8.1 Struktur des Stromlaufplans

---

Der SLP erstreckt sich fortlaufend über vier Seiten. Auf jeder Seite sind im oberen Bereich die drei Phasen (L1, L2 und L3) des Starkstromnetzes als Linien horizontal abgebildet. Die horizontalen Linien im unteren Bereich sind zum einen der Nullleiter (N, blau) und die Erdungsleitung (PE, grün). Unterhalb der Linien von N und PE befinden sich die durchnummerierten Klemmenbezeichnungen. Ein einzelnes Klemmenbündel ist für den Anschluss einer elektrischen Komponente der Anlage vorgesehen. Die Beschreibung unter dem Klemmenbündel bezieht sich auf das R&I-Fließbild der EVERDA 3 und damit auf die jeweilige Position des Bauteils an der Anlage. Außerdem werden die einzelnen Kabelquerschnitte zu den Bauteilen angegeben. Im Schaltschrank sind die einzelnen Klemmenbündel in größeren Klemmenblöcken untergebracht. Diese werden als X1, X2, X3, und X4 bezeichnet. Für eine leichtere Identifizierung sind die Bezeichnungen der Bauteile des SLP (F0, T1 etc.) als gelbe Aufkleber im Schaltschrank wiederzufinden.

Auf Seite 1 des SLP sind neben den Steckdosen X8.1 bis X8.4 alle Bauteile abgebildet, die mit allen drei Phasen und Wechselspannung angeschlossen sind. Die Seiten 2 und 3 des SLP umfassen die Bauteile, welche einphasig mit Wechselspannung angeschlossen werden. Auf Seite 4 im SLP sind die Bauteile abgebildet, welche eine 24 V Gleichspannungs-Versorgung benötigen. Dies ist insbesondere die Spannungsversorgung einiger Messeinheiten.

## 8.2 Funktionsweise der verwendeten Relais

---

Relais bestehen zunächst aus einer Spule, einem Anker und einem oder mehreren Schaltern. Wenn Spannung an der Spule anliegt, entsteht ein magnetisches Feld. Der Anker wird durch das Magnetfeld der Spule bewegt und öffnet oder schließt dadurch einen oder mehrere Kontakte. Spule und Kontakte der Relais erhalten im Schaltplan die Bezeichnung K. Das Symbol der Spule im Schaltplan ist ein Rechteck. Kontakt sind mit einem Schaltersymbol gekennzeichnet. Zur Darstellung von Zeitrelais wird in das Rechteck zusätzlich ein Kreuz eingezeichnet. Der Stromkreis, in welchem die Spule eingebunden ist, wird als „Steuerstromkreis“ bezeichnet. Die Stromkreise, in denen die Schalter des Relais eingebunden werden, erhalten die Bezeichnung „Laststromkreis“ oder auch „Hauptstromkreis“. Steuer- und Laststromkreis sind galvanisch voneinander getrennt. [37]

Schließt der Schalter eines Relais beim Anlegen der Spannung an die Spule einen Laststromkreis, so erhält dieser Schalter die naheliegende Bezeichnung als „Schließer“. Im englischen wird ein solcher Schalter auch mit „normally open“ oder kurz NO, bezeichnet. Äquivalent dazu ist ein Schalter, welcher beim Anlegen der Spannung an die Spule geöffnet wird, als „Öffner“ bezeichnet. (engl. normally closed, kurz NC). In einem Relais können mehrere Öffner und Schließer verbaut sein. Da Steuer- und Laststromkreis galvanisch voneinander getrennt sind, kann mit einer geringen Steuerspannung (z.B. 24 VDC) eine deutlich höhere Lastspannung (z.B. 230VAC) geschaltet werden. Somit kann für die einzelnen Aufgaben zur Steuerung der Anlage im Schaltschrank ein jeweils passendes Relais gewählt werden. [37]

### 8.3 Spannungsversorgung und Sicherheitseinrichtungen

---

Auf der ersten Seite des SLP befindet sich die Spannungsversorgung des Schaltschranks mit der Bezeichnung X1. Die drei Phasen, N und PE werden auf den Hauptschalter S0 geführt. Dieser trennt die gesamte Spannungsversorgung von Anlage und Schaltschrank. Bei geschlossenem Hauptschalter liegt die Spannung nur an den Kontakten des Relais K0 an. Diese werden geschlossen, wenn die Spule von K0 mit Spannung versorgt ist. Die Spule von K0 wird nur bei geschlossenem Not-Aus-Schalter S01 mit Spannung versorgt. Da der Not-Aus-Schalter die wichtigste Sicherheitseinrichtung ist, erhält dieser eine gesonderte Sicherung F0. Ist der Not-Aus-Schalter am Schaltschrank geschlossen, liegt an allen Sicherungen im Schaltschrank Spannung an. Ist der Hauptschalter aus, oder wird der Not-Aus-Schalter betätigt, ist der gesamte Schaltschrank und damit alle elektrischen Komponenten der Anlage von der Spannungsversorgung getrennt.

### 8.4 Anschluss, Regelung und Steuerung der Heizungen

---

Nach K0 folgen zunächst die drei Schmelzsicherungen F1 und die Kontakte des Relais K1. Diese führen über den Thyristorsteller zur Heizung W1.2. Parallel dazu folgt über die Sicherung F2 und die Kontakte des Relais K2 die Spannungsversorgung der Heizung W.1.1.

#### 8.4.1 Regelung und Steuerung der Heizung W.1.2

---

Die Spule des Relais K1 befindet sich auf der zweiten Seite des SLP nach der Sicherung F4. Die Leitung zu F4 wird zunächst auf den im Heizkreislauf befindlichen Strömungswächter F01 geführt. Der Schalter des Strömungswächters ist nur bei ausreichendem Volumenstrom im Heizkreislauf geschlossen. Ist dies der Fall, folgen nach dem Strömungswächter die beiden Taster S.1.1 und S.1.2 zum Betätigen der Heizung. Da es sich bei diesen um Taster handelt, muss eine Selbsthaltung integriert werden. Der Taster S1.1 ist ein Öffner (NC). Wird S.1.2 gedrückt, schließt sich dessen Kontakt (NO). Es liegt Spannung an der Spule von K1 an. Das Relais K1 hat neben den drei Kontakten vor dem Thyristorsteller einen weiteren Schließer als Hilfskontakt (K1, Kontakt 13 und 14). Dieser wird beim Drücken von S.1.2 geschlossen und versorgt das Relais K1 auch nach Loslassen des Tasters S.1.2 mit Strom.

Das Relais befindet sich daraufhin in der Selbsthaltung und die Lampe H1 leuchtet. Wird der Taster S.1.1 betätigt, unterbricht dieser die Selbsthaltung und die Kontakte von K1 werden wieder geöffnet. Bei angezogenem K1 liegt am Thyristorsteller Spannung an. Dieser schaltet im Phasenanschnitt- Betrieb, entsprechend dem Signal vom PID-Regler, Spannung auf die Heizung. Hiermit wird die Leistung der Heizung W.1.2 und damit die Temperatur des Feeds geregelt.(vgl. Kapitel 7.2.6).

#### 8.4.2 Steuerung der Heizung W.1.1

Das Betätigen der Heizung W.1.1 erfolgt nach einem ähnlichen Prinzip. Nach der Sicherung F2 folgen die Kontakte des Relais K2. Die Spule von K2 ist ebenfalls nach der Sicherung F4 abgebildet. Die Selbsthaltung mit den Tastern S.2.1 und S.2.2, sowie dem Hilfskontakt (K2, Kontakt 13 und 14) ist äquivalent zu der Selbsthaltung von K1 aufgebaut. Wird der Taster S.2.2 gedrückt, beginnt die Selbsthaltung und K2 ist dauerhaft mit Spannung versorgt. Die Lampe H2 leuchtet. Wird der Taster S.2.1 gedrückt, endet die Selbsthaltung. Bei aktiver Selbsthaltung sind die Kontakte von K2 geschlossen und die Heizung W.1.1 wird mit der vollen Netzspannung versorgt. Durch diese Anordnung kann dem Heizsystem bei Bedarf 18 kW unregelmäßige Leistung zugeschaltet werden. Das Einschalten der Heizung W.1.1 ist ebenfalls nur dann möglich, wenn der Strömungswächter seinen Kontakt bei ausreichendem Durchfluss im Heizsystem geschlossen hat.

Durch das Einbinden des Strömungswächters ist die Fehlbedienung der Heizungen unmöglich. Selbst wenn bei ausgeschalteter Kreislaufpumpe P1 die Taster der Heizungen gedrückt werden, sind die Spulen der Relais K1 und K2 nicht mit Spannung versorgt, der Laststromkreis der Heizungen nicht geschlossen und diese somit nicht in Betrieb. Auch die Lampen H1 und H2 leuchten in diesem Fall nicht. An ihnen ist erkennbar, ob die Heizungen aktiv sind.

## 8.5 Vakuumpumpe P3 und Steckdosen X8.1 bis X8.4

Auf der ersten Seite des SLP ist neben den Heizungen die Verschaltung der Vakuumpumpe abgebildet. Die Vakuumpumpe wird mit der Sicherung F3 und einem Motorschutz-Schalter FC3 abgesichert. Wenn der am Schaltschrank befindliche Knebelschalter S3 auf „EIN“ gedreht wird, ist die Spule K3 und die Lampe H3 mit Spannung versorgt. Folglich leuchtet die Lampe und die Kontakte von K3 sind geschlossen. Die Vakuumpumpe wird mit Spannung versorgt und evakuiert die Anlage. Eine Selbsthaltung ist wegen des Knebelschalters nicht notwendig.

Die Steckdosen X8.1 bis X8.4 sind mit einem Fehlerstrom-Schutz-Schalter FI8 abgesichert. Sie befinden sich seitlich am Schaltrank und ermöglichen die Spannungsversorgung diverser Geräte. Unter anderem das Netzkabel von Keysight-Gerät, Computer und Bildschirm kann somit direkt am Schaltschrank angeschlossen werden.

## 8.6 Anschluss von Durchflussmesser, Transformator und PID-Regler

Die Spannungsversorgung für den Durchflussmessers F02, den Transformator T6 und den PID-Regler A8, erfolgt direkt mit dem Umlegen des Hauptschalters. Der Durchflussmesser wird mit der Sicherung F5 abgesichert.

Der Transformator T6 ist mit der Sicherung F6 abgesichert. Er transformiert die Spannung von 230 V Wechselspannung auf 24 V Gleichspannung. Er liefert damit die Spannungsversorgung der Sensoren, welche auf der vierten Seite im SLP abgebildet sind. Die Verbindung der Leitungen ist über Verweise gekennzeichnet. Verweise zwischen zwei Leitungen werden als gepunktete Rechtecke dargestellt.

Der PID-Regler A8 auf Seite 3 des SLP ist mit der Sicherung F7 abgesichert. Er erfasst die Temperatur des Feeds mit dem angeschlossenen PT100-Temperaturfühler TIC03 (Anschlussstellen 18, 19, 20 am PID-Regler). Über die Anschlussstellen 1 und 2 des Reglers, liefert er das Stromsignal (4 bis 20 mA) an den Thyristorsteller T1. Diese Verbindung ist ebenfalls mit einem Verweis gekennzeichnet.

## 8.7 Anschluss der Magnetventile, Pumpensteuerung

---

Auf Seite 3 des SLP sind die Klemmenbündel zu den Magnetventilen abgebildet. Das Magnetventil V-01 ist in die Frischwasserleitung zur Nachspeisung in den Sumpf B1 eingebaut. V-13 und V-14 befinden sich in den Druckluftleitungen zur Kondensatpumpe P2 und zur Kreislaufpumpe P1. Die Magnetventile sind stromlos geschlossen. Das Datenblatt der Magnetventile ist im Anhang 12.8 beigelegt.

### 8.7.1 Magnetventil V-01, Füllstandsteuerung im Sumpf

---

Bevor das Magnetventil V-01 mit Spannung versorgt wird, muss das Zeitrelais K4 seinen Kontakt schließen. Hierfür muss der Steuerstromkreis von K4 geschlossen sein. Dies ist der Fall, wenn der Steuerstromkreis von K7 geschlossen ist und damit der Kontakt von K7 angezogen wird. Der Steuerstromkreis von K7 ist auf Seite 4 des SLP bei den Sensoren abgebildet. Fällt der Füllstand im Sumpf B1 infolge der Dampfproduktion unter das Niveau des Füllstandschalters L01, so ist der Stromkreis zwischen den Klemmen 23 und 24 geschlossen. Die Spule des Koppelrelais K7 wird dann mit Spannung versorgt. Die Spule schließt nun den Kontakt K7 vor dem Zeitrelais K4. Damit ist die Spule von K4 mit Spannung versorgt. Die an K4 voreingestellte Ansprechverzögerung (AV) verzögert das Schließen des Kontaktes im Laststromkreis von K4 um drei Minuten. Wenn drei Minuten ununterbrochen Spannung an K4 anliegt, schließt dieses seinen Laststromkreis und versorgt damit das Magnetventil mit Spannung. Dieses öffnet nun die Frischwasserleitung. Der Füllstand im Sumpf B1 steigt. Ist der Schaltpunkt von L01 durch den Füllstand überschritten, ist der Stromkreis zwischen den Klemmen 23 und 24 wieder geöffnet. Es liegt keine Spannung mehr an K7 und K4 an. Das Magnetventil wird wieder geschlossen und das Schalten kann von neuem beginnen. Damit ist die Füllstandsteuerung im Sumpf automatisiert.

### 8.7.2 Magnetventil V-13, Steuerung der Kondensatpumpe

---

Infolge der Dampfproduktion steigt der Füllstand an Kondensat in B2 und B3. Wenn das Kondensat den Schaltpunkt des kapazitiven Sensors L03 überschreitet, schließt dieser den Stromkreis zwischen den Klemmen 27 und 28 und damit den Steuerstromkreis der Spule K9. Die Spule des Zeitrelais K5 wird mit Spannung versorgt.



Nach Ablauf der AV von 10 Minuten schließt K5 seinen Laststromkreis und versorgt dabei das Ventil V-13 mit Spannung. Dieses öffnet die Druckluftversorgung der Kondensatpumpe P2. Das Kondensat wird abgepumpt. Der Füllstand in B2 und B3 fällt. Ist der Schaltkontakt von L03 durch den Füllstand unterschritten, wird der Stromkreis zwischen den Klemmen 27 und 28 wieder geöffnet. K9 und K4 erhalten keine Spannung mehr. Das Magnetventil schließt. Der Füllstand des Kondensats steigt wieder und der Ablauf beginnt von vorne. Damit ist die Füllstandsteuerung des Kondensates automatisiert.

### 8.7.3 Magnetventil V-14, Steuerung der Kreislaufpumpe

Die Kreislaufpumpe P1 geht in Betrieb, wenn das Magnetventil V-14 geöffnet, also mit Spannung versorgt ist. Um die Pumpe P1 vor Trockenlauf zu schützen, wird der Füllstandschalter L02 verwendet. Dieser schließt den Stromkreis zwischen den Klemmen 25 und 26. Wenn der Füllstand im Sumpf über das Niveau von L02 gestiegen ist, liegt Spannung an K8 an. Der NO-Kontakt von K8 auf Seite 3 im SLP ist dann geschlossen. Die Taster S.4.1 und S.4.2 zusammen mit der Spule von K6 und dem Hilfskontakt K6 (Anschlüsse 1 und 2), bilden die bekannte Selbsthaltung von Relais K6. Der zweite Kontakt von K6 (Anschlüsse 3 und 4), schließt bei aktiver Selbsthaltung den Stromkreis zum Magnetventil V-14. Ist der Füllstand im Sumpf über dem Niveau von L03 und die Selbsthaltung von K6 aktiv, läuft die Pumpe P1. Bei laufender Pumpe leuchtet auch die Lampe H4. Es ist nicht möglich, die Kreislaufpumpe einzuschalten, wenn der Füllstand in B1 zu gering ist. Damit ist der Trockenlaufschutz für die Kreislaufpumpe P1 realisiert.

### 8.7.4 Sensoranschluss, Keysight-Kommunikation

Im Klemmenblock X4 sind neben den Füllstandschaltern auch die Drucksensoren (PIR02 und PIR03) angeschlossen. Es ist außerdem die Verdrahtung zwischen den Klemmen der Sensoren und des Keysight-Gerätes abgebildet (Klemmen 29 bis 46). Auf Seite 4 des SLP ist eine Infobox dargestellt. Aus dieser geht hervor, wie die Sensoren, welche aus dem Schaltschrank führen, im Kanal-Multiplexer des Keysight-Gerätes angeschlossen werden. Alle weiteren Sensoren wurden unverändert aus dem Batch-Betrieb übernommen und führen ohne Verbindung mit dem Schaltschrank vom Multiplexer direkt an die Anlage.

## 9 Inbetriebnahme

---

Mit der elektrischen Verschaltung wurde der letzte Schritt zum Betreiben der Anlage vollendet. Mit der fertigen Anlage wurde die Inbetriebnahme durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme war der Deckel des Sumpfbehälters noch nicht ersetzt. Es war dennoch möglich die Anlage auf Funktion zu prüfen, die Regelparameter des PID-Reglers einzustellen und einen Testlauf durchzuführen.

### 9.1 Funktionsnachweis

---

Obwohl der Deckel noch nicht ersetzt wurde, konnten die einzelnen Bestandteile der Anlage auf Funktion geprüft werden. Die Verschaltung der Anlage führt zum gewünschten Ergebnis. Ventile, Pumpen und Heizungen lassen sich nach dem Konzept der Steuerung (vgl. Kapitel 7 und 8) steuern. Die Messdatenerfassung ist ebenfalls funktionsfähig. Die Funktion der Anlage konnte damit vollständig nachgewiesen werden.

Allerdings erreicht die Kreislaufpumpe ab 300 mbar Flashdruck und einer Feed-Temperatur von etwa 90°C nur teilweise einen Volumenstrom von 1000 l/h. Die pumpenartbedingte Pulsation des Förderstromes führt zu einem schwankenden Volumenstrom. Die Frequenz der Pulsation ist so hoch, dass sie mit der Taktrate des Keysight-Gerätes nicht erfasst werden kann. Die Pulsation führt dazu, dass der Schalterpunkt des Strömungswächters F01 periodisch unterschritten wird. Hierbei werden die Heizungen durch die elektrische Verschaltung automatisch abgeschaltet. Es ist daher unbedingt notwendig, einen Pulsationsdämpfer einzubauen, wenn der Volumenstrom im Feed bei 300 mbar Flashdruck auf 1000 l/h gehalten werden soll. Der Strömungswächter erfüllt damit zwar seine Funktion, verhindert jedoch gleichzeitig das Betreiben der Anlage im Unterdruck und bei höheren Temperaturen. Um dennoch Testläufe durchführen zu können und den PID-Regler bezüglich der Regelparameter einzustellen, wurde die Funktion des Strömungswächters überbrückt. Dies ist unter keinen Umständen für Technikums-Versuche zulässig. Hiermit setzt man die Sicherung der Heizungen gegen das Überhitzen außer Kraft. In diesem Fall muss der Durchfluss am Durchflussmesser aktiv überwacht werden.

## 9.2 Einstellen der Regelparameter

Die Einstellung der Regelparameter wird mithilfe der empirischen ermittelten Schwingungsmethode nach Ziegler und Nichols [38] durchgeführt. Hierfür wird der Proportionalbereich  $X_P$  zunächst auf 100% gestellt. Anschließend wird dieser langsam so stark verringert, bis der Wert des kritischen Proportionalbereiches  $X_{P,krit}$  erreicht ist. Ab diesem Wert schwingt die Regelgröße mit gleichbleibender Amplitude. Bei dieser kritischen Verstärkung wird die kritische Periodendauer  $T_K$  ermittelt. Um die Genauigkeit zu Erhöhung, wird bei der Berechnung die Periodendauer aus mehreren Schwingungen gemittelt.

Der kritische Wert, an dem die Stabilitätsgrenze des Regelkreises gerade erreicht ist und an dem der Istwert periodische Schwingungen gleichbleibender Amplitude aufweist, beträgt  $X_{P,krit} = 1,2 \%$ . Es zeigt sich das folgende Regelverhalten:

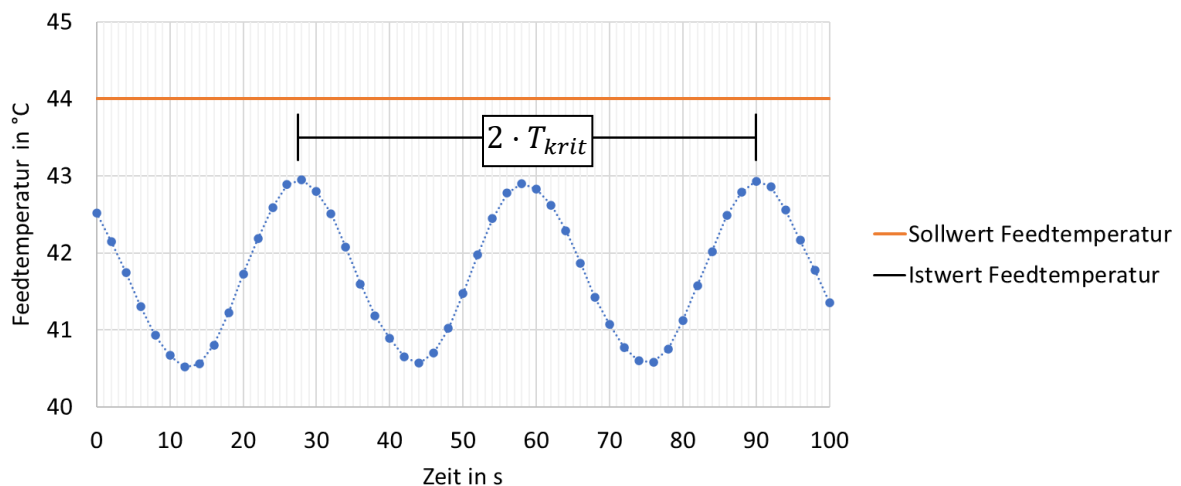


Abbildung 16: Regelverhalten bei kritischer Verstärkung  $X_{p,krit} = 1,2$

Die kritische Periodendauer  $T_{krit}$  wurde über zwei Perioden gemittelt und beträgt etwa 33 Sekunden. Aus den empirischen Ansätzen ergeben sich die folgende Regelparameter, mit denen eine zufriedenstellende Regelung der Feedtemperatur erreicht wurde.

Proportionalband:  $X_p = 2$

Integral-Anteil:  $T_N = 16$

Differential-Anteil:  $K_D = 4$

### 9.3 Testlauf

Die Anlage wurde auf etwa 400 mbar evakuiert. Anschließend wurde der Kreislauf mit einer Sollwert-Temperatur des Feeds von 90°C gestartet. Nach dem Erreichen konstanter Temperaturen kann die Anlage Schrittweise auf bis zu 300 mbar evakuiert werden. Die Pumpe fördert hierbei einen Volumenstrom von 1000 l/h. Die Aufheizphase dauert etwa 45 Minuten.

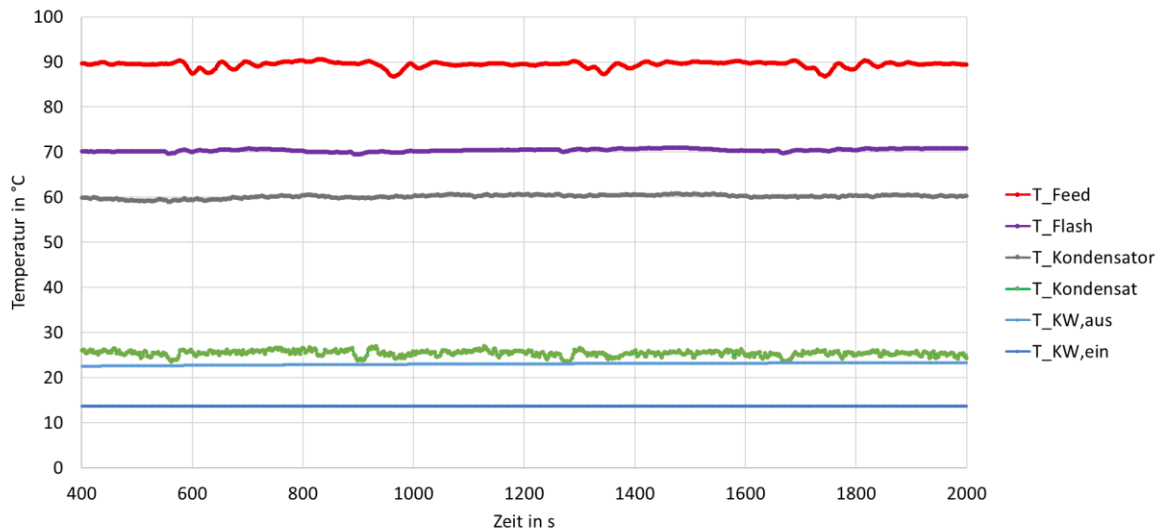


Abbildung 17: kontinuierlicher Betrieb, Temperaturen bei 1000l/h Volumenstrom und 300 mbar Flashdruck

Nach etwa zehn Minuten stellt sich ein stationärer Zustand ein. Die Temperaturen in der Anlage sind konstant. Die Feedtemperatur zeigt kurzzeitige Schwankungen. Wenn das Magnetventil zur Nachspeisung des Sumpfes geöffnet wird, erhöht dies den Druck in der Anlage. Die Kreislaufpumpe fördert kurzzeitig einen höheren Volumenstrom, die Feedtemperatur fällt. Auf den Dampfmassestrom hat dies keinen Einfluss. Das Temperaturgefälle am Kondensator zwischen Ein- und Auslauf ist konstant. Das bedeutet, dass der entstehende Dampfmassestrom ebenfalls konstant sein muss (vgl. Gl(2) und Gl(4)). Wenn das Magnetventil schließt, kehrt die Temperatur des Feeds wieder auf den Sollwert zurück.

Um den experimentell entstandenen Dampfmassestrom zu berechnen, wurde die Masse des Kondensates zwischen drei Abpumpvorgängen der Kondensatpumpe ermittelt. Zudem wurde die Zeit zwischen den Abpumpvorgängen gemessen.

Es wurde der folgende Betriebspunkt experimentell betrachtet:

$$T_{Feed} = 90 \text{ }^\circ\text{C}; \quad p_{Flash} = 300 \text{ mbar}; \quad \dot{V}_{Feed} = 1000 \text{ l/h}$$

Hierbei entstand der folgende experimentelle Dampfmassestrom:

$$m_{Kond.} = 12,322 \text{ kg}$$

$$\Delta t = 1524 \text{ s}$$

$$\dot{m}_{kond.,exp} = \frac{m_{Kond.}}{\Delta t} = \mathbf{0,0081 \text{ kg/s}}$$

Der theoretisch entstehende Dampfmassestrom für diesen Betriebspunkt beträgt nach den thermodynamischen Gleichungen Gl.(7) und Gl.(8):

$$\dot{m}_{kond.,th.} = \mathbf{0,0125 \text{ kg/s}}$$

Der Realfaktor nach Stengler [8] mit Gl.(11) beträgt folglich:

$$\beta = \mathbf{64,8 \%}$$

Mit diesem Testlauf wurde bewiesen, dass mit dem neuen Anlagenkonzept ein kontinuierlicher Betrieb mit stationären Betriebsparametern erreicht wird. Der Betriebspunkt bei 300 mbar Flashdruck und 1000 l/h Feed-Volumenstrom führt zu einem experimentellen Massestrom des Kondensates von 0,0081 kg/s. Hierbei ist die Anlage bezüglich der Heizleistung noch nicht voll ausgelastet. Die Relation der Kondensat-Massenströme zwischen dem theoretischen und dem experimentellen Fall, liefert einen Realfaktor von 65 %. Die Anlage verfügt noch über wenig Wärmedämmung. Entsprechend sind die Wärmeverluste hoch und der Realfaktor damit klein. Durch eine bessere Wärmedämmung, kann der Realfaktor erhöht werden.

Es wurden noch keine Versuche bei maximaler Auslastung der Anlage mit etwa 36 kW Heizleistung durchgeführt. Es ist demnach noch nicht bekannt, welcher Dampfmassestrom maximal erzeugt werden kann. Die Turbine wurde noch nicht in den Prozess einbezogen.

## 10 Fazit und Ausblick

---

Mit der vorliegenden Arbeit wurde eine Anlage zur Entspannungsverdampfung im Technikums-Maßstab geplant, gebaut und in Betrieb genommen.

Mit den ersten Testläufen konnte nachgewiesen werden, dass mit dem neuen Konzept der EVERDA 3 stationäre Prozessparameter bei einem kontinuierlichen Prozess erreicht werden.

Die Anlage hat einen hohen Automatisierungsgrad. Nach dem Einstellen einer gewünschten Feedtemperatur kann die Anlage nahezu vollautomatisch betrieben werden. Lediglich das Gefäß zum Auffangen des Kondensates muss periodisch geleert werden.

Die Anlage ist durch die elektrische Verschaltung vor Fehlbedienungen geschützt. Der Anlagenaufbau in Verbindung mit dem R&I-Fließbild ermöglicht eine einfache Betrachtung des Prozesses. Mit dem Bypass-Rohr aus Glas am Kondensatbehälter wurde ein weiteres Element für die Anschaulichkeit der Anlage hinzugefügt. Das eigens ausgelegte Heizsystem bietet die Möglichkeit, dem Prozess einen Wärmestrom von bis zu 36 kW zuzuführen.

Die Dokumentation des Projektes und der Anlage in Form dieser Arbeit umfasst alle wichtigen Informationen über die Auslegung der Komponenten sowie Datenblätter, Zeichnungen, Tabellen, Fließbilder und den Stromlaufplan zur elektrischen Verschaltung.

## 10.1 Punkte zur Weiterentwicklung der Anlage

---

Es verbleiben die folgenden Punkte zur Weiterentwicklung der Anlage:

### **a) Deckel und Tauchrohr des Sumpfbehälters B1**

Der Deckel des Sumpfbehälters B1 muss ersetzt werden. Einige Vorschläge zur Auslegung des Sumpfbehälters wurden im Kapitel 7.2.1 „Übernahme von Kolonne und Sumpfbehälter“ angeführt. Der Deckel sollte ein Tauchrohr besitzen, mit dem die Wasseroberfläche am Füllstandschalter im Sumpf beruhigt wird.

### **b) Kreislaufpumpe P1**

Der Volumenstrom im Heizkreislauf muss auf mindestens 1000 l/h einstellbar sein, sodass der Schaltpunkt des Strömungswächters nicht mehr unterschritten wird. Hierfür wurde der Einsatz eines Pulsationsdämpfers oder eine stärkere Pumpe für den Heizkreislauf vorgeschlagen. Es muss eingehend geprüft werden, wie sich die Pumpe im Betrieb gegen das Vakuum, bei hohen Temperaturen und bei Kavitation verhält. Zudem sollte die Lärmemission der Kreislaufpumpe verringert werden. Hierfür wird der Bau eines schallgeschützten Pumpenhauses empfohlen.

### **c) Wärmedämmung der Anlage**

Es sollte eine Wärmedämmung für die gesamte Anlage konzipiert werden. Dies führt zu minimierter Verletzungsgefahr durch heiße Anlagenteile und zu weniger Wärmeverlusten im Prozess. Hierdurch kann der Realfaktor verbessert werden.

### **d) Einbindung der Turbine**

Es muss geprüft werden, welche experimentelle Dampfmasseström bei voller Auslastung der Anlage mit 36 kW Heizleistung und bei effizienter Wärmedämmung erreicht werden. Um die Turbine einzubinden ist ein konstanter Dampfmassestrom von mehr als 0,01 kg/s von Nöten. (vgl. Kapitel 6.2)

### **e) Prozessbetrachtung mit Salzanreicherung**

Für eine Weiterführende Betrachtung kann die Salzanreicherung mit berücksichtigt werden. Hieraus ergeben sich neue Anforderung an Bau, Auslegung und Simulation der Anlage. Insbesondere könnten effiziente Wärmerückgewinnungskonzepte bei vollständigem Verwurf des Prozesswassers betrachtet werden.

## 11 Literaturverzeichnis

---

- [1] *Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010 64/292. The human right to water and sanitation: RES 64/292*, 2010. [Online]. [https://digitallibrary.un.org/record/687002/files/A\\_RES\\_64\\_292-EN.pdf?ln=en](https://digitallibrary.un.org/record/687002/files/A_RES_64_292-EN.pdf?ln=en) (Aufgerufen am: Jan. 10 2023)
- [2] UN-Menschenrechtsabkommen, *Recht auf sauberes Wasser*. [Online]. <https://www.menschenrechtsabkommen.de/recht-auf-sauberes-wasser-1122/> (Aufgerufen am: Jan. 10 2023).
- [3] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), *Valuing water: The United Nations world water development report 2021*. Paris: UNESCO, 2021.
- [4] M+M Turbinen-Technik GmbH, "Zwischenbericht 2," Bad Salzuflen, 2014.
- [5] K. Hertwig and L. Martens, *Chemische Verfahrenstechnik: Berechnung, Auslegung und Betrieb chemischer Reaktoren*: De Gruyter, 2007.
- [6] E. Müller-Erlwein, *Chemische Reaktionstechnik: Chemie in der Praxis*, 3rd ed. Wiesbaden: Springer Spektrum, 2015.
- [7] A. Albrecht, Bachelorarbeit "Experimentelle Untersuchung zur Entspannungsverdampfung von Wasser an einer Technikumsanlage," Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK), Karlsruher Institut für Technik (KIT), Karlsruhe, 2014.
- [8] J. Stengler, Diplomarbeit "Untersuchungen zur Konzeption und Auslegung eines Entspannungsverdampfers für ein Niedertemperatur-Solarkraftwerk," Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK), Karlsruher Institut für Technik (KIT), Karlsruhe, 2014.
- [9] M+M Turbinen-Technik GmbH, WITT SOLAR AG, and Karlsruher Institut für Technologie KIT, Gemeinsamer Schlussbericht "KMU-innovativ Verbundprojekt: Innovative Multi-Effekt-Solar Anlage zur Meerwasserentsalzung mit Stromerzeugung und integriertem Langzeitspeicher," Akronym: MESAWA, May. 2016.



- [10] J. Koch, Abschlussarbeit "Erweiterung einer solar-thermischen Meerwasser-entsalzungsanlage durch eine Dampfturbine mit Kondensator und deren Inbetriebnahme," Thermische Verfahrenstechnik, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg, Offenburg, 2016.
- [11] S. Linow, *Angewandte technische Thermodynamik*. München: Hanser, 2022.
- [12] P. Stephan, K. Schaber, K. Stephan, and F. Mayinger, *Thermodynamik: Grundlagen und technische Anwendungen*, 19th ed. Berlin: Springer Berlin, 2013.
- [13] M. Wutz, H. Adam, W. Walcher, and K. Jousten, *Handbuch Vakuumtechnik*, 7th ed. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2000.
- [14] Verein Deutscher Ingenieure, *VDI-Wärmeatlas: Reference work*, 11th ed. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013.
- [15] M. Schulze and P. Seidel, *Verdampfungsgleichgewicht und Dampfdruck: Grundlagen, Methoden und Anwendungen*, 1st ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018.
- [16] S. Mall-Gleißle and J. Zimmer, *Flash-Verdampfung Laboranleitung*, Hochschule Offenburg, 2022.
- [17] S. Mall-Gleißle and J. Zimmer, "Joure Fixe", Gespräch, Hochschule Offenburg, 2022.
- [18] S. Mall-Gleißle and J. Zimmer, "Joure Fixe", Gespräch, Hochschule Offenburg, 2022.
- [19] J. Schlieter and Behncke GmbH, "Aufbau und Leistung EWT 80-T Elektrowärmetauscher", Gespräch, *Hochschule Offenburg*, 2022.
- [20] Behncke GmbH, "Installationsanweisung: Elektro-Wärmetauscher," Behncke GmbH, 2005.
- [21] R. Ose, *Elektrotechnik für Ingenieur:innen: Grundlagen*, 7th ed. München: Hanser, 2022.

- [22] J. Zimmer, "Elektrischer Schaltplan, Vakuumpumpe", Gespräch, Hochschule Offenburg, 2022.
- [23] Grundfos ECADEMY, *GRUNDLAGEN DER HYDRAULIK UND PUMPEN-LEISTUNG: KAVITATION UND IHRE FOLGEN FÜR PUMPEN*. [Online]. <https://www.grundfos.com/content/dam/global/page-assets/learn/ecademy/pdfs/de-13-module-3-kavitation-und-ihre-folgen-f%C3%BCr-pumpen.pdf> (aufgerufen am: Dec. 3 2022).
- [24] B. Vaihinger, *Kavitation erkennen und verstehen: Wie man Kreiselpumpen davor schützen kann*. [Online]. <https://www.delta-p-online.de/2021/09/16/kavitation-erkennen-und-verstehen-wie-man-kreiselpumpen-davor-schuetzen-kann/> (aufgerufen am: Dec. 3 2022).
- [25] Agilent Technologies, *Agilent 34970A Messdatenerfassungs-/ Schalt-System*. [Online]. <https://docs.rs-online.com/abed/0900766b8131dab3.pdf> (aufgerufen am: Dec. 3 2022).
- [26] Vulcanic, *Elektrische Heiz-und Kühl-Lösungen für die Industrie: Standard Produkte*. [Online]. <https://fr.zone-secure.net/55453/405205> (aufgerufen am: Dec. 15 2022).
- [27] Jumo, M. Schleicher, and Schneider Winfried, *Thyristorleistungssteller: Grundlagen und Tipps für den Praktiker*. [Online]. <https://www.jumo.net/attachments/JUMO/attachmentdownload?id=3874> (aufgerufen am: Dec. 15 2022).
- [28] MITCalc, *MITCalc Calculation Packages: Version 2.01*. [Online]. <https://www.mitcalc.com/en/download.htm> (aufgerufen am: Dec. 17 2022).
- [29] L.Klein SA, *Edelstähle und Metalle: AISI 316L Decolletage*. [Online]. <http://www.kleinmetals.ch/shop/datenblatt/D/550.pdf> (aufgerufen am: Dec. 17 2022).
- [30] HSM, *Hochleistungswerkstoffe Stahl & Metall: Werkstoffdatenblatt 1.4404 / X2CrNiMo17-12-2 Nichtrostender Stahl, austenitisch*. [Online]. [https://www.hsm-stahl.de/fileadmin/user\\_upload/datenblatt/HSM\\_Datenblatt\\_1.4404.pdf](https://www.hsm-stahl.de/fileadmin/user_upload/datenblatt/HSM_Datenblatt_1.4404.pdf) (aufgerufen am: Dec. 17 2022).

- [31] A. Bail, Abschlussarbeit "Umstellung der Entsalzungsanlage EVERDA im Technikum der HSO von Batch- auf kontinuierlichen Betrieb," Bachelorarbeit, Thermische Verfahrenstechnik, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg, Offenburg, 2022.
- [32] E. Schiessle, *Industriesensorik: Sensortechnik und Messwertaufnahme*, 2nd ed. Würzburg: Vogel Communications Group GmbH & Co. KG, 2016.
- [33] T. Duri, "Auslegung zum Heizsystem der EVERDA", Gespräch, Hochschule Offenburg. 2022.
- [34] N. Hannoschöck, *Wärmeleitung und -transport: Grundlagen der Wärme- und Stoffübertragung*, 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2018.
- [35] H. Oertel jr., *Prandtl - Führer Durch Die Strömungslehre: Grundlagen und Phänomene*, 15th ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022.
- [36] Eurotherm Regler GmbH, *Digitaler Heiz-/Kühlregler Bedienungsanleitung*. [Online]. <https://docplayer.org/53372655-94-94c-digitaler-heiz-kuehlregler-bedienungsanleitung-eurotherm-regler.html> (aufgerufen am: Jan. 3 2023).
- [37] H. Bernstein, *Angewandte Leistungselektronik: Drehstrom: Elektromotor und Antriebstechnik in der Praxis*, 2nd ed. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021.
- [38] T. Loose, *Angewandte Regelungs- und Automatisierungstechnik: Ingenieurwissenschaftliche Grundlagen mit Beispielen und industriepraktischen Anwendungen*, 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Springer Vieweg, 2022.

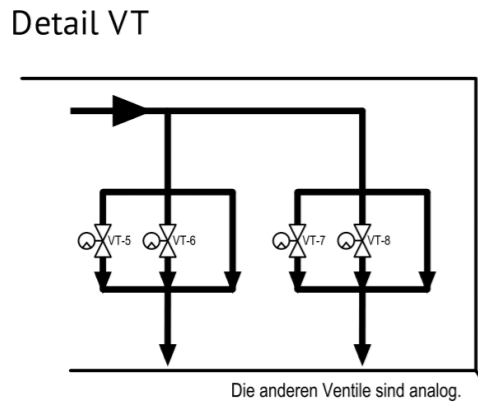
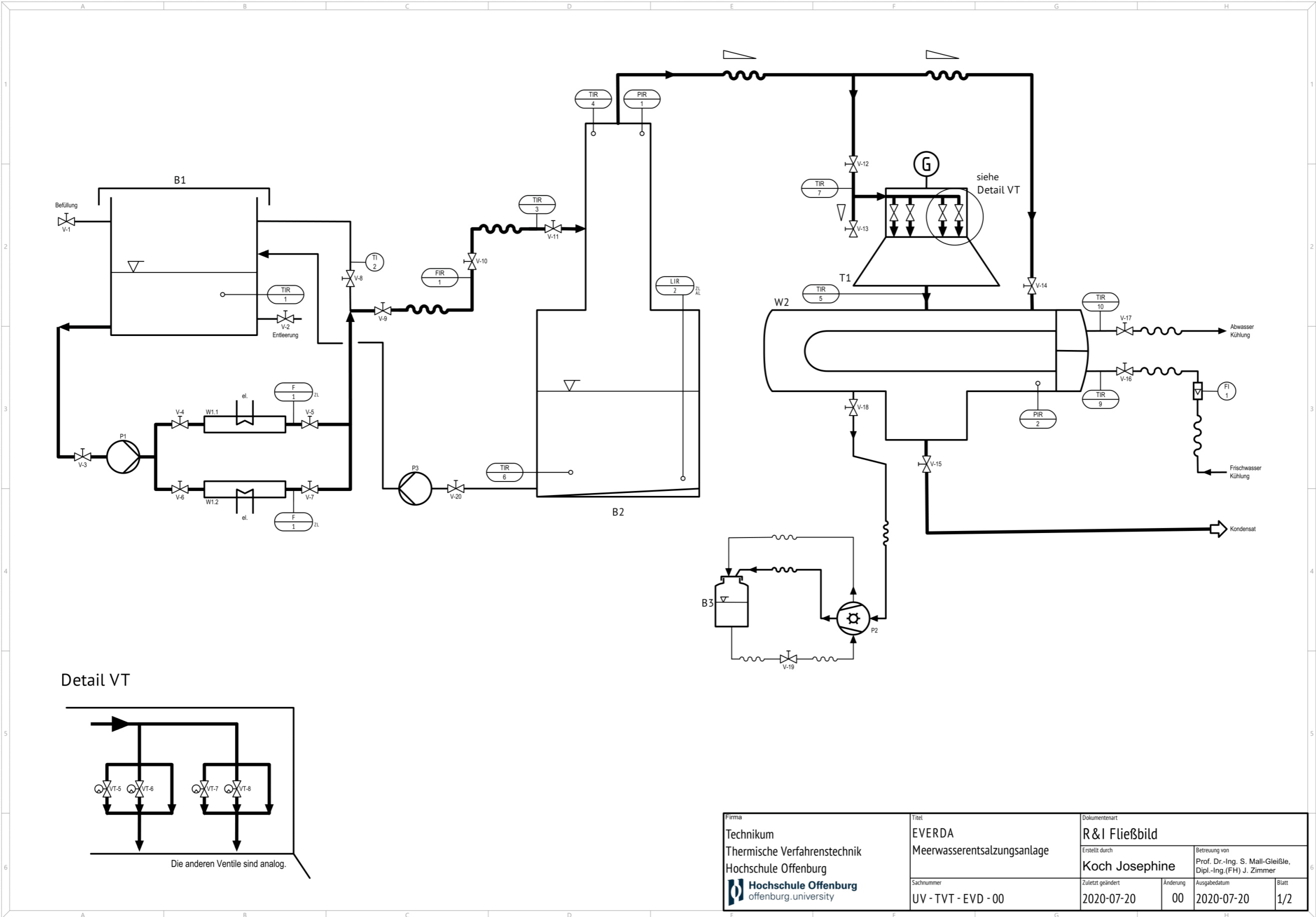
## 12Anhang


---

### 12.1 Anhangsverzeichnis

---

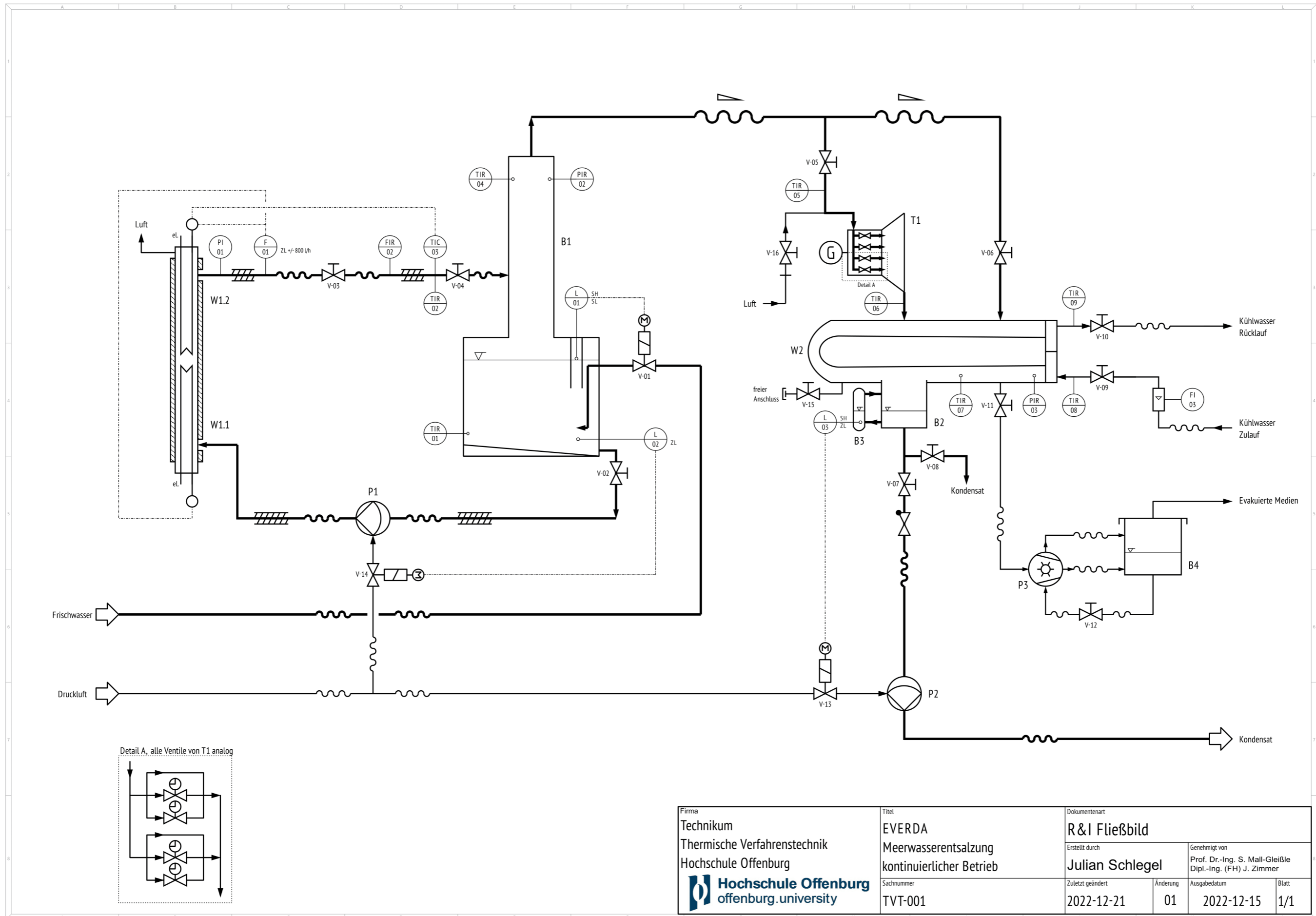
<b>Kapitel</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Seite</b>
12.2	R&I-Fließbild EVERDA 2 nach Koch	73
12.3	Sättigungsdampfdruck, Temperatur und Dampfanteile	74
12.4	R&I-Fließbild EVERDA Meerwasserentsalzung KB	75
12.5	Parameterlisten EVERDA kontinuierlicher Betrieb	76-81
12.6	Verderair Druckluftmembranpumpe VA-15 Datenblatt	82-83
12.7	Verderair Druckluftmembranpumpe VA-08 Datenblatt	84-85
12.8	Magnetventile	86-87
12.9	Zeitrelais mit Ansprechverzögerung	88
12.10	Bypass-Rohr mit kapazitivem Sensor	89-90
12.11	Heizsystem EVERDA und Stückliste	91-92
12.12	Strömungswächter	93-95
12.13	Thyristorsteller Datenblatt	96-97
12.14	Stromlaufplan EVERDA und Komponentenliste	98-102




Firma Technikum Thermische Verfahrenstechnik Hochschule Offenburg  offenburg.university	Titel EVERDA Meerwasserentsalzungsanlage	Dokumentenart R&I Fließbild			
	Sachnummer UV - TVT - EVD - 00	Erstellt durch Koch Josephine	Betreuer von Prof. Dr.-Ing. S. Mall-Gleißle, Dipl.-Ing.(FH) J. Zimmer	Zuletzt geändert 2020-07-20	Änderung 00
		Ausgabedatum 2020-07-20	Blatt 1/2		

### Anhang 12.3: Sättigungsdampfdruck, Temperatur und Dampfanteile

$P_{Flash}$ in bar	0,05	0,075	0,10	0,125	0,15	0,175	0,20	0,225	0,25	0,275	0,30
$T_{Flash}$ in °C	32,9	40,3	45,8	50,2	54,0	57,2	60,1	62,6	65,0	67,1	69,1
$T_{Feed}$ in °C	<b>Dampfanteil <math>x_{th}</math> massebezogen in %</b>										
70	6,41	5,17	4,24	3,48	2,83	2,27	1,77	1,32	0,90	0,52	0,17
71	6,59	5,35	4,41	3,65	3,01	2,45	1,95	1,50	1,08	0,70	0,35
72	6,76	5,52	4,59	3,83	3,19	2,63	2,13	1,67	1,26	0,88	0,53
73	6,93	5,69	4,76	4,00	3,36	2,80	2,30	1,85	1,44	1,06	0,71
74	7,10	5,87	4,94	4,18	3,54	2,98	2,48	2,03	1,62	1,24	0,89
75	7,28	6,04	5,11	4,36	3,72	3,16	2,66	2,21	1,80	1,42	1,06
76	7,45	6,22	5,29	4,53	3,89	3,33	2,84	2,39	1,98	1,60	1,24
77	7,62	6,39	5,46	4,71	4,07	3,51	3,01	2,57	2,16	1,78	1,42
78	7,80	6,57	5,64	4,88	4,25	3,69	3,19	2,74	2,33	1,96	1,60
79	7,97	6,74	5,81	5,06	4,42	3,87	3,37	2,92	2,51	2,13	1,78
80	8,14	6,91	5,99	5,24	4,60	4,04	3,55	3,10	2,69	2,31	1,96
81	8,32	7,09	6,16	5,41	4,78	4,22	3,73	3,28	2,87	2,49	2,14
82	8,49	7,26	6,34	5,59	4,95	4,40	3,90	3,46	3,05	2,67	2,32
83	8,66	7,44	6,51	5,77	5,13	4,58	4,08	3,64	3,23	2,85	2,50
84	8,84	7,61	6,69	5,94	5,31	4,75	4,26	3,82	3,41	3,03	2,68
85	9,01	7,79	6,87	6,12	5,48	4,93	4,44	3,99	3,59	3,21	2,86
86	9,18	7,96	7,04	6,29	5,66	5,11	4,62	4,17	3,77	3,39	3,04
87	9,36	8,14	7,22	6,47	5,84	5,29	4,80	4,35	3,94	3,57	3,22
88	9,53	8,31	7,39	6,65	6,02	5,46	4,97	4,53	4,12	3,75	3,40
89	9,70	8,48	7,57	6,82	6,19	5,64	5,15	4,71	4,30	3,93	3,58
90	9,88	8,66	7,74	7,00	6,37	5,82	5,33	4,89	4,48	4,11	3,76
91	10,05	8,83	7,92	7,18	6,55	6,00	5,51	5,07	4,66	4,29	3,94
92	10,22	9,01	8,10	7,35	6,72	6,18	5,69	5,24	4,84	4,47	4,12
93	10,40	9,18	8,27	7,53	6,90	6,35	5,87	5,42	5,02	4,65	4,30
94	10,57	9,36	8,45	7,71	7,08	6,53	6,04	5,60	5,20	4,83	4,48
95	10,74	9,53	8,62	7,88	7,26	6,71	6,22	5,78	5,38	5,01	4,66
96	10,92	9,71	8,80	8,06	7,43	6,89	6,40	5,96	5,56	5,19	4,84
97	11,09	9,88	8,98	8,24	7,61	7,07	6,58	6,14	5,74	5,37	5,02
98	11,27	10,06	9,15	8,41	7,79	7,24	6,76	6,32	5,92	5,55	5,20
99	11,44	10,23	9,33	8,59	7,97	7,42	6,94	6,50	6,10	5,73	5,38
100	11,61	10,41	9,50	8,77	8,14	7,60	7,12	6,68	6,28	5,91	5,56



Firma Technikum Thermische Verfahrenstechnik Hochschule Offenburg  Hochschule Offenburg offenburg.university	Titel EVERDA Meerwasserentsalzungs kontinuierlicher Betrieb	Dokumentenart R&I Fließbild			
		Erstellt durch Julian Schlegel	Genehmigt von Prof. Dr.-Ing. S. Mall-Gleißle Dipl.-Ing. (FH) J. Zimmer		
Sachnummer TVT-001	Zuletzt geändert 2022-12-21	Änderung 01	Ausgabedatum 2022-12-15	Blatt 1/1	

Parameterliste für einen Volumenstrom des Feeds von 1000 l/h

roter Bereich = Vorheizstufe zuschalten; blauer Bereich = ohne Vorheizstufe

$T_{Feed}$	$p_{flash} = 0,05 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,075 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,1 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,125 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,15 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,175 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,2 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,225 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,25 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,275 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,3 \text{ bar}$		
	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s
70	44,1	1808	0,0178	35,7	999	0,0144	29,4	622	0,0118	24,2	414	0,0097	19,7	284	0,0079	15,8	197	0,0063	12,4	135	0,0049	9,2	90	0,0037	6,3	56	0,0025	3,6	30	0,0015	1,1	9	0,0005
71	45,3	1857	0,0183	36,9	1028	0,0148	30,6	647	0,0123	25,4	435	0,0101	21,0	302	0,0084	17,1	212	0,0068	13,6	149	0,0054	10,5	102	0,0042	7,6	67	0,0030	4,9	40	0,0019	2,4	18	0,0010
72	46,4	1905	0,0188	38,1	1062	0,0153	31,8	673	0,0127	26,6	455	0,0106	22,2	319	0,0089	18,3	228	0,0073	14,9	163	0,0059	11,7	115	0,0047	8,8	78	0,0035	6,2	50	0,0024	3,7	28	0,0015
73	47,6	1954	0,0193	39,3	1095	0,0158	33,0	699	0,0132	27,8	476	0,0111	23,4	337	0,0093	19,6	243	0,0078	16,1	176	0,0064	13,0	127	0,0051	10,1	89	0,0040	7,4	60	0,0029	4,9	37	0,0020
74	48,8	2003	0,0197	40,5	1129	0,0163	34,2	724	0,0137	29,1	497	0,0116	24,7	355	0,0098	20,8	258	0,0083	17,4	190	0,0069	14,2	139	0,0056	11,3	100	0,0045	8,7	70	0,0034	6,2	46	0,0025
75	50,0	2052	0,0202	41,7	1162	0,0168	35,4	750	0,0142	30,3	518	0,0121	25,9	372	0,0103	22,1	274	0,0088	18,6	203	0,0074	15,5	151	0,0061	12,6	112	0,0050	9,9	80	0,0039	7,5	56	0,0030
76	51,2	2100	0,0207	42,9	1196	0,0173	36,7	776	0,0147	31,5	539	0,0126	27,1	390	0,0108	23,3	289	0,0093	19,9	217	0,0079	16,7	164	0,0066	13,9	123	0,0055	11,2	91	0,0044	8,7	65	0,0035
77	52,4	2149	0,0212	44,2	1229	0,0178	37,9	801	0,0152	32,8	560	0,0131	28,4	408	0,0113	24,5	304	0,0098	21,1	231	0,0084	18,0	176	0,0071	15,1	134	0,0060	12,5	101	0,0049	10,0	74	0,0040
78	53,6	2198	0,0217	45,4	1263	0,0182	39,1	827	0,0157	34,0	581	0,0136	29,6	426	0,0118	25,8	320	0,0102	22,3	244	0,0089	19,2	188	0,0076	16,4	145	0,0065	13,7	111	0,0054	11,3	84	0,0045
79	54,8	2247	0,0221	46,6	1296	0,0187	40,3	853	0,0161	35,2	602	0,0141	30,8	443	0,0123	27,0	335	0,0107	23,6	258	0,0094	20,5	200	0,0081	17,6	156	0,0070	15,0	121	0,0059	12,5	93	0,0050
80	56,0	2295	0,0226	47,8	1330	0,0192	41,5	879	0,0166	36,4	623	0,0145	32,1	461	0,0128	28,3	351	0,0112	24,8	271	0,0099	21,7	212	0,0086	18,9	167	0,0075	16,3	131	0,0064	13,8	103	0,0055
81	57,2	2344	0,0231	49,0	1364	0,0197	42,8	904	0,0171	37,7	644	0,0150	33,3	479	0,0133	29,5	366	0,0117	26,1	285	0,0104	23,0	225	0,0091	20,2	178	0,0080	17,5	141	0,0069	15,1	112	0,0060
82	58,4	2393	0,0236	50,2	1397	0,0202	44,0	930	0,0176	38,9	665	0,0155	34,5	496	0,0138	30,7	381	0,0122	27,3	299	0,0108	24,2	236	0,0096	21,4	189	0,0085	18,8	152	0,0074	16,3	121	0,0064
83	59,5	2442	0,0241	51,4	1431	0,0207	45,2	956	0,0181	40,1	686	0,0160	35,8	514	0,0143	32,0	397	0,0127	28,6	312	0,0113	25,5	249	0,0101	22,7	200	0,0090	20,1	162	0,0079	17,6	131	0,0069
84	60,7	2491	0,0245	52,6	1464	0,0211	46,4	982	0,0186	41,3	707	0,0165	37,0	532	0,0147	33,2	412	0,0132	29,8	326	0,0118	26,8	261	0,0106	23,9	211	0,0095	21,3	172	0,0084	18,9	140	0,0074
85	61,9	2540	0,0250	53,8	1498	0,0216	47,6	1007	0,0191	42,6	728	0,0170	38,3	550	0,0152	34,5	428	0,0137	31,1	340	0,0123	28,0	274	0,0111	25,2	223	0,0100	22,6	182	0,0089	20,1	150	0,0079
86	63,1	2588	0,0255	55,0	1531	0,0221	48,8	1033	0,0196	43,8	749	0,0175	39,5	567	0,0157	35,7	443	0,0142	32,3	353	0,0128	29,3	286	0,0116	26,5	234	0,0105	23,8	192	0,0094	21,4	159	0,0084
87	64,3	2637	0,0260	56,2	1565	0,0226	50,1	1059	0,0200	45,0	770	0,0180	40,7	585	0,0162	37,0	458	0,0147	33,6	367	0,0133	30,5	298	0,0121	27,7	245	0,0110	25,1	203	0,0099	22,7	168	0,0089
88	65,5	2686	0,0265	57,4	1599	0,0231	51,3	1085	0,0205	46,3	791	0,0185	42,0	603	0,0167	38,2	474	0,0152	34,8	380	0,0138	31,8	310	0,0126	29,0	256	0,0115	26,4	213	0,0104	24,0	178	0,0094
89	66,7	2735	0,0270	58,6	1632	0,0236	52,5	1110	0,0210	47,5	812	0,0190	43,2	621	0,0172	39,4	489	0,0157	36,1	394	0,0143	33,0	322	0,0131	30,2	267	0,0120	27,6	223	0,0109	25,2	187	0,0099
90	67,9	2784	0,0274	59,9	1666	0,0241	53,7	1136	0,0215	48,7	833	0,0194	44,4	638	0,0177	40,7	505	0,0162	37,3	408	0,0148	34,3	335	0,0136	31,5	278	0,0125	28,9	233	0,0114	26,5	197	0,0104
91	69,1	2833	0,0279	61,1	1699	0,0245	54,9	1162	0,0220	49,9	854	0,0199	45,7	656	0,0182	41,9	520	0,0167	38,6	421	0,0153	35,5	347	0,0141	32,8	289	0,0129	30,2	243	0,0119	27,8	206	0,0109
92	70,3	2882	0,0284	62,3	1733	0,0250	56,2	1188	0,0225	51,2	875	0,0204	46,9	674	0,0187	43,2	535	0,0172	39,8	435	0,0158	36,8	359	0,0146	34,0	300	0,0134	31,4	253	0,0124	29,0	215	0,0114
93	71,5	2931	0,0289	63,5	1767	0,0255	57,4	1214	0,0230	52,4	896	0,0209	48,2	692	0,0192	44,4	551	0,0176	41,1	449	0,0163	38,1	371	0,0151	35,3	311	0,0139	32,7	264	0,0129	30,3	225	0,0119
94	72,7	2980	0,0294	64,7	1800	0,0260	58,6	1239	0,0235	53,6	917	0,0214	49,4	709	0,0197	45,7	566	0,0181	42,3	462	0,0168	39,3	384	0,0156	36,5	323	0,0144	34,0	274	0,0134	31,6	234	0,0124
95	73,9	3029	0,0298	65,9	1834	0,0265	59,8	1265	0,0240	54,9	938	0,0219	50,6	727	0,0202	46,9	582	0,0186	43,6	476	0,0173	40,6	396	0,0161	37,8	334	0,0149	35,2	284	0,0139	32,9	244	0,0129
96	75,1	3078	0,0303	67,1	1868	0,0270	61,1	1291	0,0244	56,1	959	0,0224	51,9	745	0,0207	48,2	597	0,0191	44,8	490	0,0178	41,8	408	0,0166	39,1	345	0,0154	36,5	294	0,0144	34,1	253	0,0135
97	76,3	3127	0,0308	68,3	1901	0,0275	62,3	1317	0,0249	57,3	980	0,0229	53,1	763	0,0211	49,4	613	0,0196	46,1	503	0,0183	43,1	421	0,0171	40,3	356	0,0159	37,8	305	0,0149	35,4	263	0,0140
98	77,5	3176	0,0313	69,5	1935	0,0279	63,5	1343	0,0254	58,6	1001	0,0234	54,4	781	0,0216	50,7	628	0,0201	47,4	517	0,0188	44,4	433	0,0176	41,6	367	0,0164	39,1	315	0,0154	36,7	272	0,0145
99	78,7	3225	0,0318	70,7	1969	0,0284	64,7	1369	0,0259	59,8	1022	0,0239	55,6	798	0,0221	51,9	644	0,0206	48,6	531	0,0193	45,6	445	0,0181	42,9	378	0,0169	40,3	325	0,0159	37,9	281	0,0150
100	79,9	3274	0,0323	72,0	2003	0,0289	66,0	1395	0,0264	61,0	1043	0,0244	56,8	816	0,0226	53,2	659	0,0211	49,9	544	0,0198	46,9	457	0,0185	44,1	389	0,0174	41,6	335	0,0164	39,2	291	0,0155



Parameterliste für einen Volumenstrom des Feeds von 1200 l/h

roter Bereich = Vorheizstufe zuschalten; blauer Bereich = ohne Vorheizstufe

$T_{Feed}$	$p_{flash} = 0,05 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,075 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,1 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,125 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,15 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,175 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,2 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,225 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,25 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,275 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,3 \text{ bar}$		
	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m <sup>3</sup> /h	$\dot{m}_D$ kg/s
70	52,9	2169	0,0214	42,9	1194	0,0172	35,2	746	0,0141	29,0	496	0,0116	23,7	341	0,0094	19,0	236	0,0076	14,8	163	0,0059	11,1	108	0,0044	7,6	67	0,0030	4,4	36	0,0017	1,4	11	0,0006
71	54,3	2228	0,0220	44,3	1234	0,0178	36,7	777	0,0147	30,5	521	0,0122	25,2	362	0,0100	20,5	255	0,0082	16,3	179	0,0065	12,6	123	0,0050	9,1	81	0,0036	5,9	48	0,0023	2,9	22	0,0012
72	55,7	2286	0,0225	45,8	1274	0,0184	38,2	808	0,0153	31,9	547	0,0128	26,6	383	0,0106	22,0	273	0,0088	17,8	195	0,0071	14,1	138	0,0056	10,6	94	0,0042	7,4	60	0,0029	4,4	33	0,0018
73	57,2	2345	0,0231	47,2	1314	0,0190	39,6	838	0,0159	33,4	572	0,0133	28,1	404	0,0112	23,5	292	0,0093	19,3	211	0,0077	15,6	152	0,0062	12,1	107	0,0048	8,9	72	0,0035	5,9	44	0,0024
74	58,6	2403	0,0237	48,6	1355	0,0196	41,1	869	0,0165	34,9	597	0,0139	29,6	426	0,0118	25,0	310	0,0099	20,8	228	0,0083	17,1	167	0,0068	13,6	121	0,0054	10,4	84	0,0041	7,4	56	0,0030
75	60,0	2462	0,0243	50,1	1395	0,0201	42,5	900	0,0170	36,4	622	0,0145	31,1	447	0,0124	26,5	329	0,0105	22,3	244	0,0089	18,6	182	0,0074	15,1	134	0,0060	11,9	97	0,0047	9,0	67	0,0036
76	61,4	2520	0,0248	51,5	1435	0,0207	44,0	931	0,0176	37,8	647	0,0151	32,6	468	0,0130	28,0	347	0,0111	23,8	260	0,0095	20,1	196	0,0080	16,6	147	0,0066	13,5	109	0,0053	10,5	78	0,0041
77	62,9	2579	0,0254	53,0	1475	0,0213	45,5	962	0,0182	39,3	672	0,0157	34,0	489	0,0136	29,4	365	0,0117	25,3	277	0,0100	21,6	211	0,0086	18,1	160	0,0072	15,0	121	0,0059	12,0	89	0,0047
78	64,3	2637	0,0260	54,4	1516	0,0219	46,9	993	0,0188	40,8	697	0,0163	35,5	511	0,0142	30,9	384	0,0123	26,8	293	0,0106	23,1	226	0,0091	19,7	174	0,0078	16,5	133	0,0065	13,5	101	0,0053
79	66,0	2696	0,0266	55,9	1556	0,0225	48,4	1024	0,0194	42,2	722	0,0169	37,0	532	0,0147	32,4	402	0,0129	28,3	309	0,0112	24,6	240	0,0097	21,2	187	0,0084	18,0	145	0,0071	15,0	112	0,0059
80	67,2	2755	0,0271	57,3	1596	0,0230	49,8	1054	0,0200	43,7	748	0,0175	38,5	553	0,0153	33,9	421	0,0135	29,8	326	0,0118	26,1	255	0,0103	22,7	200	0,0090	19,5	158	0,0077	16,6	123	0,0065
81	68,6	2813	0,0277	58,8	1636	0,0236	51,3	1085	0,0205	45,2	773	0,0180	40,0	574	0,0159	35,4	439	0,0141	31,3	342	0,0124	27,6	270	0,0109	24,2	214	0,0096	21,0	170	0,0083	18,1	134	0,0071
82	70,0	2872	0,0283	60,2	1677	0,0242	52,8	1116	0,0211	46,7	798	0,0186	41,5	596	0,0165	36,9	458	0,0147	32,8	358	0,0130	29,1	284	0,0115	25,7	227	0,0102	22,5	182	0,0089	19,6	146	0,0077
83	71,5	2930	0,0289	61,7	1717	0,0248	54,2	1147	0,0217	48,1	823	0,0192	42,9	617	0,0171	38,4	476	0,0153	34,3	375	0,0136	30,6	299	0,0121	27,2	240	0,0108	24,1	194	0,0095	21,1	157	0,0083
84	72,9	2989	0,0295	63,1	1757	0,0254	55,7	1178	0,0223	49,6	848	0,0198	44,4	638	0,0177	39,9	495	0,0158	35,8	391	0,0142	32,1	314	0,0127	28,7	254	0,0114	25,6	206	0,0101	22,7	168	0,0089
85	74,3	3048	0,0300	64,6	1797	0,0260	57,2	1209	0,0229	51,1	873	0,0204	45,9	660	0,0183	41,4	513	0,0164	37,3	407	0,0148	33,6	328	0,0133	30,2	267	0,0120	27,1	219	0,0107	24,2	180	0,0095
86	75,7	3106	0,0306	66,0	1838	0,0265	58,6	1240	0,0235	52,6	899	0,0210	47,4	681	0,0189	42,9	532	0,0170	38,8	424	0,0154	35,1	343	0,0139	31,7	280	0,0126	28,6	231	0,0113	25,7	191	0,0101
87	77,2	3165	0,0312	67,5	1878	0,0271	60,1	1271	0,0241	54,0	924	0,0216	48,9	702	0,0195	44,4	550	0,0176	40,3	440	0,0160	36,6	358	0,0145	33,3	294	0,0131	30,1	243	0,0119	27,2	202	0,0107
88	78,6	3224	0,0318	68,9	1918	0,0277	61,5	1302	0,0246	55,5	949	0,0222	50,4	723	0,0201	45,8	569	0,0182	41,8	456	0,0166	38,1	372	0,0151	34,8	307	0,0137	31,7	255	0,0125	28,7	213	0,0113
89	80,0	3282	0,0323	70,4	1959	0,0283	63,0	1333	0,0252	57,0	974	0,0227	51,8	745	0,0206	47,3	587	0,0188	43,3	473	0,0172	39,6	387	0,0157	36,3	320	0,0143	33,2	267	0,0131	30,3	225	0,0119
90	81,5	3341	0,0329	71,8	1999	0,0289	64,5	1364	0,0258	58,5	999	0,0233	53,3	766	0,0212	48,8	606	0,0194	44,8	489	0,0178	41,2	402	0,0163	37,8	334	0,0149	34,7	280	0,0137	31,8	236	0,0125
91	82,9	3400	0,0335	73,3	2039	0,0294	65,9	1394	0,0264	59,9	1024	0,0239	54,8	787	0,0218	50,3	624	0,0200	46,3	506	0,0184	42,7	416	0,0169	39,3	347	0,0155	36,2	292	0,0143	33,3	247	0,0131
92	84,3	3458	0,0341	74,7	2080	0,0300	67,4	1425	0,0270	61,4	1050	0,0245	56,3	809	0,0224	51,8	643	0,0206	47,8	522	0,0190	44,2	431	0,0175	40,8	360	0,0161	37,7	304	0,0149	34,8	259	0,0137
93	85,8	3517	0,0347	76,2	2120	0,0306	68,9	1456	0,0276	62,9	1075	0,0251	57,8	830	0,0230	53,3	661	0,0212	49,3	538	0,0196	45,7	446	0,0181	42,3	374	0,0167	39,3	316	0,0155	36,4	270	0,0143
94	87,2	3576	0,0352	77,6	2161	0,0312	70,3	1487	0,0282	64,4	1100	0,0257	59,3	851	0,0236	54,8	680	0,0218	50,8	555	0,0201	47,2	460	0,0187	43,9	387	0,0173	40,8	329	0,0161	37,9	281	0,0149
95	88,6	3635	0,0358	79,1	2201	0,0318	71,8	1518	0,0287	65,8	1125	0,0263	60,8	873	0,0242	56,3	698	0,0224	52,3	571	0,0207	48,7	475	0,0193	45,4	400	0,0179	42,3	341	0,0167	39,4	293	0,0155
96	90,1	3693	0,0364	80,5	2241	0,0324	73,3	1549	0,0293	67,3	1151	0,0269	62,3	894	0,0248	57,8	717	0,0230	53,8	588	0,0213	50,2	490	0,0199	46,9	414	0,0185	43,8	353	0,0173	41,0	304	0,0161
97	91,5	3752	0,0370	82,0	2282	0,0329	74,7	1580	0,0299	68,8	1176	0,0275	63,7	915	0,0254	59,3	735	0,0236	55,3	604	0,0219	51,7	505	0,0205	48,4	427	0,0191	45,3	365	0,0179	42,5	315	0,0167
98	92,9	3811	0,0376	83,4	2322	0,0335	76,2	1611	0,0305	70,3	1201	0,0280	65,2	937	0,0260	60,8	754	0,0241	56,8	620	0,0225	53,2	519	0,0211	49,9	441	0,0197	46,9	378	0,0185	44,0	326	0,0173
99	94,4	3870	0,0381	84,9	2363	0,0341	77,7	1642	0,0311	71,8	1226	0,0286	66,7	958	0,0266	62,3	772	0,0247	58,3	637	0,0231	54,7	534	0,0217	51,4	454	0,0203	48,4	390	0,0191	45,5	338	0,0179
100	95,8	3929	0,0387	86,4	2403	0,0347	79,1	1673	0,0317	73,2	1252	0,0292	68,2	980	0,0271	63,8	791	0,0253	59,8	653	0,0237	56,2	549	0,0223	53,0	467	0,0209	49,9	402	0,0197	47,1	349	0,0185

Parameterliste für einen Volumenstrom des Feeds von 1400 l/h

roter Bereich = Vorheizstufe zuschalten; blauer Bereich = ohne Vorheizstufe

$T_{Feed}$	$p_{flash} = 0,05 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,075 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,1 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,125 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,15 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,175 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,2 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,225 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,25 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,275 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,3 \text{ bar}$		
	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m³/h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m³/h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m³/h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m³/h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m³/h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m³/h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m³/h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m³/h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m³/h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m³/h	$\dot{m}_D$ kg/s	$\dot{Q}_{Heiz}$ kJ/s	$\dot{V}_D$ m³/h	$\dot{m}_D$ kg/s
70	61,7	2531	0,0249	50,0	1393	0,0201	41,1	870	0,0165	33,8	579	0,0135	27,6	398	0,0110	22,2	276	0,0088	17,3	190	0,0069	12,9	126	0,0051	8,8	79	0,0035	5,1	42	0,0020	1,6	12	0,0007
71	63,4	2599	0,0256	51,7	1440	0,0208	42,8	906	0,0172	35,6	608	0,0142	29,4	422	0,0117	23,9	297	0,0095	19,1	209	0,0076	14,7	144	0,0058	10,6	94	0,0042	6,9	56	0,0027	3,4	25	0,0014
72	65,0	2667	0,0263	53,4	1487	0,0215	44,5	942	0,0178	37,3	638	0,0149	31,1	447	0,0124	25,7	319	0,0102	20,8	228	0,0083	16,4	161	0,0065	12,4	110	0,0049	8,6	70	0,0034	5,1	39	0,0020
73	66,7	2736	0,0270	55,1	1533	0,0221	46,2	978	0,0185	39,0	667	0,0156	32,8	472	0,0131	27,4	340	0,0109	22,6	247	0,0090	18,2	178	0,0072	14,1	125	0,0056	10,4	84	0,0041	6,9	52	0,0027
74	68,4	2804	0,0276	56,8	1580	0,0228	47,9	1014	0,0192	40,7	696	0,0163	34,5	497	0,0138	29,1	362	0,0116	24,0	266	0,0097	19,9	195	0,0079	15,9	141	0,0063	12,2	98	0,0048	8,7	65	0,0034
75	70,0	2872	0,0283	58,4	1627	0,0235	49,6	1050	0,0199	42,4	726	0,0169	36,3	521	0,0145	30,9	383	0,0123	26,0	285	0,0103	21,7	212	0,0086	17,6	156	0,0070	13,9	113	0,0055	10,5	78	0,0041
76	71,7	2940	0,0290	60,1	1674	0,0242	51,3	1086	0,0206	44,1	755	0,0176	38,0	546	0,0151	32,6	405	0,0130	27,8	304	0,0110	23,4	229	0,0093	19,4	172	0,0077	15,7	127	0,0062	12,2	91	0,0048
77	73,4	3009	0,0296	61,8	1721	0,0249	53,0	1122	0,0212	45,9	784	0,0183	39,7	571	0,0158	34,3	426	0,0137	29,5	323	0,0117	25,2	246	0,0100	21,2	187	0,0084	17,5	141	0,0069	14,0	104	0,0055
78	75,0	3077	0,0303	63,5	1768	0,0255	54,7	1158	0,0219	47,6	813	0,0190	41,5	596	0,0165	36,1	448	0,0143	31,3	342	0,0124	26,9	263	0,0107	22,9	203	0,0091	19,2	155	0,0076	15,8	117	0,0062
79	76,7	3145	0,0310	65,2	1815	0,0262	56,4	1194	0,0226	49,3	843	0,0197	43,2	621	0,0172	37,8	469	0,0150	33,0	361	0,0131	28,7	280	0,0114	24,7	218	0,0098	21,0	170	0,0083	17,6	131	0,0069
80	78,4	3214	0,0317	66,9	1862	0,0269	58,1	1230	0,0233	51,0	872	0,0204	44,9	645	0,0179	39,6	491	0,0157	34,8	380	0,0138	30,4	297	0,0121	26,5	234	0,0105	22,8	184	0,0090	19,3	144	0,0076
81	80,0	3282	0,0323	68,6	1909	0,0276	59,9	1266	0,0240	52,7	901	0,0211	46,6	670	0,0186	41,3	512	0,0164	36,5	399	0,0145	32,2	314	0,0128	28,2	249	0,0112	24,5	198	0,0097	21,1	157	0,0083
82	81,7	3350	0,0330	70,3	1956	0,0282	61,6	1302	0,0247	54,4	931	0,0217	48,4	695	0,0193	43,0	534	0,0171	38,3	418	0,0152	33,9	332	0,0134	30,0	265	0,0119	26,3	212	0,0104	22,9	170	0,0090
83	83,4	3419	0,0337	72,0	2003	0,0289	63,3	1338	0,0253	56,2	960	0,0224	50,1	720	0,0200	44,8	556	0,0178	40,0	437	0,0159	35,7	349	0,0141	31,7	280	0,0126	28,1	227	0,0111	24,7	183	0,0097
84	85,0	3487	0,0344	73,6	2050	0,0296	65,0	1374	0,0260	57,9	990	0,0231	51,8	745	0,0206	46,5	577	0,0185	41,8	456	0,0166	37,5	366	0,0148	33,5	296	0,0133	29,8	241	0,0118	26,4	196	0,0104
85	86,7	3556	0,0350	75,3	2097	0,0303	66,7	1410	0,0267	59,6	1019	0,0238	53,6	770	0,0213	48,3	599	0,0192	43,5	475	0,0173	39,2	383	0,0155	35,3	312	0,0139	31,6	255	0,0125	28,2	209	0,0111
86	88,4	3624	0,0357	77,0	2144	0,0310	68,4	1446	0,0274	61,3	1048	0,0245	55,3	794	0,0220	50,0	620	0,0199	45,3	494	0,0180	41,0	400	0,0162	37,0	327	0,0146	33,4	269	0,0132	30,0	223	0,0118
87	90,0	3692	0,0364	78,7	2191	0,0316	70,1	1483	0,0281	63,0	1078	0,0252	57,0	819	0,0227	51,7	642	0,0206	47,0	513	0,0186	42,7	417	0,0169	38,8	343	0,0153	35,2	284	0,0139	31,8	236	0,0125
88	91,7	3761	0,0371	80,4	2238	0,0323	71,8	1519	0,0287	64,8	1107	0,0259	58,8	844	0,0234	53,5	663	0,0213	48,8	533	0,0193	44,5	434	0,0176	40,6	358	0,0160	36,9	298	0,0146	33,5	249	0,0132
89	93,4	3829	0,0377	82,1	2285	0,0330	73,5	1555	0,0294	66,5	1136	0,0265	60,5	869	0,0241	55,2	685	0,0219	50,5	552	0,0200	46,2	451	0,0183	42,3	374	0,0167	38,7	312	0,0153	35,3	262	0,0139
90	95,1	3898	0,0384	83,8	2332	0,0337	75,2	1591	0,0301	68,2	1166	0,0272	62,2	894	0,0248	57,0	706	0,0226	52,3	571	0,0207	48,0	469	0,0190	44,1	389	0,0174	40,5	326	0,0160	37,1	275	0,0146
91	96,7	3966	0,0391	85,5	2379	0,0344	76,9	1627	0,0308	69,9	1195	0,0279	64,0	919	0,0255	58,7	728	0,0233	54,0	590	0,0214	49,8	486	0,0197	45,9	405	0,0181	42,2	341	0,0167	38,9	289	0,0153
92	98,4	4035	0,0398	87,2	2426	0,0350	78,6	1663	0,0315	71,6	1225	0,0286	65,7	944	0,0262	60,5	750	0,0240	55,8	609	0,0221	51,5	503	0,0204	47,6	420	0,0188	44,0	355	0,0174	40,7	302	0,0160
93	100,1	4103	0,0404	88,9	2474	0,0357	80,3	1699	0,0322	73,4	1254	0,0293	67,4	968	0,0268	62,2	771	0,0247	57,5	628	0,0228	53,3	520	0,0211	49,4	436	0,0195	45,8	369	0,0181	42,4	315	0,0167
94	101,7	4172	0,0411	90,6	2521	0,0364	82,1	1735	0,0329	75,1	1283	0,0300	69,2	993	0,0275	63,9	793	0,0254	59,3	647	0,0235	55,0	537	0,0218	51,2	452	0,0202	47,6	383	0,0188	44,2	328	0,0174
95	103,4	4240	0,0418	92,3	2568	0,0371	83,8	1771	0,0335	76,8	1313	0,0307	70,9	1018	0,0282	65,7	814	0,0261	61,0	666	0,0242	56,8	554	0,0225	52,9	467	0,0209	49,3	398	0,0195	46,0	341	0,0181
96	105,1	4309	0,0425	94,0	2615	0,0378	85,5	1808	0,0342	78,5	1342	0,0313	72,6	1043	0,0289	67,4	836	0,0268	62,8	685	0,0249	58,6	572	0,0232	54,7	483	0,0216	51,1	412	0,0202	47,8	354	0,0188
97	106,8	4378	0,0431	95,7	2662	0,0384	87,2	1844	0,0349	80,3	1372	0,0320	74,4	1068	0,0296	69,2	858	0,0275	64,5	705	0,0256	60,3	589	0,0239	56,5	498	0,0223	52,9	426	0,0209	49,6	368	0,0195
98	108,4	4446	0,0438	97,3	2709	0,0391	88,9	1880	0,0356	82,0	1401	0,0327	76,1	1093	0,0303	70,9	879	0,0282	66,3	724	0,0263	62,1	606	0,0246	58,2	514	0,0230	54,7	441	0,0216	51,3	381	0,0202
99	110,1	4515	0,0445	99,0	2756	0,0398	90,6	1916	0,0363	83,7	1431	0,0334	77,8	1118	0,0310	72,7	901	0,0289	68,1	743	0,0270	63,9	623	0,0253	60,0	530	0,0237	56,4	455	0,0223	53,1	394	0,0209
100	111,8	4584	0,0452	100,7	2804	0,0405	92,3	1952	0,0370	85,4	1460	0,0341	79,6	1143	0,0317	74,4	923	0,0296	69,8	762	0,0277	65,6	640	0,0260	61,8	545	0,0244	58,2	469	0,0230	54,9	407	0,0216

Parameterliste für einen Volumenstrom des Feeds von 1600 l/h

roter Bereich = Vorheizstufe zuschalten; blauer Bereich = ohne Vorheizstufe

T <sub>Feed</sub>	p <sub>flash</sub> = 0,05 bar			p <sub>flash</sub> = 0,075 bar			p <sub>flash</sub> = 0,1 bar			p <sub>flash</sub> = 0,125 bar			p <sub>flash</sub> = 0,15 bar			p <sub>flash</sub> = 0,175 bar			p <sub>flash</sub> = 0,2 bar			p <sub>flash</sub> = 0,225 bar			p <sub>flash</sub> = 0,25 bar			p <sub>flash</sub> = 0,275 bar			p <sub>flash</sub> = 0,3 bar		
	Q̇ <sub>Heiz</sub> kJ/s	V̇ <sub>D</sub> m <sup>3</sup> /h	ṁ <sub>D</sub> kg/s	Q̇ <sub>Heiz</sub> kJ/s	V̇ <sub>D</sub> m <sup>3</sup> /h	ṁ <sub>D</sub> kg/s	Q̇ <sub>Heiz</sub> kJ/s	V̇ <sub>D</sub> m <sup>3</sup> /h	ṁ <sub>D</sub> kg/s	Q̇ <sub>Heiz</sub> kJ/s	V̇ <sub>D</sub> m <sup>3</sup> /h	ṁ <sub>D</sub> kg/s	Q̇ <sub>Heiz</sub> kJ/s	V̇ <sub>D</sub> m <sup>3</sup> /h	ṁ <sub>D</sub> kg/s	Q̇ <sub>Heiz</sub> kJ/s	V̇ <sub>D</sub> m <sup>3</sup> /h	ṁ <sub>D</sub> kg/s	Q̇ <sub>Heiz</sub> kJ/s	V̇ <sub>D</sub> m <sup>3</sup> /h	ṁ <sub>D</sub> kg/s	Q̇ <sub>Heiz</sub> kJ/s	V̇ <sub>D</sub> m <sup>3</sup> /h	ṁ <sub>D</sub> kg/s	Q̇ <sub>Heiz</sub> kJ/s	V̇ <sub>D</sub> m <sup>3</sup> /h	ṁ <sub>D</sub> kg/s	Q̇ <sub>Heiz</sub> kJ/s	V̇ <sub>D</sub> m <sup>3</sup> /h	ṁ <sub>D</sub> kg/s	Q̇ <sub>Heiz</sub> kJ/s	V̇ <sub>D</sub> m <sup>3</sup> /h	ṁ <sub>D</sub> kg/s
70	61,7	2531	0,0249	50,0	1393	0,0201	41,1	870	0,0165	33,8	579	0,0135	27,6	398	0,0110	22,2	276	0,0088	17,3	190	0,0069	12,9	126	0,0051	8,8	79	0,0035	5,1	42	0,0020	1,6	12	0,0007
71	63,4	2599	0,0256	51,7	1440	0,0208	42,8	906	0,0172	35,6	608	0,0142	29,4	422	0,0117	23,9	297	0,0095	19,1	209	0,0076	14,7	144	0,0058	10,6	94	0,0042	6,9	56	0,0027	3,4	25	0,0014
72	65,0	2667	0,0263	53,4	1487	0,0215	44,5	942	0,0178	37,3	638	0,0149	31,1	447	0,0124	25,7	319	0,0102	20,8	228	0,0083	16,4	161	0,0065	12,4	110	0,0049	8,6	70	0,0034	5,1	39	0,0020
73	66,7	2736	0,0270	55,1	1533	0,0221	46,2	978	0,0185	39,0	667	0,0156	32,8	472	0,0131	27,4	340	0,0109	22,6	247	0,0090	18,2	178	0,0072	14,1	125	0,0056	10,4	84	0,0041	6,9	52	0,0027
74	68,4	2804	0,0276	56,8	1580	0,0228	47,9	1014	0,0192	40,7	696	0,0163	34,5	497	0,0138	29,1	362	0,0116	24,0	266	0,0097	19,9	195	0,0079	15,9	141	0,0063	12,2	98	0,0048	8,7	65	0,0034
75	70,0	2872	0,0283	58,4	1627	0,0235	49,6	1050	0,0199	42,4	726	0,0169	36,3	521	0,0145	30,9	383	0,0123	26,0	285	0,0103	21,7	212	0,0086	17,6	156	0,0070	13,9	113	0,0055	10,5	78	0,0041
76	71,7	2940	0,0290	60,1	1674	0,0242	51,3	1086	0,0206	44,1	755	0,0176	38,0	546	0,0151	32,6	405	0,0130	27,8	304	0,0110	23,4	229	0,0093	19,4	172	0,0077	15,7	127	0,0062	12,2	91	0,0048
77	73,4	3009	0,0296	61,8	1721	0,0249	53,0	1122	0,0212	45,9	784	0,0183	39,7	571	0,0158	34,3	426	0,0137	29,5	323	0,0117	25,2	246	0,0100	21,2	187	0,0084	17,5	141	0,0069	14,0	104	0,0055
78	75,0	3077	0,0303	63,5	1768	0,0255	54,7	1158	0,0219	47,6	813	0,0190	41,5	596	0,0165	36,1	448	0,0143	31,3	342	0,0124	26,9	263	0,0107	22,9	203	0,0091	19,2	155	0,0076	15,8	117	0,0062
79	76,7	3145	0,0310	65,2	1815	0,0262	56,4	1194	0,0226	49,3	843	0,0197	43,2	621	0,0172	37,8	469	0,0150	33,0	361	0,0131	28,7	280	0,0114	24,7	218	0,0098	21,0	170	0,0083	17,6	131	0,0069
80	78,4	3214	0,0317	66,9	1862	0,0269	58,1	1230	0,0233	51,0	872	0,0204	44,9	645	0,0179	39,6	491	0,0157	34,8	380	0,0138	30,4	297	0,0121	26,5	234	0,0105	22,8	184	0,0090	19,3	144	0,0076
81	80,0	3282	0,0323	68,6	1909	0,0276	59,9	1266	0,0240	52,7	901	0,0211	46,6	670	0,0186	41,3	512	0,0164	36,5	399	0,0145	32,2	314	0,0128	28,2	249	0,0112	24,5	198	0,0097	21,1	157	0,0083
82	81,7	3350	0,0330	70,3	1956	0,0282	61,6	1302	0,0247	54,4	931	0,0217	48,4	695	0,0193	43,0	534	0,0171	38,3	418	0,0152	33,9	332	0,0134	30,0	265	0,0119	26,3	212	0,0104	22,9	170	0,0090
83	83,4	3419	0,0337	72,0	2003	0,0289	63,3	1338	0,0253	56,2	960	0,0224	50,1	720	0,0200	44,8	556	0,0178	40,0	437	0,0159	35,7	349	0,0141	31,7	280	0,0126	28,1	227	0,0111	24,7	183	0,0097
84	85,0	3487	0,0344	73,6	2050	0,0296	65,0	1374	0,0260	57,9	990	0,0231	51,8	745	0,0206	46,5	577	0,0185	41,8	456	0,0166	37,5	366	0,0148	33,5	296	0,0133	29,8	241	0,0118	26,4	196	0,0104
85	86,7	3556	0,0350	75,3	2097	0,0303	66,7	1410	0,0267	59,6	1019	0,0238	53,6	770	0,0213	48,3	599	0,0192	43,5	475	0,0173	39,2	383	0,0155	35,3	312	0,0139	31,6	255	0,0125	28,2	209	0,0111
86	88,4	3624	0,0357	77,0	2144	0,0310	68,4	1446	0,0274	61,3	1048	0,0245	55,3	794	0,0220	50,0	620	0,0199	45,3	494	0,0180	41,0	400	0,0162	37,0	327	0,0146	33,4	269	0,0132	30,0	223	0,0118
87	90,0	3692	0,0364	78,7	2191	0,0316	70,1	1483	0,0281	63,0	1078	0,0252	57,0	819	0,0227	51,7	642	0,0206	47,0	513	0,0186	42,7	417	0,0169	38,8	343	0,0153	35,2	284	0,0139	31,8	236	0,0125
88	91,7	3761	0,0371	80,4	2238	0,0323	71,8	1519	0,0287	64,8	1107	0,0259	58,8	844	0,0234	53,5	663	0,0213	48,8	533	0,0193	44,5	434	0,0176	40,6	358	0,0160	36,9	298	0,0146	33,5	249	0,0132
89	93,4	3829	0,0377	82,1	2285	0,0330	73,5	1555	0,0294	66,5	1136	0,0265	60,5	869	0,0241	55,2	685	0,0219	50,5	552	0,0200	46,2	451	0,0183	42,3	374	0,0167	38,7	312	0,0153	35,3	262	0,0139
90	95,1	3898	0,0384	83,8	2332	0,0337	75,2	1591	0,0301	68,2	1166	0,0272	62,2	894	0,0248	57,0	706	0,0226	52,3	571	0,0207	48,0	469	0,0190	44,1	389	0,0174	40,5	326	0,0160	37,1	275	0,0146
91	96,7	3966	0,0391	85,5	2379	0,0344	76,9	1627	0,0308	69,9	1195	0,0279	64,0	919	0,0255	58,7	728	0,0233	54,0	590	0,0214	49,8	486	0,0197	45,9	405	0,0181	42,2	341	0,0167	38,9	289	0,0153
92	98,4	4035	0,0398	87,2	2426	0,0350	78,6	1663	0,0315	71,6	1225	0,0286	65,7	944	0,0262	60,5	750	0,0240	55,8	609	0,0221	51,5	503	0,0204	47,6	420	0,0188	44,0	355	0,0174	40,7	302	0,0160
93	100,1	4103	0,0404	88,9	2474	0,0357	80,3	1699	0,0322	73,4	1254	0,0293	67,4	968	0,0268	62,2	771	0,0247	57,5	628	0,0228	53,3	520	0,0211	49,4	436	0,0195	45,8	369	0,0181	42,4	315	0,0167
94	101,7	4172	0,0411	90,6	2521	0,0364	82,1	1735	0,0329	75,1	1283	0,0300	69,2	993	0,0275	63,9	793	0,0254	59,3	647	0,0235	55,0	537	0,0218	51,2	452	0,0202	47,6	383	0,0188	44,2	328	0,0174
95	103,4	4240	0,0418	92,3	2568	0,0371	83,8	1771	0,0335	76,8	1313	0,0307	70,9	1018	0,0282	65,7	814	0,0261	61,0	666	0,0242	56,8	554	0,0225	52,9	467	0,0209	49,3	398	0,0195	46,0	341	0,0181
96	105,1	4309	0,0425	94,0	2615	0,0378	85,5	1808	0,0342	78,5	1342	0,0313	72,6	1043	0,0289	67,4	836	0,0268	62,8	685	0,0249	58,6	572	0,0232	54,7	483	0,0216	51,1	412	0,0202	47,8	354	0,0188
97	106,8	4378	0,0431	95,7	2662	0,0384	87,2	1844	0,0349	80,3	1372	0,0320	74,4	1068	0,0296	69,2	858	0,0275	64,5	705	0,0256	60,3	589	0,0239	56,5	498	0,0223	52,9	426	0,0209	49,6	368	0,0195
98	108,4	4446	0,0438	97,3	2709	0,0391	88,9	1880	0,0356	82,0	1401	0,0327	76,1	1093	0,0303	70,9	879	0,0282	66,3	724	0,0263	62,1	606	0,0246	58,2	514	0,0230	54,7	441	0,0216	51,3	381	0,0202
99	110,1	4515	0,0445	99,0	2756	0,0398	90,6	1916	0,0363	83,7	1431	0,0334	77,8	1118	0,0310	72,7	901	0,0289	68,1	743	0,0270	63,9	623	0,0253	60,0	530	0,0237	56,4	455	0,0223	53,1	394	0,0209
100	111,8	4584	0,0452	100,7	2804	0,0405	92,3	1952	0,0370	85,4	1460	0,0341	79,6	1143	0,0317	74,4	923	0,0296	69,8	762	0,0277	65,6	640	0,0260	61,8	545	0,0244	58,2	469	0,0230	54,9	407	0,0216

Parameterliste für einen Volumenstrom des Feeds von 1800 l/h

roter Bereich = Vorheizstufe zuschalten; blauer Bereich = ohne Vorheizstufe

$T_{Feed}$	$p_{flash} = 0,05 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,075 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,1 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,125 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,15 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,175 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,2 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,225 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,25 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,275 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,3 \text{ bar}$		
	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$
	kJ/s	m <sup>3</sup> /h	kg/s	kJ/s	m <sup>3</sup> /h	kg/s	kJ/s	m <sup>3</sup> /h	kg/s	kJ/s	m <sup>3</sup> /h	kg/s	kJ/s	m <sup>3</sup> /h	kg/s	kJ/s	m <sup>3</sup> /h	kg/s	kJ/s	m <sup>3</sup> /h	kg/s	kJ/s	m <sup>3</sup> /h	kg/s	kJ/s	m <sup>3</sup> /h	kg/s	kJ/s	m <sup>3</sup> /h	kg/s	kJ/s	m <sup>3</sup> /h	kg/s
70	79,3	3254	0,0321	64,3	1791	0,0259	52,9	1119	0,0212	43,5	745	0,0174	35,5	511	0,0142	28,5	355	0,0114	22,3	244	0,0089	16,6	163	0,0066	11,4	101	0,0045	6,6	53	0,0026	2,0	16	0,0008
71	81,5	3342	0,0329	66,5	1851	0,0267	55,0	1165	0,0221	45,7	782	0,0183	37,7	543	0,0150	30,8	382	0,0122	24,5	268	0,0097	18,8	185	0,0075	13,6	121	0,0054	8,8	72	0,0035	4,3	33	0,0017
72	83,6	3429	0,0338	68,6	1911	0,0276	57,2	1211	0,0229	47,9	820	0,0191	40,0	575	0,0159	33,0	410	0,0131	26,8	293	0,0106	21,1	206	0,0084	15,9	141	0,0063	11,1	90	0,0044	6,6	50	0,0026
73	85,7	3517	0,0347	70,8	1972	0,0285	59,4	1258	0,0238	50,1	857	0,0200	42,2	607	0,0168	35,2	437	0,0140	29,0	317	0,0115	23,3	228	0,0093	18,2	161	0,0072	13,4	108	0,0053	8,9	66	0,0035
74	87,9	3605	0,0355	73,0	2032	0,0293	61,6	1304	0,0247	52,3	895	0,0209	44,4	639	0,0177	37,5	465	0,0149	31,2	342	0,0124	25,6	250	0,0102	20,4	181	0,0081	15,6	127	0,0062	11,2	83	0,0044
75	90,0	3693	0,0364	75,1	2092	0,0302	63,8	1350	0,0256	54,5	933	0,0218	46,6	670	0,0186	39,7	493	0,0158	33,5	366	0,0133	27,9	272	0,0110	22,7	201	0,0090	17,9	145	0,0071	13,4	100	0,0053
76	92,2	3781	0,0373	77,3	2153	0,0311	66,0	1396	0,0264	56,7	971	0,0227	48,9	702	0,0195	41,9	520	0,0167	35,7	391	0,0142	30,1	294	0,0119	25,0	221	0,0099	20,2	163	0,0080	15,7	117	0,0062
77	94,3	3868	0,0381	79,5	2213	0,0320	68,2	1443	0,0273	59,0	1008	0,0235	51,1	734	0,0203	44,2	548	0,0176	38,0	415	0,0151	32,4	316	0,0128	27,2	241	0,0108	22,5	181	0,0089	18,0	134	0,0071
78	96,5	3956	0,0390	81,6	2273	0,0328	70,4	1489	0,0282	61,2	1046	0,0244	53,3	766	0,0212	46,4	576	0,0184	40,2	440	0,0160	34,6	338	0,0137	29,5	261	0,0117	24,7	200	0,0098	20,3	151	0,0080
79	98,6	4044	0,0398	83,8	2334	0,0337	72,6	1535	0,0291	63,4	1084	0,0253	55,5	798	0,0221	48,6	604	0,0193	42,5	464	0,0169	36,9	360	0,0146	31,7	281	0,0126	27,0	218	0,0107	22,6	168	0,0089
80	100,7	4132	0,0407	86,0	2394	0,0346	74,8	1582	0,0299	65,6	1121	0,0262	57,7	830	0,0230	50,9	631	0,0202	44,7	489	0,0177	39,1	382	0,0155	34,0	301	0,0135	29,3	236	0,0116	24,8	185	0,0098
81	102,9	4220	0,0416	88,2	2454	0,0354	77,0	1628	0,0308	67,8	1159	0,0271	60,0	862	0,0239	53,1	659	0,0211	47,0	513	0,0186	41,4	404	0,0164	36,3	321	0,0144	31,5	255	0,0125	27,1	202	0,0107
82	105,0	4308	0,0424	90,3	2515	0,0363	79,1	1674	0,0317	70,0	1197	0,0279	62,2	894	0,0248	55,3	687	0,0220	49,2	538	0,0195	43,6	426	0,0173	38,5	341	0,0152	33,8	273	0,0134	29,4	219	0,0116
83	107,2	4396	0,0433	92,5	2575	0,0372	81,3	1721	0,0326	72,2	1235	0,0288	64,4	926	0,0257	57,6	714	0,0229	51,5	562	0,0204	45,9	448	0,0182	40,8	361	0,0161	36,1	291	0,0143	31,7	235	0,0125
84	109,3	4483	0,0442	94,7	2636	0,0381	83,5	1767	0,0335	74,4	1272	0,0297	66,6	957	0,0265	59,8	742	0,0238	53,7	587	0,0213	48,2	470	0,0191	43,1	381	0,0170	38,4	310	0,0152	34,0	252	0,0134
85	111,5	4571	0,0450	96,9	2696	0,0389	85,7	1813	0,0343	76,6	1310	0,0306	68,9	989	0,0274	62,0	770	0,0247	56,0	611	0,0222	50,4	492	0,0200	45,3	401	0,0179	40,6	328	0,0161	36,3	269	0,0143
86	113,6	4659	0,0459	99,0	2757	0,0398	87,9	1860	0,0352	78,8	1348	0,0315	71,1	1021	0,0283	64,3	797	0,0255	58,2	636	0,0231	52,7	514	0,0209	47,6	421	0,0188	42,9	346	0,0170	38,5	286	0,0152
87	115,8	4747	0,0468	101,2	2817	0,0407	90,1	1906	0,0361	81,1	1386	0,0324	73,3	1053	0,0292	66,5	825	0,0264	60,5	660	0,0240	54,9	536	0,0218	49,9	441	0,0197	45,2	365	0,0178	40,8	303	0,0161
88	117,9	4835	0,0476	103,4	2878	0,0416	92,3	1952	0,0370	83,3	1423	0,0332	75,4	1085	0,0301	68,8	853	0,0273	62,7	685	0,0249	57,2	558	0,0226	52,2	461	0,0206	47,5	383	0,0187	43,1	320	0,0170
89	120,1	4923	0,0485	105,6	2938	0,0424	94,5	1999	0,0378	85,5	1461	0,0341	77,8	1117	0,0310	71,0	881	0,0282	65,0	709	0,0258	59,5	580	0,0235	54,4	481	0,0215	49,8	401	0,0196	45,4	337	0,0179
90	122,2	5011	0,0494	107,7	2999	0,0433	96,7	2045	0,0387	87,7	1499	0,0350	80,0	1149	0,0319	73,2	908	0,0291	67,2	734	0,0266	61,7	602	0,0244	56,7	501	0,0224	52,0	420	0,0205	47,7	354	0,0188
91	124,4	5099	0,0502	109,9	3059	0,0442	98,9	2092	0,0396	89,9	1537	0,0359	82,2	1181	0,0327	75,5	936	0,0300	69,5	758	0,0275	64,0	625	0,0253	59,0	521	0,0233	54,3	438	0,0214	50,0	371	0,0197
92	126,5	5188	0,0511	112,1	3120	0,0450	101,1	2138	0,0405	92,1	1575	0,0368	84,5	1213	0,0336	77,7	964	0,0309	71,7	783	0,0284	66,3	647	0,0262	61,2	541	0,0242	56,6	456	0,0223	52,3	388	0,0206
93	128,7	5276	0,0520	114,3	3180	0,0459	103,3	2185	0,0414	94,3	1612	0,0377	86,7	1245	0,0345	80,0	992	0,0318	74,0	808	0,0293	68,5	669	0,0271	63,5	561	0,0251	58,9	475	0,0232	54,6	405	0,0215
94	130,8	5364	0,0529	116,4	3241	0,0468	105,5	2231	0,0422	96,6	1650	0,0385	88,9	1277	0,0354	82,2	1019	0,0327	76,2	832	0,0302	70,8	691	0,0280	65,8	581	0,0260	61,2	493	0,0241	56,8	422	0,0224
95	133,0	5452	0,0537	118,6	3301	0,0477	107,7	2278	0,0431	98,8	1688	0,0394	91,1	1309	0,0363	84,5	1047	0,0335	78,5	857	0,0311	73,0	713	0,0289	68,1	601	0,0269	63,4	511	0,0250	59,1	439	0,0233
96	135,1	5540	0,0546	120,8	3362	0,0485	109,9	2324	0,0440	101,0	1726	0,0403	93,4	1341	0,0372	86,7	1075	0,0344	80,7	881	0,0320	75,3	735	0,0298	70,3	621	0,0278	65,7	530	0,0259	61,4	456	0,0242
97	137,3	5628	0,0555	123,0	3423	0,0494	112,1	2371	0,0449	103,2	1764	0,0412	95,6	1373	0,0381	88,9	1103	0,0353	83,0	906	0,0329	77,6	757	0,0307	72,6	641	0,0287	68,0	548	0,0268	63,7	473	0,0251
98	139,4	5717	0,0563	125,2	3483	0,0503	114,3	2417	0,0458	105,4	1802	0,0421	97,8	1405	0,0389	91,2	1131	0,0362	85,2	930	0,0338	79,8	779	0,0316	74,9	661	0,0296	70,3	567	0,0277	66,0	490	0,0260
99	141,6	5805	0,0572	127,3	3544	0,0512	116,5	2464	0,0466	107,6	1840	0,0430	100,1	1437	0,0398	93,4	1158	0,0371	87,5	955	0,0347	82,1	801	0,0325	77,2	681	0,0305	72,6	585	0,0286	68,3	507	0,0269
100	143,7	5893	0,0581	129,5	3605	0,0521	118,7	2510	0,0475	109,9	1877	0,0438	102,3	1469	0,0407	95,7	1186	0,0380	89,8	980	0,0356	84,4	823	0,0334	79,4	701	0,0314	74,9	603	0,0295	70,6	524	0,0278

Parameterliste für einen Volumenstrom des Feeds von 2000 l/h

roter Bereich = Vorheizstufe zuschalten; blauer Bereich = ohne Vorheizstufe

$T_{Feed}$	$p_{flash} = 0,05 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,075 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,1 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,125 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,15 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,175 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,2 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,225 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,25 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,275 \text{ bar}$			$p_{flash} = 0,3 \text{ bar}$		
	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$	$\dot{Q}_{Heiz}$	$\dot{V}_D$	$\dot{m}_D$
	$\text{kJ/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg/s}$	$\text{kJ/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg/s}$	$\text{kJ/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg/s}$	$\text{kJ/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg/s}$	$\text{kJ/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg/s}$	$\text{kJ/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg/s}$	$\text{kJ/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg/s}$	$\text{kJ/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg/s}$	$\text{kJ/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg/s}$	$\text{kJ/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg/s}$	$\text{kJ/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg/s}$
70	88,1	3616	0,0356	71,4	1990	0,0287	58,7	1243	0,0235	48,3	827	0,0193	39,5	568	0,0157	31,7	394	0,0126	24,7	271	0,0098	18,4	181	0,0073	12,6	112	0,0050	7,3	59	0,0029	2,3	18	0,0009
71	90,5	3713	0,0366	73,8	2057	0,0297	61,2	1295	0,0245	50,8	869	0,0203	41,9	603	0,0167	34,2	425	0,0136	27,2	298	0,0108	20,9	205	0,0083	15,2	134	0,0060	9,8	80	0,0039	4,8	36	0,0019
72	92,9	3811	0,0375	76,3	2124	0,0307	63,6	1346	0,0255	53,2	911	0,0213	44,4	639	0,0177	36,7	455	0,0146	29,7	325	0,0118	23,4	229	0,0093	17,7	157	0,0070	12,3	100	0,0049	7,3	55	0,0029
73	95,3	3908	0,0385	78,7	2191	0,0316	66,0	1397	0,0265	55,7	953	0,0222	46,9	674	0,0187	39,1	486	0,0156	32,2	352	0,0128	25,9	254	0,0103	20,2	179	0,0080	14,8	120	0,0059	9,9	74	0,0039
74	97,7	4005	0,0395	81,1	2258	0,0326	68,5	1449	0,0274	58,1	995	0,0232	49,3	709	0,0197	41,6	517	0,0166	34,7	380	0,0138	28,4	278	0,0113	22,7	201	0,0090	17,4	141	0,0069	12,4	93	0,0049
75	100,0	4103	0,0404	83,5	2325	0,0336	70,9	1500	0,0284	60,6	1036	0,0242	51,8	745	0,0206	44,1	547	0,0175	37,2	407	0,0148	31,0	303	0,0123	25,2	223	0,0100	19,9	161	0,0079	14,9	111	0,0059
76	102,4	4201	0,0414	85,9	2392	0,0345	73,3	1552	0,0294	63,1	1078	0,0252	54,3	780	0,0216	46,6	578	0,0185	39,7	434	0,0158	33,5	327	0,0133	27,7	245	0,0110	22,4	181	0,0089	17,5	130	0,0069
77	104,8	4298	0,0424	88,3	2459	0,0355	75,8	1603	0,0303	65,5	1120	0,0262	56,7	816	0,0226	49,1	609	0,0195	42,2	461	0,0167	36,0	351	0,0143	30,2	267	0,0120	24,9	202	0,0099	20,0	149	0,0079
78	107,2	4396	0,0433	90,7	2526	0,0365	78,2	1654	0,0313	68,0	1162	0,0271	59,2	851	0,0236	51,5	640	0,0205	44,7	488	0,0177	38,5	376	0,0152	32,8	290	0,0130	27,5	222	0,0109	22,5	168	0,0089
79	109,6	4493	0,0443	93,1	2593	0,0374	80,6	1706	0,0323	70,4	1204	0,0281	61,7	887	0,0246	54,0	670	0,0215	47,2	516	0,0187	41,0	400	0,0162	35,3	312	0,0140	30,0	242	0,0119	25,1	186	0,0099
80	111,9	4591	0,0452	95,5	2660	0,0384	83,1	1757	0,0333	72,9	1246	0,0291	64,2	922	0,0256	56,5	701	0,0225	49,7	543	0,0197	43,5	425	0,0172	37,8	334	0,0150	32,5	263	0,0129	27,6	205	0,0109
81	114,3	4689	0,0462	98,0	2727	0,0394	85,5	1809	0,0342	75,3	1288	0,0301	66,6	957	0,0265	59,0	732	0,0235	52,2	570	0,0207	46,0	449	0,0182	40,3	356	0,0159	35,1	283	0,0139	30,1	224	0,0119
82	116,7	4786	0,0472	100,4	2794	0,0403	87,9	1860	0,0352	77,8	1330	0,0311	69,1	993	0,0275	61,5	763	0,0244	54,7	597	0,0217	48,5	474	0,0192	42,8	378	0,0169	37,6	303	0,0148	32,7	243	0,0129
83	119,1	4884	0,0481	102,8	2861	0,0413	90,4	1912	0,0362	80,2	1372	0,0320	71,6	1028	0,0285	64,0	794	0,0254	57,2	625	0,0227	51,0	498	0,0202	45,3	401	0,0179	40,1	324	0,0158	35,2	262	0,0139
84	121,5	4982	0,0491	105,2	2928	0,0423	92,8	1963	0,0372	82,7	1414	0,0330	74,0	1064	0,0295	66,5	824	0,0264	59,7	652	0,0237	53,5	523	0,0212	47,9	423	0,0189	42,6	344	0,0168	37,8	280	0,0149
85	123,9	5079	0,0500	107,6	2996	0,0433	95,3	2015	0,0381	85,1	1456	0,0340	76,5	1099	0,0305	68,9	855	0,0274	62,2	679	0,0247	56,0	547	0,0222	50,4	445	0,0199	45,2	364	0,0178	40,3	299	0,0159
86	126,2	5177	0,0510	110,0	3063	0,0442	97,7	2066	0,0391	87,6	1497	0,0350	79,0	1135	0,0315	71,4	886	0,0284	64,7	706	0,0256	58,5	571	0,0232	52,9	467	0,0209	47,7	385	0,0188	42,8	318	0,0169
87	128,6	5275	0,0520	112,4	3130	0,0452	100,1	2118	0,0401	90,1	1539	0,0360	81,5	1170	0,0324	73,9	917	0,0294	67,2	734	0,0266	61,0	596	0,0242	55,4	489	0,0219	50,2	405	0,0198	45,4	337	0,0179
88	131,0	5373	0,0529	114,9	3197	0,0462	102,6	2169	0,0411	92,5	1581	0,0369	83,9	1206	0,0334	76,4	948	0,0304	69,7	761	0,0276	63,6	620	0,0252	57,9	512	0,0229	52,8	425	0,0208	47,9	356	0,0189
89	133,4	5470	0,0539	117,3	3264	0,0471	105,0	2221	0,0420	95,0	1623	0,0379	86,4	1241	0,0344	78,9	978	0,0313	72,2	788	0,0286	66,1	645	0,0262	60,5	534	0,0239	55,3	446	0,0218	50,5	374	0,0199
90	135,8	5568	0,0549	119,7	3332	0,0481	107,5	2273	0,0430	97,4	1665	0,0389	88,9	1277	0,0354	81,4	1009	0,0323	74,7	815	0,0296	68,6	669	0,0272	63,0	556	0,0249	57,8	466	0,0228	53,0	393	0,0209
91	138,2	5666	0,0558	122,1	3399	0,0491	109,9	2324	0,0440	99,9	1707	0,0399	91,4	1312	0,0364	83,9	1040	0,0333	77,2	843	0,0306	71,1	694	0,0281	65,5	578	0,0259	60,4	487	0,0238	55,5	412	0,0219
92	140,6	5764	0,0568	124,5	3466	0,0501	112,3	2376	0,0450	102,4	1749	0,0409	93,8	1348	0,0374	86,4	1071	0,0343	79,7	870	0,0316	73,6	718	0,0291	68,0	601	0,0269	62,9	507	0,0248	58,1	431	0,0229
93	143,0	5862	0,0578	127,0	3534	0,0510	114,8	2427	0,0460	104,8	1791	0,0418	96,3	1383	0,0383	88,9	1102	0,0353	82,2	897	0,0326	76,1	743	0,0301	70,6	623	0,0279	65,4	527	0,0258	60,6	450	0,0239
94	145,3	5960	0,0587	129,4	3601	0,0520	117,2	2479	0,0469	107,3	1834	0,0428	98,8	1419	0,0393	91,3	1133	0,0363	84,7	925	0,0336	78,6	767	0,0311	73,1	645	0,0289	68,0	548	0,0268	63,2	469	0,0249
95	147,7	6058	0,0597	131,8	3668	0,0530	119,7	2531	0,0479	109,7	1876	0,0438	101,3	1455	0,0403	93,8	1164	0,0373	87,2	952	0,0346	81,2	792	0,0321	75,6	667	0,0299	70,5	568	0,0278	65,7	488	0,0259
96	150,1	6156	0,0607	134,2	3736	0,0539	122,1	2582	0,0489	112,2	1918	0,0448	103,8	1490	0,0413	96,3	1194	0,0383	89,7	979	0,0356	83,7	816	0,0331	78,1	690	0,0309	73,0	589	0,0288	68,3	506	0,0269
97	152,5	6254	0,0616	136,6	3803	0,0549	124,6	2634	0,0499	114,7	1960	0,0458	106,2	1526	0,0423	98,8	1225	0,0393	92,2	1007	0,0366	86,2	841	0,0341	80,7	712	0,0319	75,6	609	0,0298	70,8	525	0,0279
98	154,9	6352	0,0626	139,1	3870	0,0559	127,0	2686	0,0508	117,1	2002	0,0467	108,7	1561	0,0433	101,3	1256	0,0402	94,7	1034	0,0375	88,7	866	0,0351	83,2	734	0,0329	78,1	629	0,0308	73,3	544	0,0289
99	157,3	6450	0,0636	141,5	3938	0,0569	129,5	2737	0,0518	119,6	2044	0,0477	111,2	1597	0,0443	103,8	1287	0,0412	97,2	1061	0,0385	91,2	890	0,0361	85,7	757	0,0339	80,6	650	0,0318	75,9	563	0,0299
100	159,7	6548	0,0645	143,9	4005	0,0578	131,9	2789	0,0528	122,1	2086	0,0487	113,7	1632	0,0452	106,3	1318	0,0422	99,7	1089	0,0395	93,7	915	0,0371	88,3	779	0,0349	83,2	670	0,0328	78,4	582	0,0309

# Verderair

## VA 15 Non-metallic



VERDERAIR®

### Description

The VA15 non-metallic double diaphragm pumps are excellent pumps for use in a wide range of applications across many industries. Special versions are available to make them easy to install on standard drums. The pumps are available in 4 different materials for the pump body and 6 different materials for the diaphragms. This makes it possible to select the best solution for your application.

### Your benefits

- ↳ Dry self-priming
- ↳ Can run-dry without damage
- ↳ Easy to install, operate and maintain
- ↳ Less downtime
- ↳ Free of air lubrication
- ↳ Non-stalling air valve

Technical data						
Weight [kg]	Fluid & air section	DP	3,5			
		PP, CP	2,9			
		KP	3,9			
Max. suction lift [mwc]		Dry	4,5			
		Wet	7,6			
Temperature [°C]	Fluid section	Internals	K	BN, HY, SP, TO	4	82
			K	TF, VT	4	107
	P, C	All internals	4	66		
	D	All internals	4	82		
Max. Particle size [mm]				2,5		
Max. recommended viscosity (mPas)				5000		

Code VA15 No.1 No.2 No.3 No.4. No.5 No.6 No.7		
<p><b>No.1 Fluid section</b></p> <p>⚠ C = Conductive PP</p> <p>⚠ D = Acetal</p> <p>K = Kynar (PVDF)</p> <p>P = Polypropylene</p> <p><b>No.2 Air section</b></p> <p>P = Polypropylene</p> <p><b>No.3 Check valve seats</b></p> <p>AC = Acetal</p> <p>KY = Kynar (PVDF)</p> <p>PP = Polypropylene</p> <p>SS = Stainless Steel</p>	<p><b>No. 4 Check valve balls</b></p> <p>BN = Buna-N</p> <p>HY = Hytrel (TPE)</p> <p>SP = Santoprene</p> <p>SS = Stainless Steel</p> <p>TF = PTFE</p> <p>VT = Viton (FKM)</p> <p><b>No.5 Diaphragms</b></p> <p>BN = Buna-N</p> <p>HY = Hytrel (TPE)</p> <p>SP = Santoprene</p> <p>TF = PTFE</p>	<p>TO = PTFE/EPDM overmolded</p> <p>VT = Viton (FKM)</p> <p><b>No. 6 Connections</b></p> <p>TN = Threaded NPT</p> <p>TB = Threaded BSP</p> <p><b>No. 7 Options</b></p> <p>OO = Standard</p> <p>OD = Open Downport (*)</p> <p>RE = Remote</p> <p>SM = Split manifold</p> <p><i>(*) More info available on those pumps for using as Drum Pump on the special VA15 -20 Drum pump technosheet</i></p>
<p>EXAMPLE PUMP TYPE</p> <p><b>VA15PP PP TF TF TB OO</b></p>		

NOTE not all combinations are available

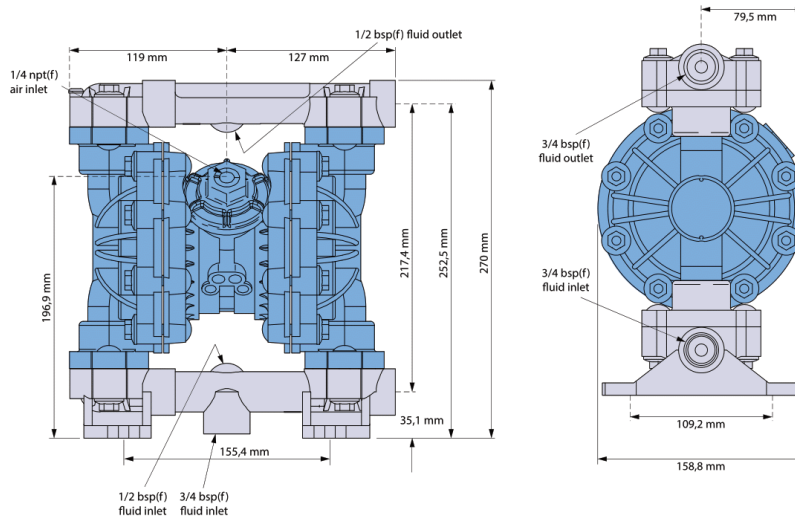
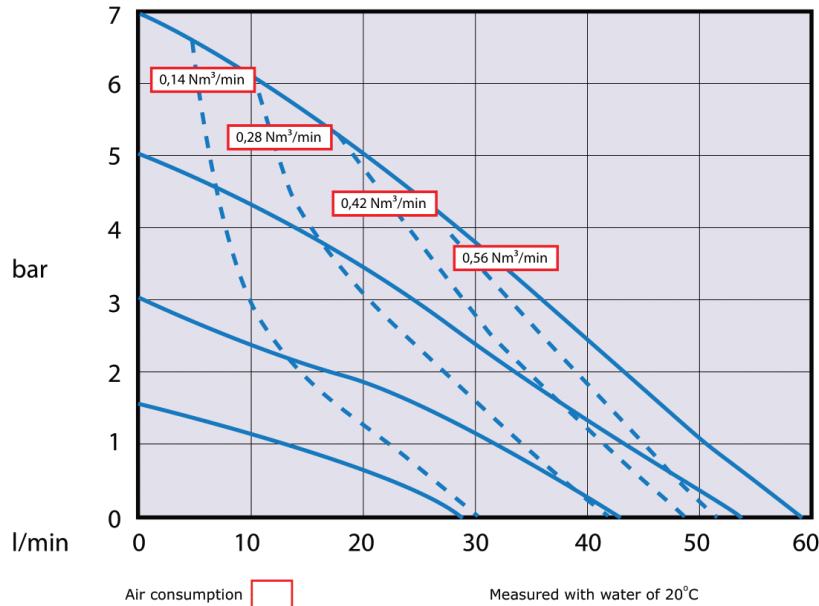
⚠ II 2 GD c IIC T4

# Verderair

## VA 15 Non-metallic



VERDERAIR®



VA15nonmet...Technosheet...rev02...2015... (eu)

All dimensions are in mm.  
All dimensions are for guidance only.



Find your local supplier  
at [www.verderair.com](http://www.verderair.com)

For construction, installation and floor mounting drawings  
please contact your local authorised Verderair® distributor.

**VERDER**  
passion for pumps

# Verderair

## VA 08 Non-metallic



VERDERAIR®

### Description

The VA08 non-metallic double diaphragm pumps are excellent pumps for use in a wide range of applications across many industries. The check valves are spring operated (made out of Hastelloy). This makes it possible to mount the pumps in every position. The pumps are available in 3 different materials for the pump body and 2 different materials for the diaphragms. This makes it possible to select the best solution for your application.

### Your benefits

- Easy to install, even up-side down
- Less downtime
- Self-priming
- Free of air lubrication
- Non-stalling air valve
- Can run-dry without damage

Technical data			
Weight [kg]	Fluid & air section	DP	1,1
		PP	0,9
		KP	1,3
Max. suction lift [mwc]		Dry	2,5
		Wet	4,4
Temperature [°C]	<b>Fluid section</b>	<b>Internals</b>	
	D, P, K	All internals	0      82
Max. Particle size [mm]			1,5
Max. recommended viscosity (mPas)			500

### Code VA08 No.1 No.2 No.3 No.4. No.5 No.6 No.7

#### No.1 Fluid section

- ⚠ D = Acetal
- K = Kynar (PVDF)
- P = Polypropylene

#### No.2 Air section

- P = Polypropylene

#### No.3 Check valve seats

- = no removable seats

#### No. 4 Check Valves

- AC = Acetal
- KY = Kynar (PVDF)
- PP = Polypropylene

#### No.5 Diaphragms

- SP = Santoprene
- TF = PTFE

#### No. 6 Connections

- TX = Threaded NPT/BSP

#### No. 7 Options

- OO = Standard
- RE = Remote

#### EXAMPLE PUMP TYPE

**VA08PP -- PP TF TX OO**

NOTE not all combinations are available

⚠ II 2 GD c IIC T4

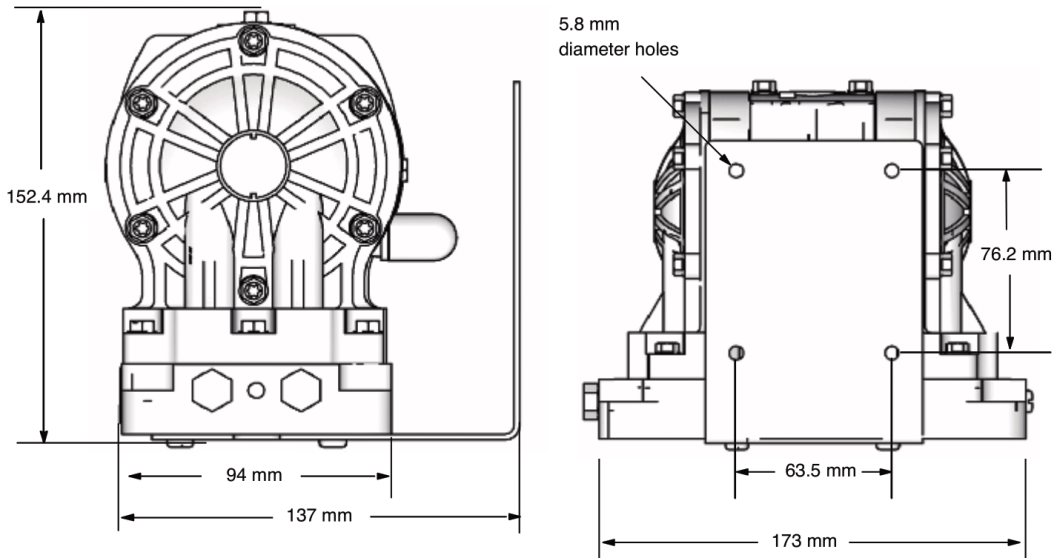
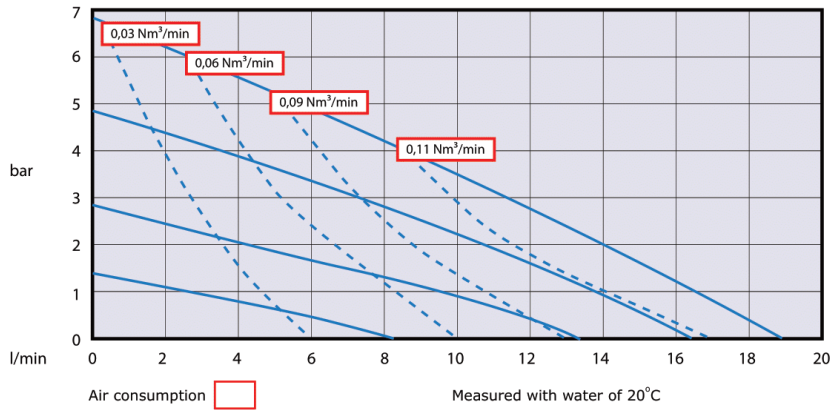


# Verderair

## VA 08 Non-metallic



VERDERAIR®



VA08nommet\_Technosheet\_rev02\_2017\_(eu)

All dimensions are in mm.  
All dimensions are for guidance only.



**Find your local supplier  
at [www.verderair.com](http://www.verderair.com)**

For construction, installation and floor mounting drawings  
please contact your local authorised Verderair® distributor.

**VERDER**  
passion for pumps

## Datenblatt

www.fsa-valve.com



### FSA Magnetventil Messing 1/2" 230V AC 0-10 bar Viton stromlos geschlossen

#### FSA Premium Line

ist unsere Serie für ein breites Einsatzspektrum dank den hochwertigen Dichtungswerkstoffen NBR und Viton.

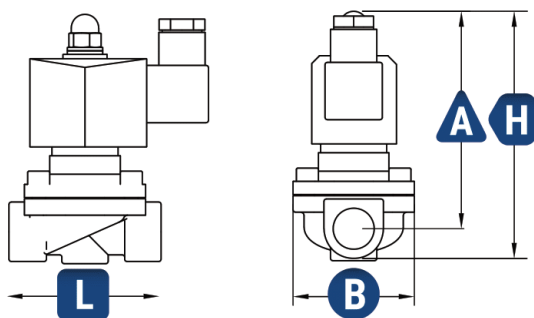
Unsere Magnetventile in Messing sind geeignet für den Einsatz in vielerlei Bereichen wie der klassischen Bewässerung, dem Spritzen von Pflanzmitteln in der Landwirtschaft oder der Kühlung von Rechenzentren.

1/2"

Artikelnummer	M-1_2-230-C
Anschlussgröße	1/2"
Öffnungsquerschnitt	15,0 mm
Kv-Wert / Cv-Wert	3,86 / 4,50
Dichtung	Viton
Druckstufe	0 - 10 bar, PN 10
Gewicht	644 g
Maße	<b>L</b> 68,1 mm
	<b>H</b> 96,4 mm
	<b>A</b> 85,1 mm
	<b>B</b> 56,4 mm
Spannung	230V AC
Leistung Spule max. / Dauerbetrieb	29 W
GTIN	4251884900115



Vermeiden sollten Sie die Anwendung von Chlor oder Salzhaltigen Flüssigkeiten, die zu Korrosion am Ventil führen können.



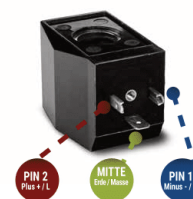
#### Information



**SCANNEN**  
und direkt zum Produkt

#### Anschlussplan

Pin	12V DC & 24V DC	24V AC & 230V AC
1	- / Minus	N / Nullleiter
2	+ / Plus	L / Leiter
MITTE	Masse	Erde / Masse



#### Information

#### Vergleichstabelle

Eigenschaft	FSA Premium Line	FSA Premium Line
Dichtung	NBR	Viton (FKM/FPM)
Geeignet für	Wasser, Luft, Solarflüssigkeit, andere Flüssigkeiten, nicht brennbare Gase, Öle, Benzin, ...	Wasser, Luft, Solarflüssigkeit, andere Flüssigkeiten, verschiedene Säuren und Basen, nicht brennbare Gase, Öle, Benzin, ...
Körpermaterial	Messing	Messing
Temperaturbereich	-10° bis 90° C	-30° bis 150° C
Schaltzyklen	500.000	500.000

Kontakt zu unseren Experten erhalten Sie unter +49 (0) 7841 6307506



fsa-valve.com/#kontakt



### Gewindetabelle ISO 228/1

Gewindekennung	Durchmesser Zoll	Durchmesser außen mm	Durchmesser Mutter mm	Durchmesser Kernloch mm	Gänge je Zoll	Steigung mm
G 1/8"	0,125	9,728	8,848	8,565	28	0,907
G 1/4"	0,25	13,157	11,89	11,445	19	1,337
G 3/8"	0,375	16,662	15,395	14,95	19	1,337
G 1/2"	0,5	20,955	19,172	18,633	14	1,814
G 3/4"	0,75	26,441	24,658	24,12	14	1,814
G 1"	1	33,249	30,931	30,292	11	2,309
G 1 1/4"	1,25	41,91	39,592	38,953	11	2,309
G 1 1/2"	1,5	47,803	45,485	44,846	11	2,309
G 2"	2	59,614	57,296	56,657	11	2,309

#### Sicherheitshinweise

### Bitte beachten

Lesen Sie sich die folgenden Informationen bitte gründlich und aufmerksam durch!  
Beachten Sie auch die Hinweise zur Benutzung und dem elektrischen Anschluss.



Dieses Produkt wird elektrisch betrieben und kommt häufig in Kontakt mit Flüssigkeiten, wie Wasser.  
**Daher ist besondere Vorsicht im Umgang geboten!**



Achten Sie darauf, dass das Ventil ordnungsgemäß geerdet ist, da sonst die Gefahr eines lebensgefährlichen Stromschlags besteht!



Achten Sie auf die bestimmungsgemäße Verwendung des Ventils. Benutzen Sie es nur in den angegebenen Belastungsgrenzen, besonders bei Druck und Temperatur!



Achten Sie bei den eingesetzten Medien auf die Materialbeständigkeit!



Unsere Magnetventile haben keine DVGW-Zulassung. Sie dürfen daher nicht in Kontakt mit Trinkwasser in öffentlichen Versorgungsnetzen gelangen. Die verwendeten Materialien sind grundsätzlich unbedenklich, die Verantwortung für den Einsatz im privaten Umfeld liegt bei dem Anwender.

#### Sicherheitshinweise

### Gewährleistung

Wir bieten eine Gewährleistung von 24 Monaten auf technische Funktion und Fehlerfreiheit ab Werk. Auf Verschleißteile, wie die Membrane, und deren Defekte durch Abnutzung oder Beschädigung durch beispielsweise Partikel im Medium oder nicht zum Dichtungsmaterial kompatibles Medium, besteht keine Gewährleistung, außer der Defekt ist auf einen Fehler im Material oder der Verarbeitung zurückzuführen.

**Weiter Informationen zu Funktion & Einsatz finden Sie auf unserer Homepage in der Wissensdatenbank. Einfach den QR-Code einscannen und sofort auf Seite gelangen!**



fsa-valve.com/#faq

#### Information

### Elektrischer Anschluss Magnetventil

Unsere Ventile werden alle mit einem 3-poligen Ventilstecker Typ A mit PG9-Ver-schraubung geliefert. Im Inneren dieses Steckers befinden sich 3 Schraubklemmen für L (+), N (-) und Schutzerde (Masse). Das Innere des Steckers kann um je 90° gedreht werden, sodass das Kabel am Ende in die Richtung zeigt, in der es gewünscht ist.

#### Bei Anschluss ist zu beachten

- Wir empfehlen ein Kabel mit Mindestquerschnitt von 0,5 mm<sup>2</sup>, Außendurchmesser 7-9 mm.
- Die PINs links und rechts werden mit L (+) und N (-) belegt
- Die Belegung ist variabel, da das Magnetfeld nicht polungsabhängig ist.
- Am 3. PIN (mitte oben bzw. unten) wird die Schutzerde / Masse angeschlossen
- Das Ventil sollte nicht an einer Kabeltrommel betrieben werden, es kann sonst zu Resonanzschwingungen kommen, wodurch das Ventil brummt oder nicht schaltet. Bestimmte (elektronische) Schaltuhren werden durch den Magnetkopf gestört.
- Nimmt man den Stecker ab, sieht man von vorne am Magnetkopf die 3 Kontakte. Die Belegung mit Plus / L (bei 230V AC), Minus / N (bei 230V AC) und Erde / Masse sind im Bild dargestellt. Die mitgelieferten Stecker sind bei der Pinbelegung nummeriert.

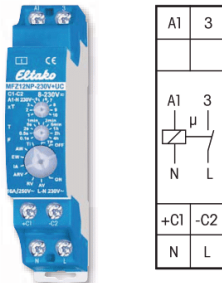
#### Information

### Wartung

Wir bieten grundsätzlich zu jedem Ventil Wartungssätze an. Diese sind Ventil-spezifisch und sollten immer zu dem ursprünglich gekauften Magnetventil passen. Sollten Sie weitere technische Fragen oder Probleme mit Ihrem Ventil haben, nehmen Sie bitte Kontakt mit uns auf.



## ANALOG EINSTELLBARES MULTIFUNKTIONS-ZEITRELAIS MFZ12NP-230V+UC MIT 10 FUNKTIONEN



### MFZ12NP-230V+UC



**1 Schließer nicht potenzialfrei 16 A/250 V AC, Glühlampen 2300 W\*.  
Stand-by-Verlust nur 0,5 Watt.**

Reiheneinbaugerät für Montage auf Tragschiene DIN-EN 60715 TH35.  
1 Teilungseinheit = 18 mm breit, 58 mm tief.

**Kontaktschaltung im Nulldurchgang** zur Schonung der Kontakte und Lampen.  
Insbesondere verlängert dies die Lebensdauer von Energiesparlampen.

Modernste Hybrid-Technik vereint die Vorteile verschleißfreier elektronischer Ansteuerung mit der hohen Leistung von Spezialrelais.

Steuerspannung 230 V und zusätzlich galvanisch getrennte Universal-Steuerspannung 8..230 V UC.

Versorgungs- und Schaltspannung 230 V.

Sehr geringes Schaltgeräusch.

Zeiten zwischen 0,1 Sekunden und 40 Stunden einstellbar.

**Funktionen F** (Beschreibung Seite 13-11)

- RV** = Rückfallverzögerung
- AV** = Ansprechverzögerung
- TI** = Taktgeber mit Impuls beginnend
- TP** = Taktgeber mit Pause beginnend
- IA** = Impulsgesteuerte Ansprechverzögerung
- EW** = Einschaltwischer
- AW** = Ausschaltwischer
- ARV** = Ansprech- und Rückfallverzögerung
- ON** = Dauer EIN
- OFF** = Dauer AUS

**Die Leuchtdiode** unter dem oberen Drehschalter informiert während des Zeitablaufs über die Kontaktstellung. Sie blinkt, solange der Arbeitskontakt offen und leuchtet ständig, solange er geschlossen ist.

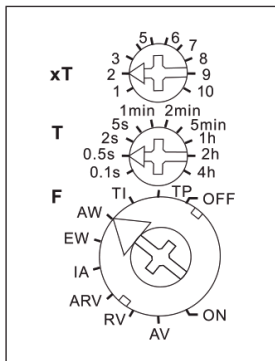
**Die Zeitbasis T** wird mit dem mittleren rastenden Drehschalter **T** eingestellt.

Als Basiswerte stehen 0,1 Sekunde, 0,5 Sekunden, 2 Sekunden, 5 Sekunden, 1 Minute, 2 Minuten, 5 Minuten, 1 Stunde, 2 Stunden und 4 Stunden zur Wahl. Die Gesamtzeit ergibt sich aus der Zeitbasis multipliziert mit dem Multiplikator.

**Der Multiplikator xT** wird mit dem oberen rastenden Drehschalter **xT** eingestellt und liegt zwischen 1 und 10. Somit lassen sich Zeiten zwischen 0,1 Sekunden (Zeitbasis 0,1 Sekunden und Multiplikator 1) und 40 Stunden (Zeitbasis 4 Stunden und Multiplikator 10) einstellen.

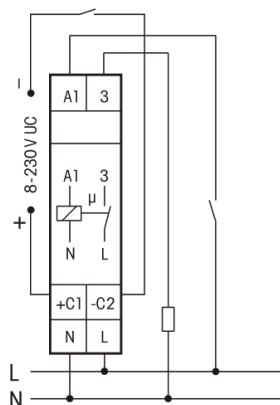
\* Die maximale Last kann ab einer Verzögerungs- oder Taktzeit von 5 Minuten genutzt werden. Bei kürzeren Zeiten reduziert sich die maximale Last wie folgt: Bis 2 Sekunden auf 15%, bis 2 Minuten auf 30%, bis 5 Minuten auf 60%.

### Funktions-Drehschalter



Darstellung ist die Standard-einstellung ab Werk.

### Anschlussbeispiel



Technische Daten Seite 13-13.  
Gehäuse für Bedienungsanleitung GBA14  
Zubehör Kapitel Z.

<b>MFZ12NP-230V+UC</b>	1 Schließer 16 A	EAN 4010312602935	<b>49,90 €/St.</b>
------------------------	------------------	-------------------	--------------------

## Anhang 12.10: Bypass-Rohr mit kapazitivem Sensor



### Mini-Bypass Füllstandsmesser Typ NZJ



#### Beschreibung

Die Glasrohr Füllstandsmesser der Serie NZJ werden für die Anzeige der Flüssigkeitspegel in kleinen Behältern eingesetzt, die in der pharmazeutischen und chemischen Industrie verwendet werden.

Das Glasrohr wird durch die äußere flache Armatur gegenüber mechanischen Belastungen, die auch während der Montage auftreten können, gegen Glasbruch geschützt.

Als Einbaulänge wird der Abstand zwischen den horizontalen Mittellinien der beiden Gewindeanschlüsse definiert. Die Einbaulängen liegen zwischen mindestens 100 mm und maximal 540 mm.

Die Abdichtung der oberen und unteren Glasrohrseiten sind jeweils mittels zwei O-Ringen aus chemisch beständigen Material gewährleistet. Der Standard Dichtungswerkstoff ist NBR. FPM, EPDM oder PTFE sind auf Anfrage erhältlich.

Die Füllstandsanzeigen können mit kapazitiven Niveausensoren ausgestattet werden. Diese werden zur Überwachung des Min./Max. oder jeden anderen Niveaus entlang der Skala verwendet. Die Skala wird als gedruckte Folie auf das Messglas geklebt.

#### Anwendungen

- Pharmazie
- Chemie
- Wasseraufbereitung
- Labore
- Kleine Flüssigkeitstanks für alle Bereiche
- Falltanks
- Lagertank

#### Technische Daten

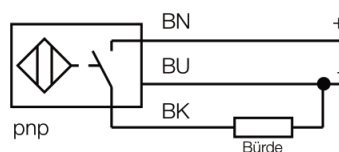
Einbauposition:	vertikal
Einbaulänge:	100 ... 540 mm
Skalenlänge (sichtbare Länge):	60 ... 500 mm
Werkstoff:	Edelstahl(1.4301/1.4404)/Aluminium
Dichtung:	NBR, FPM, EPDM, PTFE

Prozessanschluss:	G $\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{4}$ " NPT (AG) Überwurfmutter
Skalenwerkstoff:	Plastikfolie (2 mm Auflösung)
Max. Druck:	16 bar
Umgebungstemp.:	-25 ... +70 °C
Mediumtemperatur:	0 ... +100 °C (0 ... +70 °C mit Schalter)
Dichte:	jede (ohne Schwimmer)
Viskosität:	max. 50 mm <sup>2</sup> /s

#### Grenzkontakte

<b>Typ:</b>	<b>kapazitiver Sensor</b>
Betriebsspannung:	10 ... 65 V <sub>DC</sub>
Kurzschlusschutz:	ja
Spannungsabfall:	≤ 1,8 V
Betriebsstrom:	≤ 200 mA
Leerlaufstrom:	≤ 15 mA
Ausgangsfunktion:	3-Leiter, Schließkontakt, PNP
Anschlussart:	2 m PVC-Kabel
Aderquerschnitt:	3 x 0,34 mm <sup>2</sup>
Feinabgleich:	über Potentiometer
Schaltzustandsanzeige:	LED, gelb
Schutzart:	IP67

#### Schaltplan



## Anhang 12.10: Bypass-Rohr mit kapazitivem Sensor

### Mini-Bypass Füllstandsmesser Typ NZJ



#### Werkstoffe

Typ	Rohr	Gehäuse	Anschluss	Dichtung	Seitenarmatur
NZJ-A	Borosilikatglas	Aluminium	1.4404	NBR	1.4301
NZJ-K		Edelstahl 1.4301		FPM	
NZJ-S		Edelstahl 1.4404		FPM	

#### Bestelldaten (Bestellbeispiel: NZJ-K 1 1 G2 00 0)

Typ/Ausführung	Messskala	Dichtung	Anschluss	Schalter <sup>2)</sup>	Optionen
<b>NZJ-A</b> = Aluminium <b>NZJ-K</b> = Edelstahl 1.4301 <b>NZJ-S</b> = Edelstahl 1.4404	<b>0</b> = ohne <b>1<sup>1)</sup></b> = Kunststoffolie auf Messrohr (2 mm Teilung) <b>2<sup>1)</sup></b> = Kunststoffolie auf Messrohr (% Teilung)	<b>1</b> = FPM <b>3</b> = EPDM <b>4</b> = NBR <b>5</b> = PTFE	<b>G2</b> = G ¼ AG <b>N2</b> = ¼" NPT AG	<b>00</b> = ohne <b>1D<sup>3)</sup></b> = 1 x Schließer, PNP <b>2D<sup>3)</sup></b> = 2 x Schließer, PNP <b>nD<sup>3)</sup></b> = n x Schließer, PNP <b>1S<sup>4)</sup></b> = 1 x Schließer, PNP <b>2S<sup>4)</sup></b> = 2 x Schließer, PNP <b>nS<sup>4)</sup></b> = n x Schließer, PNP	<b>0</b> = ohne <b>Y</b> = Kundenspezifikation

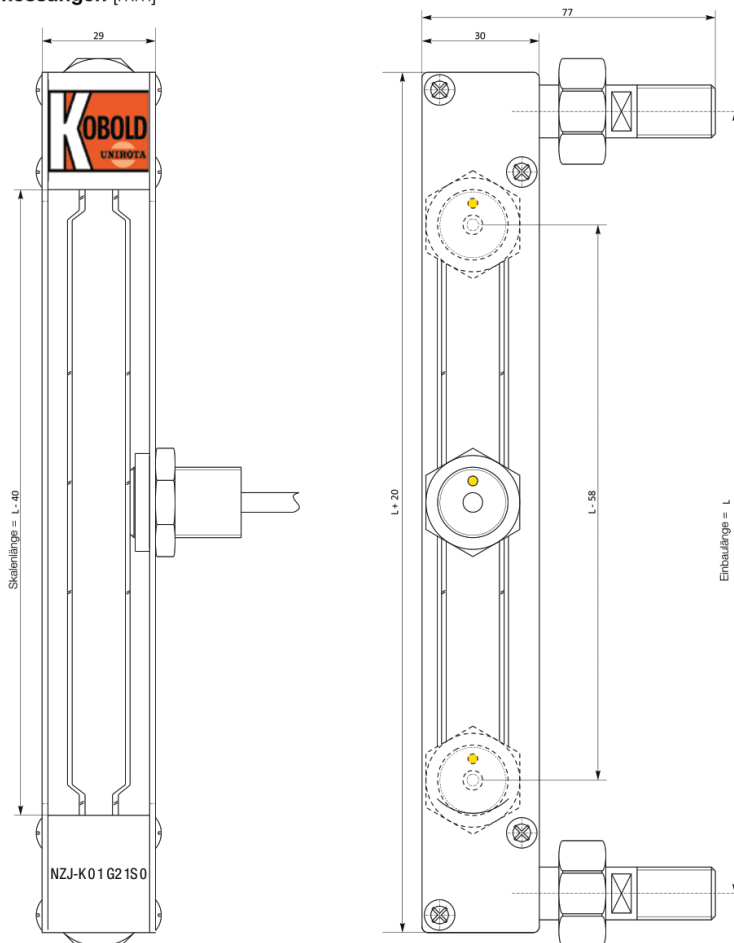
<sup>1)</sup> Einbaulänge »L« bitte in Klartext angeben (Skalenlänge = L-40 mm). 0% und 100% Füllstand sind relativ zum unteren und oberen Anschluss.

<sup>2)</sup> Kapazitive Sensoren

<sup>3)</sup> Ideal für Wasser, wasserbasierte- und lösemittelhaltige Flüssigkeiten.

<sup>4)</sup> Ideal für Öle, Fette, Schmierstoffe, Tinte, Säuren, Soßen, wasserbasierte Alkalien und Reinigungsmittel.

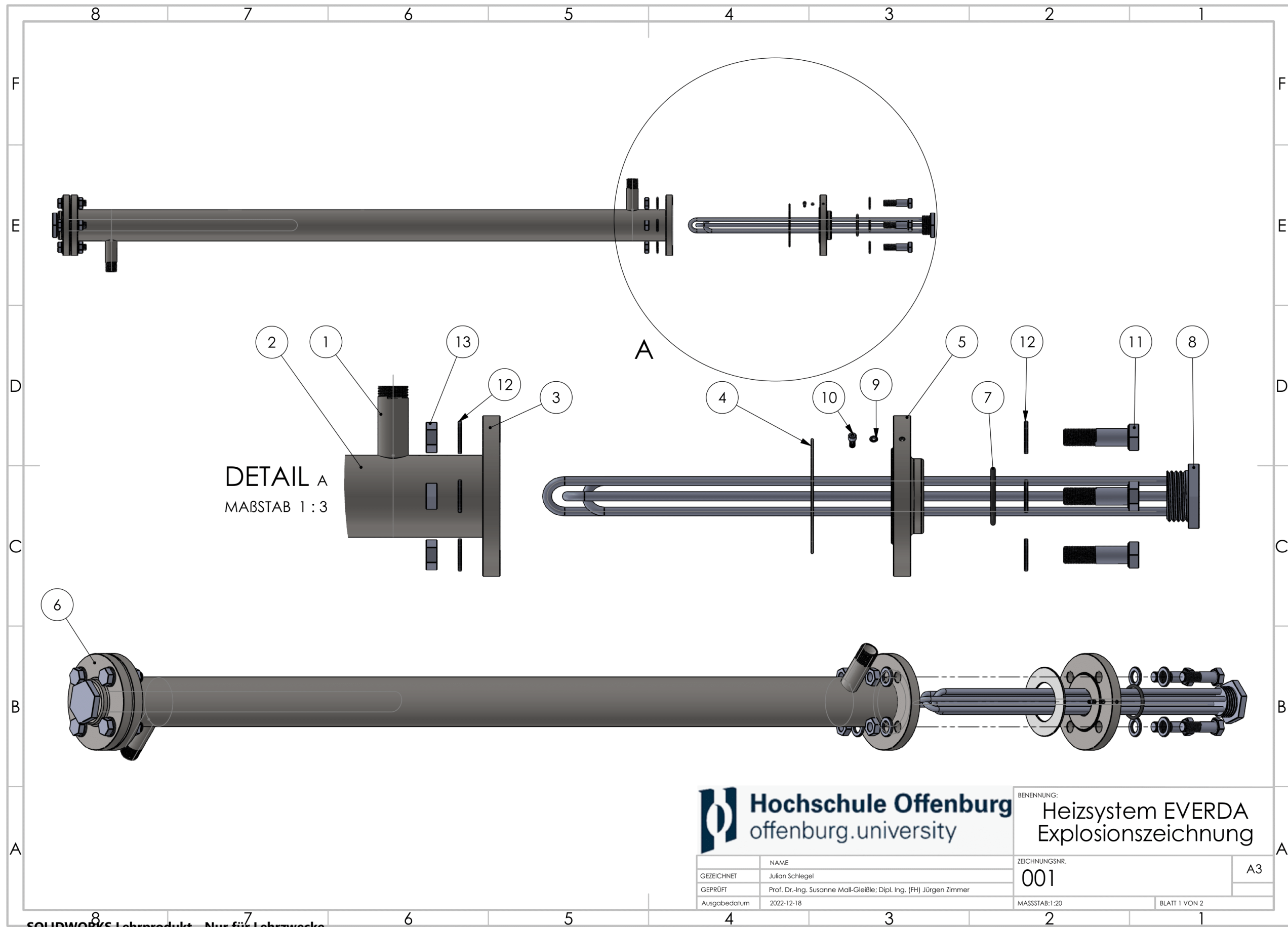
#### Abmessungen [mm]



1/07-2021

Irrtum und technische Änderungen vorbehalten.

www.kobold.com





**Hochschule Offenburg**  
offenburg.university

BENENNUNG:  
Heizsystem EVERDA  
Explosionszeichnung

GEZEICHNET	NAME	ZEICHNUNGSNR.	A3
GEPRÜFT	Julian Schlegel	001	
Ausgabedatum	Prof. Dr.-Ing. Susanne Mall-Gleißle; Dipl. Ing. (FH) Jürgen Zimmer	MAßSTAB: 1:20	BLATT 1 VON 2
	2022-12-18		

## Anhang 12.11: Heizsystem EVERDA und Stückliste

4	3	2	1																																										
F	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">POS-NR.</th> <th style="width: 60%;">BENENNUNG</th> <th style="width: 25%;">MENGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Anschweißnippel 0,75 Zoll x 60, V4A</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>Durchlaufrohr 76,3x3,6x1500, V4A</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>DN40 0,5 Blatt Lochflansch Innendurchmesser: 76,4, V4A</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td>Dichtscheibe 107x61x2, PTFE</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td>DN40 1,5 Zoll Gewindeflansch mit M4 Entlüftungsbohrung, V4A</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td>DN40 1,5 Zoll Gewindeflansch, V4A</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">7</td> <td>ORing 44x4, NBR</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8</td> <td>Einschraubheizkörper 18 kW Einbaulänge: 580, Durchmesser: 48</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9</td> <td>USIT Dichtung M4</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">10</td> <td>M4x10 Innensechskantschraube</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">11</td> <td>M16x60 Sechskantschraube</td> <td style="text-align: center;">8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">12</td> <td>M16x30x3 Unterlegscheibe</td> <td style="text-align: center;">16</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">13</td> <td>Mutter M16</td> <td style="text-align: center;">8</td> </tr> </tbody> </table>		POS-NR.	BENENNUNG	MENGE	1	Anschweißnippel 0,75 Zoll x 60, V4A	2	2	Durchlaufrohr 76,3x3,6x1500, V4A	1	3	DN40 0,5 Blatt Lochflansch Innendurchmesser: 76,4, V4A	2	4	Dichtscheibe 107x61x2, PTFE	2	5	DN40 1,5 Zoll Gewindeflansch mit M4 Entlüftungsbohrung, V4A	1	6	DN40 1,5 Zoll Gewindeflansch, V4A	1	7	ORing 44x4, NBR	2	8	Einschraubheizkörper 18 kW Einbaulänge: 580, Durchmesser: 48	2	9	USIT Dichtung M4	1	10	M4x10 Innensechskantschraube	1	11	M16x60 Sechskantschraube	8	12	M16x30x3 Unterlegscheibe	16	13	Mutter M16	8	F
POS-NR.	BENENNUNG	MENGE																																											
1	Anschweißnippel 0,75 Zoll x 60, V4A	2																																											
2	Durchlaufrohr 76,3x3,6x1500, V4A	1																																											
3	DN40 0,5 Blatt Lochflansch Innendurchmesser: 76,4, V4A	2																																											
4	Dichtscheibe 107x61x2, PTFE	2																																											
5	DN40 1,5 Zoll Gewindeflansch mit M4 Entlüftungsbohrung, V4A	1																																											
6	DN40 1,5 Zoll Gewindeflansch, V4A	1																																											
7	ORing 44x4, NBR	2																																											
8	Einschraubheizkörper 18 kW Einbaulänge: 580, Durchmesser: 48	2																																											
9	USIT Dichtung M4	1																																											
10	M4x10 Innensechskantschraube	1																																											
11	M16x60 Sechskantschraube	8																																											
12	M16x30x3 Unterlegscheibe	16																																											
13	Mutter M16	8																																											
E			E																																										
D			D																																										
C			C																																										
B			B																																										
A	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: left;">  <p><b>Hochschule Offenburg</b> offenburg.university</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>BENENNUNG: <b>Heizsystem EVERDA Stückliste</b></p> </div> </div>		A																																										
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">NAME</td> <td style="width: 50%;">ZEICHNUNGSNR.</td> </tr> <tr> <td>GEZEICHNET Julian Schlegel</td> <td style="text-align: center; font-size: 24px;"><b>001</b></td> </tr> <tr> <td>GEPRÜFT Prof. Dr.-Ing. Susanne Mall-Gleißle; Dipl. Ing. (FH) Jürgen Zimmer</td> <td style="text-align: right;">A4</td> </tr> <tr> <td>Ausgabedatum 2022-12-18</td> <td> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">MASSSTAB:1:20</td> <td style="width: 50%;">BLATT 2 VON 2</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	NAME	ZEICHNUNGSNR.	GEZEICHNET Julian Schlegel	<b>001</b>	GEPRÜFT Prof. Dr.-Ing. Susanne Mall-Gleißle; Dipl. Ing. (FH) Jürgen Zimmer	A4	Ausgabedatum 2022-12-18	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">MASSSTAB:1:20</td> <td style="width: 50%;">BLATT 2 VON 2</td> </tr> </table>	MASSSTAB:1:20	BLATT 2 VON 2																																		
NAME	ZEICHNUNGSNR.																																												
GEZEICHNET Julian Schlegel	<b>001</b>																																												
GEPRÜFT Prof. Dr.-Ing. Susanne Mall-Gleißle; Dipl. Ing. (FH) Jürgen Zimmer	A4																																												
Ausgabedatum 2022-12-18	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">MASSSTAB:1:20</td> <td style="width: 50%;">BLATT 2 VON 2</td> </tr> </table>	MASSSTAB:1:20	BLATT 2 VON 2																																										
MASSSTAB:1:20	BLATT 2 VON 2																																												
4	3	2	1																																										



## Anhang 12.12: Strömungswächter

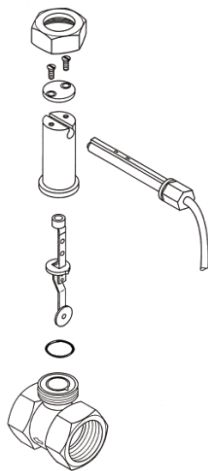


### Prallscheiben-Strömungswächter für Flüssigkeiten Typ PSR/PSE

#### Beschreibung

Die KOBOLD Strömungswächter Typen PSE und PSR werden überall dort eingesetzt, wo eine einfache, preiswerte und trotzdem zuverlässige Überwachung von Strömungen gefordert wird.

In Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit bzw. Durchflussmenge wird die Prallscheibe ausgelenkt und bewegt über den Wagebalken den Dauermagneten in den Ansprechbereich des außerhalb des Durchflussmediums befindlichen Reedkontaktes.



Durch die Kraft der Blattfeder, die gleichzeitig als Halterung für den Wagebalken dient, wird die Prallscheibe bei Ausbleiben der Strömung wieder in ihre Ruhelage gebracht. Die KOBOLD-Prallscheiben-Strömungswächter werden bis Nennweite 40 komplett mit Rohrstück geliefert. Bei größeren Rohrweiten werden die Geräte ohne Rohrstück zum direkten Einbau geliefert und in handelsübliche T-Stücke oder Reduzierstücke eingeschraubt. Die Abdichtung erfolgt mit Teflonband.

#### PSR und PSE Varianten

PSR aus Messing oder Edelstahl mit Fitting und Innengewinde für Nennweiten G ¼ bis G 1 ½.

PSE aus Messing oder Edelstahl mit Außengewinde für die größeren Nennweiten NW 50 ... NW 200.

Typ: PSE



Typ: PSR



#### Technische Daten

Toleranz d. Schaltp.: ±15 %  
 Mediumtemperatur: -20 ... +70 °C (NBR-Dichtung)  
 -10 ... +110 °C (FPM-Dichtung)  
 Umgebungstemperatur: -20 ... +70 °C (NBR-Dichtung)  
 -20 ... +110 °C (FPM-Dichtung)

Max. Druck	Messing-Ausführung	Edelstahl-Ausführung
PSE PSR-¼ ... 1	100 bar	250 bar
PSR-1 ¼, 1 ½	25 bar	40 bar

Schutzart: IP 65  
 Bevorzugte Einbaulage: aufrechtstehend, horizontal  
 PSE-1x52/PSE-1x14:  
 aufrechtstehend  
 Ein-/Auslaufstrecke: je 5 x DN

#### Elektrische Daten

##### Bistabiler Reedkontakt

- R** Schließer / Öffner Standard  
 max. 2 A, max. 230 V<sub>AC/DC</sub>, max. 40 W, 40 VA
- U** Umschalter Standard  
 max. 0,5 A, max. 150 V<sub>AC/DC</sub>, max. 20 W, 20 VA
- C** Schließer / Öffner   
 2A, 20 V<sub>AC</sub>, 0,18 A, 230 V<sub>AC</sub>, max. 40 W
- D** Umschalter   
 0,13 A, 150 V<sub>AC</sub>, 0,5 A, 40 V<sub>AC</sub>, max. 20 W

#### ATEX und IECEx

- R, U** Schließer / Öffner und Umschalter  
 max. 2 A, max. 60 V<sub>AC/DC</sub>, max. 40 W, 20 VA

Ex-Bereich:

- Typ PS\*-\*\*\*\* \* H oder Typ PS\*-\*\*\*\* \* H
- I M1Ex ia I Ma Ex ia I Ma
- II 1GEx ia IIC T3 Ga Ex ia IIC T4 Ga
- II 1DEx ia IIIC T135°C Da Ex ia IIIC T135°C Da
- II 2DEx ia IIIC T150°C Db Ex ia IIIC T110°C Db

#### Werkstoffe

	PSR/PSE-11../-21..	PSR/PSE-12../-22..
Gehäuse	Messing 58	Edelstahl 1.4301
Prallscheibe	Edelstahl 1.4301	Edelstahl 1.4301
Blattfeder	Edelstahl 1.4310	Edelstahl 1.4310
Wagebalken	Edelstahl 1.4310	Edelstahl 1.4310
Hülse	Messing 58	Edelstahl 1.4301
Magnet	Oxidkeramik	Oxidkeramik
Dichtung	NBR	FPM
Kontakthülse	Polyamid, glasfaserverstärkt	
Leitung	PVC (Standard 1,5 m)	

#### Anwendungen

- Kühl- und Schmierkreisläufe
- Trockenlaufschutz für Pumpen
- Wassermangelsicherung
- Rohrbruchüberwachung

#### Besondere Vorteile

- Druckfestes, geschmiedetes Gehäuse bei Typ PSR-xx08...PSR-xx25
- Prallscheibensystem aus rostfreiem Federedelstahl. Dadurch kein Verbiegen des Paddels auch bei deutlich über dem Schaltbereich liegenden Durchflussmengen
- Prallscheibe austauschbar

# Anhang 12.12: Strömungswächter

Prallscheiben-Strömungswächter für Flüssigkeiten Typ PSR/PSE



Bestelldaten Standardausführung (Bestellbeispiel: PSR-1108 3 R08 R 1)



Standard-Schaltbereiche <sup>1)</sup>		Nennweite	Q <sub>max</sub> l/min Wasser	Typ		Anschluss	Kontakt	Leitungs- ausführung
steigender Durchfluss l/min Wasser	fallender Durchfluss l/min Wasser			Material Messing	Material Edelstahl			
2,3-4,7	1,6-4,6	DN 8	30	PSR-1108 3...	PSR-1208 3...	R08 = G ¼ N08 = ¼" NPT	R = Schließer (Standard CE) C = Schließer (cCSAus) U = Umschalter (Standard CE) D = Umschalter (cCSAus)	<b>PVC-Leitung</b> 1 = 1,5 m (Standard) 2 = 2,0 m <sup>2)</sup> 4 = 3,0 m <sup>2)</sup> 6 = 4,0 m <sup>2)</sup> 8 = 5,0 m <sup>2)</sup> P = PVC-Leitung, Sonderlänge <sup>3)</sup> S = Silikon- leitung <sup>3) 4)</sup> G = gelbes PUR- Leitung <sup>3) 4)</sup>
2,8-6,0	2,3-5,5	DN 10	40	PSR-1110 3...	PSR-1210 3...	R10 = G ¾ N10 = ¾" NPT		
2,7-6,4	1,9-6,3	DN 15	45	PSR-1115 3...	PSR-1215 3...	R15 = G ½ N15 = ½" NPT		
7,7-13,4	5,9-13,0	DN 20	80	PSR-1120 6...	PSR-1220 6...	R20 = G ¾ N20 = ¾" NPT		
7,4-18,2	7,3-17,2	DN 25	130	PSR-1125 8...	PSR-1225 8...	R25 = G 1 N25 = 1" NPT		
22-38,6	21-36	DN 32	160	PSR-1132 B...	PSR-1232 B...	R32 = G 1 ¼ N32 = 1 ¼" NPT		
34,8-64,2	34-62,3	DN 40	300	PSR-1140 B...	PSR-1240 B...	R40 = G 1 ½ N40 = 1 ½" NPT		



Sonder-Schaltbereiche <sup>1)</sup>		Nennweite	Q <sub>max</sub> l/min Wasser	Typ		Anschluss	Kontakt	Leitungs- ausführung
steigender Durchfluss l/min Wasser	fallender Durchfluss l/min Wasser			Material Messing	Material Edelstahl			
4,7-6,5	3,4-6,1	DN 8	30	PSR-1108 2...	PSR-1208 2...	R08 = G ¼ N08 = ¼" NPT	R = Schließer (Standard CE) C = Schließer (cCSAus) U = Umschalter (Standard CE) D = Umschalter (cCSAus)	<b>PVC-Leitung</b> 1 = 1,5 m (Standard) 2 = 2,0 m <sup>2)</sup> 4 = 3,0 m <sup>2)</sup> 6 = 4,0 m <sup>2)</sup> 8 = 5,0 m <sup>2)</sup> P = PVC-Leitung, Sonderlänge <sup>3)</sup> S = Silikon- leitung <sup>3) 4)</sup> G = gelbes PUR- Leitung <sup>3) 4)</sup>
5,7-7,7	4,5-7,6	DN 8	30	PSR-1108 1...	PSR-1208 1...	R08 = G ¼ N08 = ¼" NPT		
5,5-7,1	4,4-6,9	DN 10	40	PSR-1110 2...	PSR-1210 2...	R10 = G ¾ N10 = ¾" NPT		
6,6-8,7	5,6-8,5	DN 10	40	PSR-1110 1...	PSR-1210 1...	R10 = G ¾ N10 = ¾" NPT		
8,3-10,7	7,0-10,3	DN 15	45	PSR-1115 2...	PSR-1215 2...	R15 = G ½ N15 = ½" NPT		
9,2-12,4	8,0-11,8	DN 15	45	PSR-1115 1...	PSR-1215 1...	R15 = G ½ N15 = ½" NPT		
17,8-24,9	14,9-23,3	DN 20	80	PSR-1120 5...	PSR-1220 5...	R20 = G ¾ N20 = ¾" NPT		
20,4-30,0	16,3-28,3	DN 20	80	PSR-1120 4...	PSR-1220 4...	R20 = G ¾ N20 = ¾" NPT		
34,6-48,3	30,6-46,7	DN 20	80	PSR-1120 1...	PSR-1220 1...	R20 = G ¾ N20 = ¾" NPT		
17,7-26,8	12,8-24,7	DN 25	130	PSR-1125 7...	PSR-1225 7...	R25 = G 1 N25 = 1" NPT		
26,0-36,3	21,4-34,1	DN 25	130	PSR-1125 5...	PSR-1225 5...	R25 = G 1 N25 = 1" NPT		
29,8-42,8	24,7-40,9	DN 25	130	PSR-1125 4...	PSR-1225 4...	R25 = G 1 N25 = 1" NPT		
47,6-67,2	43,9-64,9	DN 25	130	PSR-1125 1...	PSR-1225 1...	R25 = G 1 N25 = 1" NPT		



Standard-Schaltbereiche <sup>1)</sup>		für Rohre mit Durch- messer [mm]	Q <sub>max</sub> m³/h Wasser	Typ		Anschluss	Kontakt	Leitungs- ausführung
steigender Durchfluss l/min Wasser	fallender Durchfluss l/min Wasser			Material Messing	Material Edelstahl			
68-90	61-83	50	30	PSE-1149 8...	PSE-1249 8...	R15 = G ½ N15 = ½" NPT	R = Schließer (Standard CE) C = Schließer (cCSAus) U = Umschalter (Standard CE) D = Umschalter (CSAus)	<b>PVC-Leitung</b> 1 = 1,5 m (Standard) 2 = 2,0 m <sup>2)</sup> 4 = 3,0 m <sup>2)</sup> 6 = 4,0 m <sup>2)</sup> 8 = 5,0 m <sup>2)</sup> P = PVC-Leitung, Sonderlänge <sup>3)</sup> S = Silikon- leitung <sup>3) 4)</sup> G = gelbes PUR- Leitung <sup>3) 4)</sup>
183-250	170-233	80	100					
320-400	300-383	100	150					
700-917	667-900	150	200					
50-62	43-58	50	30	PSE-1152 0...	PSE-1252 0...	R15 = G ½ N15 = ½" NPT	U = Umschalter (Standard CE) D = Umschalter (CSAus)	<b>PVC-Leitung</b> 1 = 1,5 m (Standard) 2 = 2,0 m <sup>2)</sup> 4 = 3,0 m <sup>2)</sup> 6 = 4,0 m <sup>2)</sup> 8 = 5,0 m <sup>2)</sup> P = PVC-Leitung, Sonderlänge <sup>3)</sup> S = Silikon- leitung <sup>3) 4)</sup> G = gelbes PUR- Leitung <sup>3) 4)</sup>
155-183	143-167	80	100					
217-267	200-250	100	150					
558-600	517-592	150	200					
92-113	70-103	100	150	PSE-1114 9...	PSE-1214 9...	R15 = G ½ N15 = ½" NPT	U = Umschalter (Standard CE) D = Umschalter (CSAus)	<b>PVC-Leitung</b> 1 = 1,5 m (Standard) 2 = 2,0 m <sup>2)</sup> 4 = 3,0 m <sup>2)</sup> 6 = 4,0 m <sup>2)</sup> 8 = 5,0 m <sup>2)</sup> P = PVC-Leitung, Sonderlänge <sup>3)</sup> S = Silikon- leitung <sup>3) 4)</sup> G = gelbes PUR- Leitung <sup>3) 4)</sup>
200-283	167-233	150	200					
383-533	333-467	200	200					

<sup>1)</sup> Angegebene Werte gelten für den horizontalen Einbau <sup>2)</sup> Nur für Schließerkontakt »R« und »C« lieferbar  
<sup>3)</sup> Länge gemäß Beschreibung <sup>4)</sup> Nur für Schließerkontakt »R« lieferbar

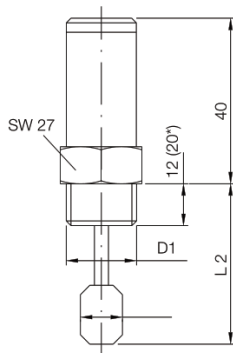
# Anhang 12.12: Strömungswächter

Prallscheiben-Strömungswächter für Flüssigkeiten Typ PSR/PSE



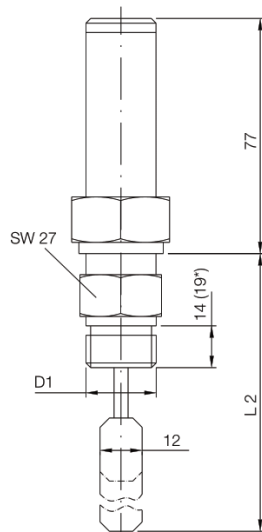
## Abmessungen [mm]

Typ: PSE-...49

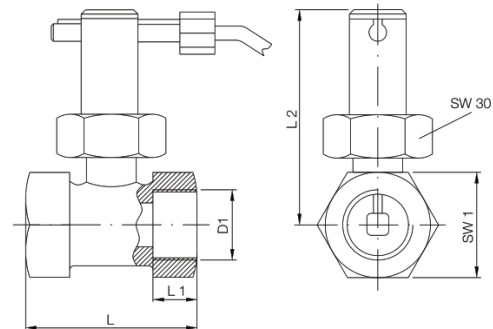


\* für NPT-Gewinde

Typ: PSE-...52  
PSE-...14



Typ: PSR



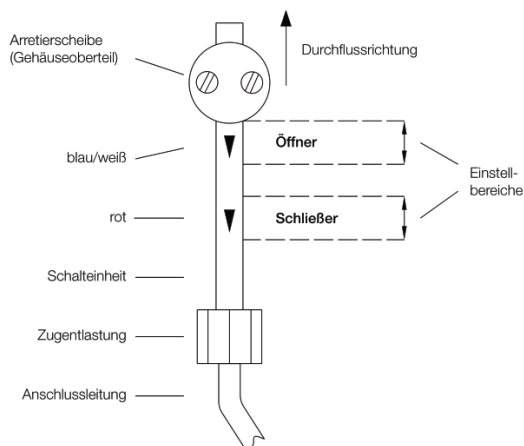
Typ	D1	L <sub>2</sub> [mm]
PSE-...498 R...	R ½	51
PSE-...520 R...	R ½	72
PSE-...149 R...	R ½	130
PSE-...498 N...	½" NPT	59
PSE-...520 N...	½" NPT	72
PSE-...149 N...	½" NPT	130

Typ	D1	L [mm]	L <sub>1</sub> [mm]	L <sub>2</sub> [mm]	SW1
PSR-...08	G ¼	50	10	80	27
PSR-...10	G ¼	50	10	80	27
PSR-...15	G ½	50	10	80	27
PSR-...20	G ¾	52	15	81,5	32
PSR-...25	G 1	56	15	84	39
PSR-...32	G 1 ¼	50	15	112	46
PSR-...40	G 1 ½	50	15	119	55

## Schaltpunkteinstellung

Zur Einstellung des Schaltpunktes muss lediglich die Arretierscheibe am Gehäuseoberteil gelockert und die Schalteinheit verschoben werden. Als Einstellhilfe befinden sich an der Schalteinheit ein blauer, weißer, bzw. roter Pfeil.

Als Einstellmarkierung dient die Vorderkante der Arretierscheibe.



## Schließkontakt

Die Schaltmenge ist im Bereich des roten Pfeils einstellbar. Durch Verschieben der Schalteinheit in Strömungsrichtung erhält man die in der Tabelle angegebenen minimalen Schaltwerte.

Durch Verschieben der Schalteinheit gegen die Strömungsrichtung, erhält man die in der Tabelle angegebenen maximalen Schaltwerte.

## Öffnerkontakt

Die Schaltmenge ist im Bereich des blauen (weißen) Pfeiles einstellbar. Durch Verschieben der Schalteinheit in Strömungsrichtung, erhält man die in der Tabelle angegebenen minimalen Schaltwerte. Durch Verschieben der Schalteinheit gegen Strömungsrichtung erhält man die in der Tabelle angegebenen maximalen Schaltwerte. Nach erfolgter Einstellung, die Arretierscheibe wieder festziehen.

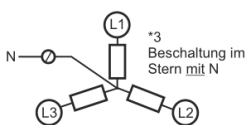
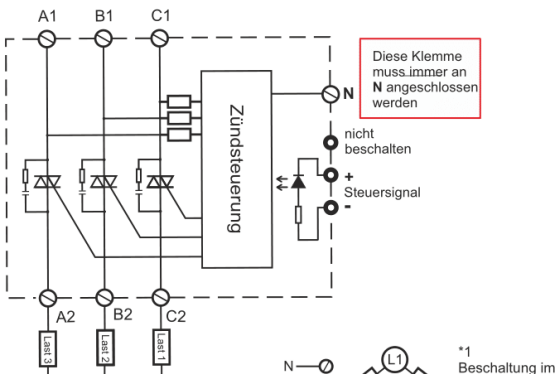
## Montage- u. Betriebsanleitung für **A-senco®** 3-Phasen Thyristorsteller mit Phasenanschnitt (SCR)



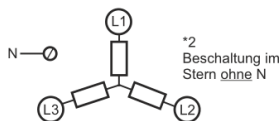
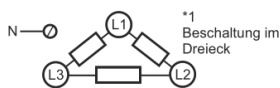
Die A-senco Power Thyristorsteller werden mit einem analogen Eingangssignal (z. B. 0 -10 V oder 4 -20mA) gesteuert. Dabei wird durch Phasenanschnitt der positiven und negativen Sinushalbwellen eine stufenlose Leistungsregelung von Verbrauchern möglich. Im Ergebnis ist dies mit einer Dimmerschaltung einer Glühlampe vergleichbar. Durch die kompakte Bauweise ist ein vielfältiger Einsatz in Wechselstromnetzen, sowohl zur Steuerung von ohmschen Lasten (z. B. el. Heizungen), als auch induktiven Lasten (z. B. Motoren) möglich. Bei Ansteuerung insbesondere von induktiven Lasten (z. B. Drehzahlregelung von Motoren) ist vor Anwendung abzuklären, ob der Verbraucher aufgrund seiner Bauweise zur Ansteuerung mittels Phasenanschnitt geeignet ist.

Die Vorzüge der A-senco Power-Thyristorsteller sind:  
 • Kontaktlose und daher funkenlose, stufenlose Leistungsregelung bei geringer Verlustleistung und dadurch langlebig.  
 • Kompakte Abmessungen, hohe Strombelastbarkeit und montagefreundliche Ausführung.  
 • Die Gehäusekonstruktion besteht aus flammwidrigen Epoxy-/Kunststoffen, widerstandsfähig gegen hohe mech. Belastung und Vibrationen.

### Technik / Funktion:

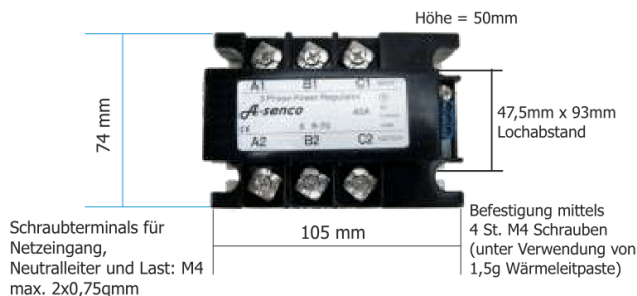


\*1  
Die Lasten erhalten jeweils 400V  
Sie müssen alle drei gleich sein

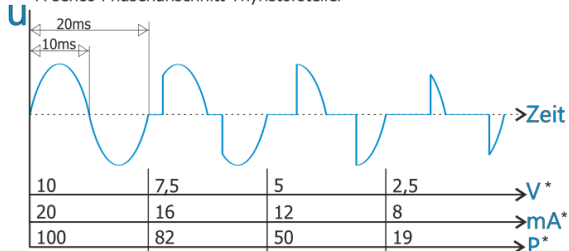


\*3  
Die Lasten erhalten jeweils 230V  
Sie können unterschiedlich sein

### Abmessungen:



Darstellung des Stromflusses einer einzelnen Phase bei A-senco Phasenanschnitt Thyristorsteller



\*V= Steuerspannung 0-10V    \*mA= Steuerstrom 4-20mA    \*P= Leistung in %

### Hinweise für den Betrieb:

- Thyristorsteller mit Phasenanschnitt sind naturgemäß nur zum Betrieb mit Wechselstrom geeignet.

Durch die Integration einer RC-Schutzschaltung in unseren Stellern, kann auch im OFF-Zustand ein sehr geringer Strom im einstelligen mA-Bereich fließen. Für den Anschluss von Heizungen, Motoren oder ähnl. Lasten hat dies keine Bedeutung.

Die Eingangsspannungen müssen sich kontinuierlich im angegebenen Spannungsbereich befinden.

Überstrom bei Kurzschlüssen oder Überspannungen sind die häufigste Ursache für Ausfälle bei Halbleiterschaltern. Wir empfehlen Ihnen den Einsatz eines für die Schaltung Ihrer Last geeigneten Varistors (parallel zum Ausgang verdrahtet, z. B. A1 / A2, B1/B2, C1/C2) zur Absicherung gegen Überspannung aus dem Netz oder der Last

Varistoren sind unabhängig der Art der zu schaltenden Last anwendbar und haben keinen Einfluss auf die Funktion der angeschlossenen Last.

Bitte beachten Sie, dass defekte Halbleiterbausteine von Garantieleistungen ausgeschlossen sind!

Die Wärmezeugung des Thyristorstellers liegt bei ca. 1,5 Watt / Ampere geschalteter Last. Die angegebenen Temperaturen dürfen dabei nicht überschritten werden. Wir empfehlen Ihnen unsere nachfolgend aufgelistetes Zubehör an Kühlkörpern.

Sie finden diese in unserem komfortablen Onlineshop unter [www.pohltechnik.com](http://www.pohltechnik.com)

### Belegung der Anschluss terminals:

Terminals Last (Klemmen A1 bis C2): M4 Schraubterminal  
 Verwenden Sie zur Konnektierung nur 4,2mm Gabelschuhe od. Ringösen. Ab 25A Last nur Ringösen.  
 Terminals Steuerspannung (Klemmenblock blau): Schraubterminal  
 Verwenden Sie Cu-Litze mit max. Drahtquerschnitt 0,75qmm, konfektioniert mit Aderendhülsen.



### Empfohlene Varistoren:

Für Lasten 230VAC: Varistor 275 V-Typ (Varistorspannung / 1mA) Art.-Nr. EB-25  
 Für Lasten 400VAC: Varistor 440 V-Typ (Varistorspannung / 1mA)  
 Je nach Anwendungen, können andere Volt-Typen zur Anwendung kommen)

## Anhang 12.13: Thyristorsteller Datenblatt

### Berechnung der schaltbaren Nennlast:

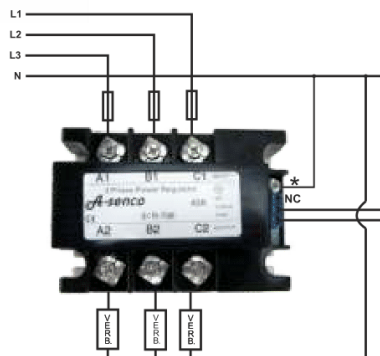
Versch. Lasten produzieren beim Einschalten hohe Einschalt-Stromspitzen. Um eine Überlastung des Stellers zu vermeiden, finden Sie nachstehend einige beispielhafte Angaben zur Auslegung. Diese sind unverbindliche Richtwerte und können ggf. auch stark abweichen.

Beispiel: Wertangabe 0,8 bedeutet:  
Der im Datenblatt je nach Modelltyp angegebene max. Laststromwert (beispielhaft 40A), darf im Fall einer Glühbirne  $40A \times 0,8 = 32 A$  betragen.

Lasttyp	Faktor
Rein ohmsche Last ohne erhöhten Einschaltstrom	1
Glühbirne	0,8
1-Phasen Motor	0,12/0,24
3-Phasen-Motor	0,18/0,33

### Anschlussschema:

(beispielhaft für Sternschaltung)



Steuersignal  
4-20mA (SCR-706)  
oder  
0-10V DC (SCR-707)  
\* N muss immer hier  
angeschlossen sein  
(Drahtquerschnitt ca.  
0,5 qmm)!!!  
NC = not connected  
(Kein Kontakt)

### Technische Daten:

	Modelltyp: SCR-	
	706	707
Max. Laststrom	40A AC	40A AC
Eingangsspannungsbereich	200 VAC ...440VAC pro Phase	
Frequenzbereich	47 ...63 Hz	
Spannungsabfall am Ausgang	< 1,5 V	
Ausschalten bei Nulldurchgang	ja	
Steuerstrom in mA	4 - 20mA	—
Steuerspannung in Volt	—	0 - 10V
Wärmeerzeugung kontinuierlich / Ampere Last	1,2 ...1,5 Watt	
Zulässige Umgebungstemperatur	-25°C ...+50°C	
Zulässige max. Bauteiltemperatur	-25°C ...+60°C	
Spannungsfestigkeit zwischen Eingang und Ausgang	2500 V AC 1 Minute	

### Sicherheitshinweise:

- ➔ Bauen Sie den Steller in verschraubte zugelassene Gehäuse ein. Beim Einbau in Schaltschränke oder ähnlichen Gehäusen ist Schutzart IP20 durch eine zusätzliche Bauteilabdeckung herzustellen (nicht im Lieferumfang enthalten). Achten Sie auf eine ausreichende Wärmeabfuhr über die metallische Kontaktfläche.
- ➔ Bei Schaltung größerer Lasten besteht die Möglichkeit einer schädlichen Auswirkung auf das vorhandene Stromnetz. Klären Sie mit Ihrem Netzlieferant die Zulässigkeit der Verwendung von Phasenanschnittsteuerungen in der von Ihnen gewünschten Leistung ab.
- ⚠ ➔ Zur Integration von SCR-Stellern in steuertechnische Prozesse kann eine individuelle Gefahrenanalyse notwendig sein. Beachten Sie in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass bei Ausfall von Halbleiterstellern (sog. Durchlegieren) in der Regel die Last kontinuierlich durchgeschaltet bleibt. Besteht die Möglichkeit, dass bei Ausfall des SCR-Thyristorstellers eine Gefahr entsteht, sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich (z. B. Sicherheitsabschaltung).
- ➔ Benutzen Sie den Thyristorsteller nicht in explosionsgefährdeter Atmosphäre oder in der Nähe brennbarer Flüssigkeiten oder Gase.
- ➔ Diese Bedienungsanleitung setzt eine Qualifikation im Umgang mit el. Betriebsmitteln voraus. Wenden Sie sich an Ihren örtlichen Elektroinstallateur, falls Sie keine fachliche Qualifikation besitzen!
- ➔ Bedenken Sie, dass ein unqualifizierter Umgang mit Strom Schmerzen, bleibende gesundheitliche Schäden oder Ihren Tod zur Folge haben kann. Zu den Folgen des Todes informieren Sie sich in Ihrer Bibel.

Bitte beachten Sie bei der Entsorgung, das SCR entsprechend der Elektronikschrottverordnung dem Recycling zugeführt werden. Bitte erkundigen Sie sich nach der am Betriebsstandort zum Zeitpunkt der Entsorgung gültigen abfalltechnischen Behandlung bei Ihrer zuständigen kommunalen Behörde.

### Vertrieb / Kundendienst Deutschland:

Pohltechnik.com GbR  
Schnaitbergstraße 4  
D-73457 Essingen  
info@pohltechnik.com  
0049 7365 964942-0 Tel.  
0049 7365 964942-9 Fax

Trotz sorgfältiger Erstellung dieser Anleitung können Fehler in der Dokumentation, insbesondere durch techn. Änderungen nicht ausgeschlossen werden. Wir freuen uns über Verbesserungsvorschläge und Anregungen, welche die Verständlichkeit unserer Produkte erhöhen und sind dankbar für Ihre Nachricht per Mail.

Sämtliche Rechte, bleiben dem Verfasser Pohltechnik vorbehalten. Das Kopieren und Verbreiten dieses Dokuments, zum gewerblichen Gebrauch, insbesondere das Bereitstellen im Internet außerhalb unseres Verantwortungsbereiches, erfordert eine schriftliche Genehmigung des Verfassers. Die Entfernung dieses Hinweises, sowie eine Veränderung des Dokuments mit dem Ziel einer weiteren Verbreitung der darin enthaltenen Informationen ist nicht gestattet. Der Verfasser behält sich die kostenpflichtige Abmahnung u. ggf. Schadenersatzforderungen bei Verstößen vor. Evtl. darüber hinaus gehende Rechte an beigefügten Unterlagen werden durch diesen Hinweis nicht berührt.

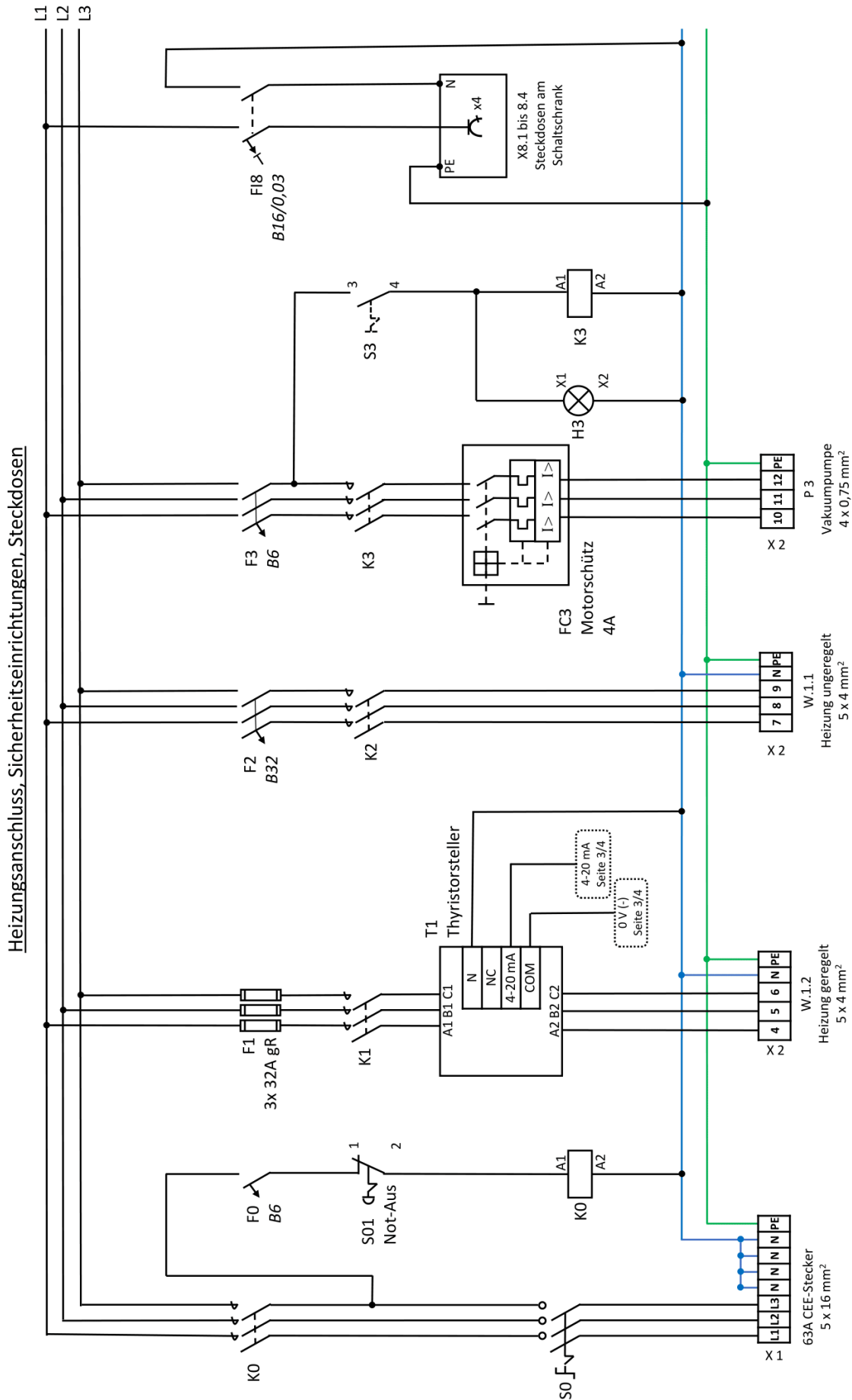
[www.Pohltechnik.com](http://www.Pohltechnik.com)

Preiswert ● Industriequalität ● Techn. Service ● Tel. Beratung z. Normaltarif ● Einbau- u. Fertigergeräte

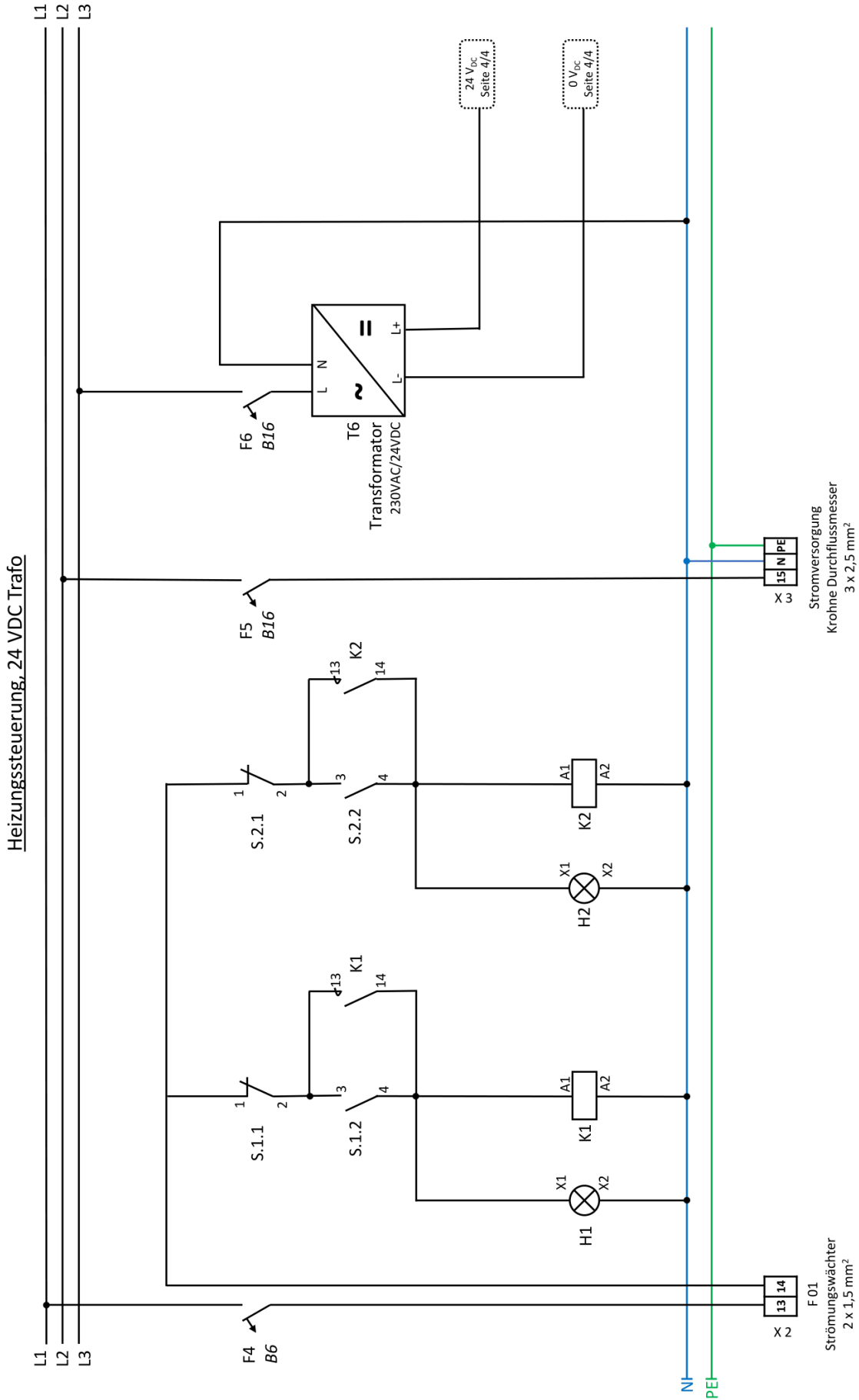
Art.-Nr.: SCR-706-707

Betriebsanleitung: Ausgabe 20181222

Seite 02

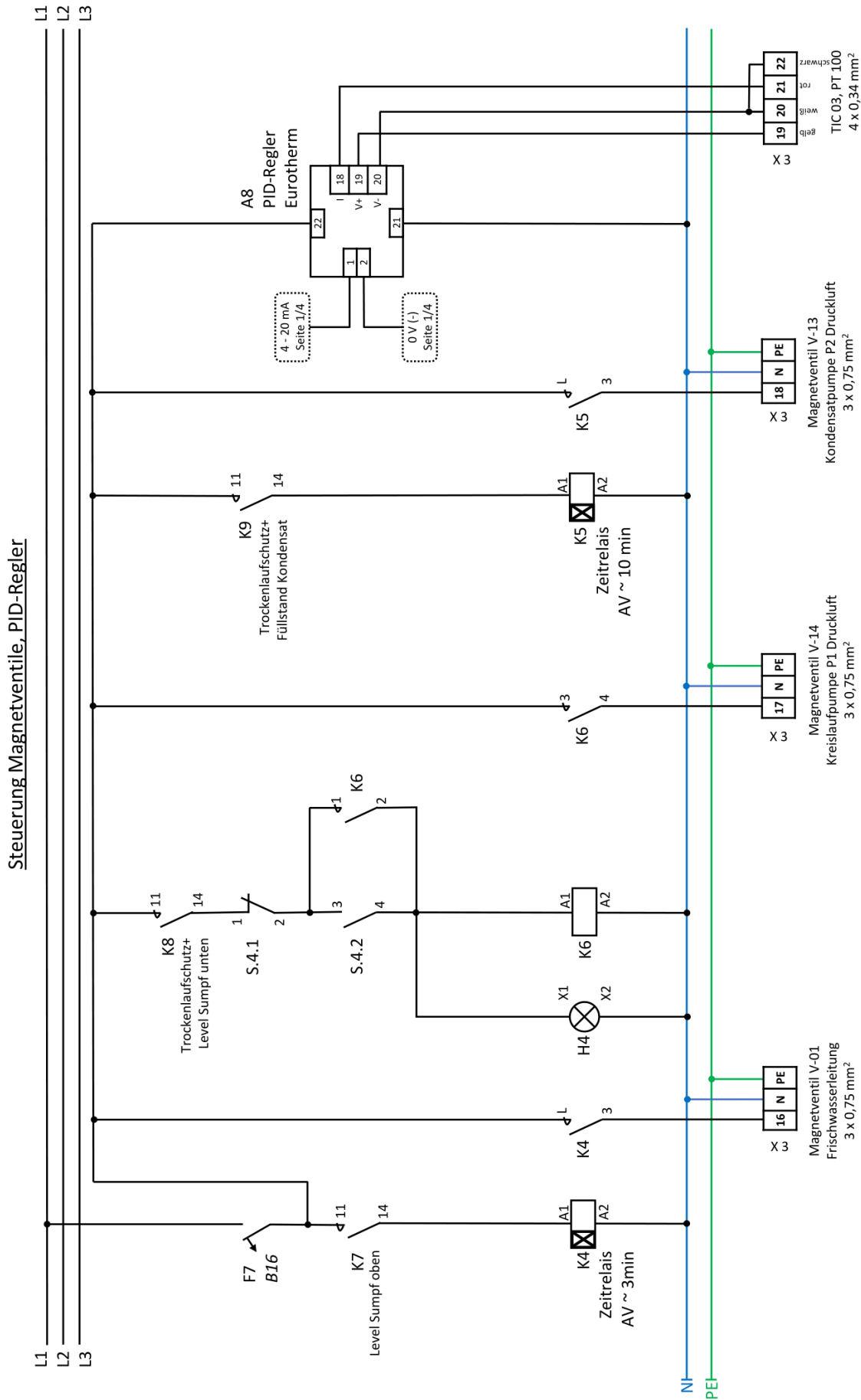


<b>Stromlaufplan EVERDA und Komponentenliste</b>	Erstellt von: <b>Julian Schlegel, Johannes Schlien</b>	Erstellungsdatum: <b>2022-11-16</b>	Hochschule Offenburg offenburg.university
	Geprüft von: <b>Christoph Wieland</b>	Zuletzt geändert: <b>2022-12-15</b>	Seite: <b>1 / 5</b>



<b>Stromlaufplan EVERDA und Komponentenliste</b>	Erstellt von: <b>Julian Schlegel, Johannes Schlien</b>	Erstelldatum: <b>2022-11-16</b>	<b>Hochschule Offenburg</b> offenburg.university
	Geprüft von: <b>Christoph Wieland</b>	Zuletzt geändert: <b>2022-12-15</b>	

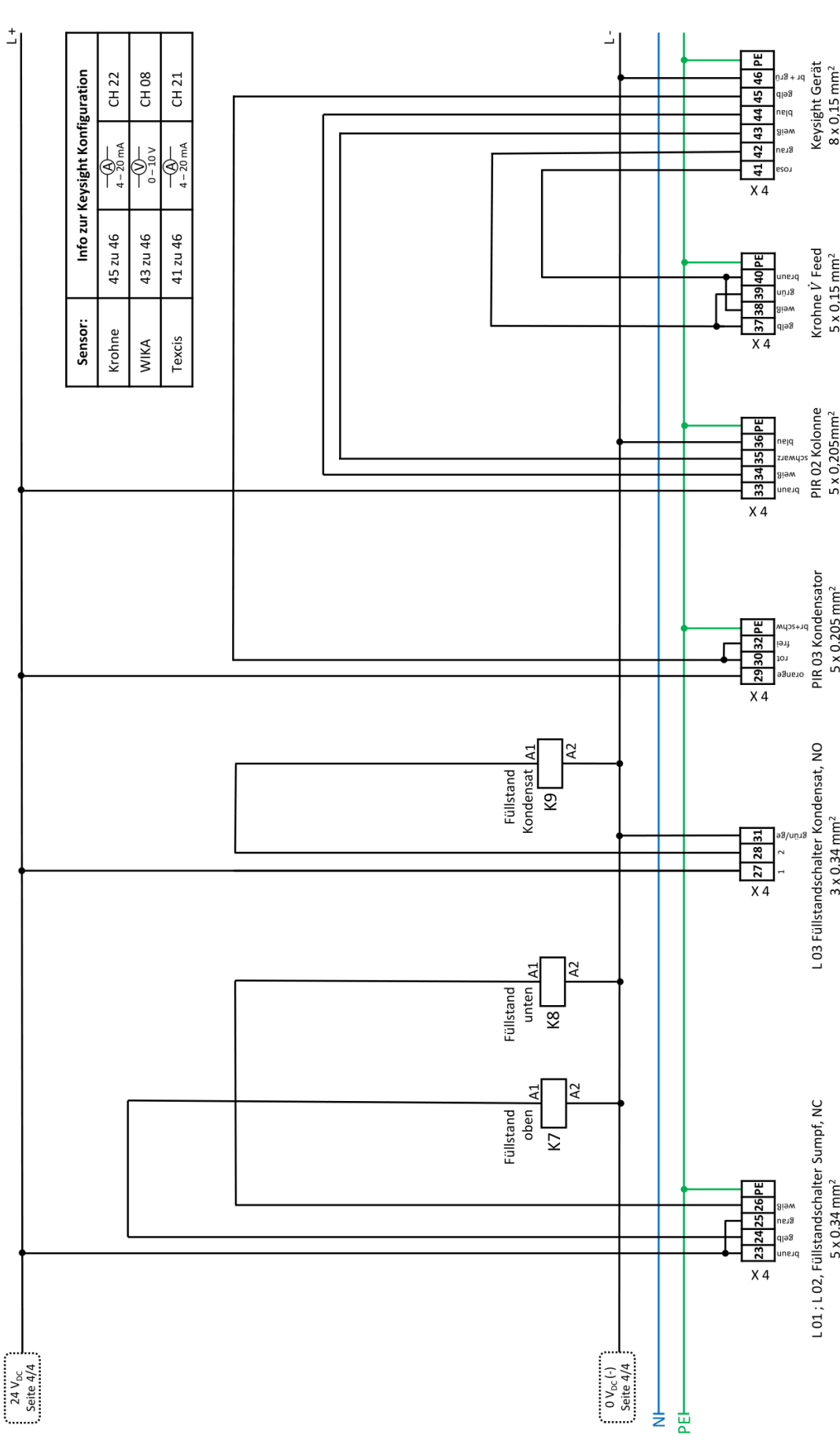
# Anhang 12.14: Stromlaufplan EVERDA und Komponentenliste



<b>Stromlaufplan EVERDA und Komponentenliste</b>	Erstellt von: <b>Julian Schlegel, Johannes Schlien</b>	Erstelldatum: <b>2022-11-16</b>	<b>Hochschule Offenburg</b> offenburg.university
	Geprüft von: <b>Christoph Wrieland</b>	Zuletzt geändert: <b>2022-12-15</b>	



Sensorenanschluss, Keysight Kommunikation




24 V<sub>DC</sub>  
Seite 4/4

0 V<sub>DC</sub> (-)  
Seite 4/4

<p><b>Stromlaufplan EVERDA und Komponentenliste</b></p>	<p>Erstellt von: <b>Julian Schlegel, Johannes Schlien</b></p>	<p>Erstelldatum: <b>2022-11-16</b></p>	<p>Hochschule Offenburg offenburg.university</p>
	<p>Geprüft von: <b>Christoph Wieland</b></p>	<p>Zuletzt geändert: <b>2022-12-15</b></p>	

Komponentenliste

<u>Bauteil:</u>	<u>Bezeichnung:</u>	<u>Hersteller:</u>	<u>Produktschlüssel:</u>	<u>Beschreibung:</u>	<u>Spezifikation:</u>	<u>Öffner/Schließer/Wechsler</u>
Sonstige	A8	Eurotherm	Typ 94/94C	PID: Heiz/Kühiregler	230 VAC	
Sicherungen	F0	ABB	S201-B6	Hauptsicherung	230VAC, 6A, 1 polig	
	F1	FCHFE	RT18-63X	Schmelzsicherungshalter	500VAC, 1 polig	
	F1	FCHFE	RS16	Keramik Sicherungseinsatz	680 VAC, 10A, 14,3 x 5,1mm, gR, 3 Stück	
	F2	ABB	S202-B32	Sicherungsautomat	400VAC, 32A, 3 polig	
	F3	ABB	S201-B6	Sicherungsautomat	230/400VAC, 6A, 1 polig	
	F4	ABB	S201-B6	Sicherungsautomat	230/400VAC, 6A, 1 polig	
	F5	ABB	S261-B16	Sicherungsautomat	230/400VAC, 16A, 1 polig	
	F6	ABB	S261-B16	Sicherungsautomat	230/400VAC, 16A, 1 polig	
Motorschütz	F7	ABB	S261-B16	Sicherungsautomat	230/400VAC, 16A, 1 polig	
	F8	ABB	DS201-B16/0,03	Fehlerstrom Schutz	B16/0,03	
Lampen	FC3	Moeller	Z00-6	Motorschütz	Einstellung auf 4 A	
	H1	Moeller	EF	Lampe	230 VAC	
	H2	Moeller	EF	Lampe	230 VAC	
	H3	Moeller	EFR	Lampe	231 VAC	
Relais	H4	Moeller	EF	Lampe	230 VAC	
	K0	ABB	ESB63-40	Hauptschütz	230 VAC	3 Schließer
	K1	Telemecanique	LC1D18	Relais	230 VAC, 1ph / 230 VAC, 3ph	3+1 Schließer
	K2	Telemecanique	LC1D18	Relais	230 VAC, 1ph / 230 VAC, 3ph	3+1 Schließer
	K3	Moeller	22DILM	Relais	230 VAC / 230 VAC	3+2 Schließer
	K4	Eltako	MFZ12NP-230V+UC	Multifunktions-Zeitrelais	230 VAC / 230 VAC	1 Schließer
	K5	Eltako	MFZ12NP-230V+UC	Multifunktions-Zeitrelais	230 VAC / 230 VAC	2 Schließer
	K6	Eltako	ES12-200	Relais	230 VAC / 230 VAC	2 Schließer
	K7	Finder	39.31.0.024.0060	Koppelrelais	24 VDC / 230 VAC	1 Wechsler
	K8	Finder	39.31.0.024.0060	Koppelrelais	24 VDC / 230 VAC	1 Wechsler
Schalter und Taster	K9	Finder	39.31.0.024.0060	Koppelrelais	24 VDC / 230 VAC	1 Wechsler
	S0	EATON	P3-63	Hauptschalter	bis 690 VDC, 63 A	3 Schließer
	S01	Moeller	EK01	Not-Aus Schalter	bis 500 VDC	1 Öffner
	S1.1	Moeller	EK01	Taster	bis 250 VDC	1 Öffner
	S1.2	Moeller	EK10	Taster	bis 250 VDC	1 Schließer
	S3	EATON	M22-K10	Knebelschalter	bis 500 VDC	1 Wechsler
	S3.1	Moeller	EK01	Taster	bis 250 VDC	1 Öffner
	S3.2	Moeller	EK10	Taster	bis 250 VDC	1 Schließer
	S4.1	Moeller	EK01	Taster	bis 250 VDC	1 Öffner
	S4.2	Moeller	EK10	Taster	bis 250 VDC	1 Schließer
Transformatoren	T1	Pohntechnik	SCR706	Thyristorsteller	4-20 mA Eingang, Phasenanschnittsbetrieb	
	T6	Siemens	6EP1332-1SH43	Trafo	230VDC/24VAC	

<b>Stromlaufplan EVERDA und Komponentenliste</b>	Erstellt von: <b>Julian Schlegel, Johannes Schlien</b>	Erstelldatum: <b>2022-11-16</b>	 <b>Hochschule Offenburg</b> offenburg.university
	Geprüft von: <b>Christoph Wieland</b>	Zuletzt geändert: <b>2022-12-15</b>	

