

Masterarbeit

Aufbau und Inbetriebnahme einer Versuchsanlage zur CO₂- Absorption

erstellt für

Institut für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes

Austrian Energy & Environment AG & Co KG

Vorgelegt von:

Alexander Ratz BSc
m0235065

Betreuer/Gutachter:

Dipl.-Ing. Dr. David Wappel
Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Draxler

Leoben, 10. Mai 2012

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

DANKSAGUNG

Für die gute Betreuung und Unterstützung bei meiner Masterarbeit möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Dr. David Wappel sowie Herrn Prof. Dr. Josef Draxler herzlich bedanken.

Der größte Dank gilt aber meinen Eltern, meiner Familie sowie meiner Frau, die mich zu jeder Zeit unterstützt haben und ohne die es nicht möglich gewesen wäre, mein Studium erfolgreich durchzuführen und abzuschließen.

Kurzfassung

Aufbau und Inbetriebnahme einer Versuchsanlage zur CO₂-Absorption

Es gibt starke Beweise dafür, dass die steigende atmosphärische CO₂-Konzentration aufgrund der Nutzung fossiler Energieträger eine der Hauptursachen für den globalen Klimawandel darstellt. Deshalb müssen die Emissionen in die Luft verringert werden. Neben Wirkungsgradverbesserung und dem Ausbau erneuerbarer Energien wird auch CCS in Betracht gezogen. CCS steht für „Carbon Capture and Storage“ und dient als Sammelbegriff für Techniken zur Abtrennung und anschließender Speicherung von Kohlendioxid aus Kraftwerksabgasen.

Die vorliegende Arbeit beschreibt den Aufbau und die Inbetriebnahme einer Versuchsanlage, die nach dem Post-Combustion-Verfahren arbeitet. Unter Post-Combustion versteht man das Abtrennen – in diesem Fall durch Absorption – von CO₂ nach der Verbrennung. Die Anlage besteht im Wesentlichen aus einem Vorwäscher zur Restentschwefelung, der Absorptions- und der Desorptionskolonne sowie einem Container zur Unterbringung der Steuerung. Mit Hilfe der Versuchsanlage wurde die Möglichkeit geschaffen, neue Absorptionsmittel direkt an einem Kraftwerk zu testen. Zu diesem Zweck wurde die gesamte Anlage auf einem transportablen Rahmen montiert und am Kohlekraftwerk in Dürnröhr in Betrieb genommen.

Abstract

Construction and start up of a pilot plant for CO₂-absorption

There is strong evidence that the rising atmospheric CO₂-concentration due to burning of fossil fuels is one of the main causes for the global climate change. Therefore CO₂-emissions have to be reduced. Beside efficiency improvement and expanding the use of renewable sources also CCS has to be considered. CCS stands for "Carbon Capture and Storage". This collective term includes technologies to separate and store carbon dioxide produced in power plants.

The present work describes the construction and the start up of a pilot plant according to the post combustion method. Post-combustion is the capture – in this case by absorption - of CO₂ after burning the fuel. The pilot plant mainly consists of a pre-scrubber for desulphurisation and the two columns for absorption and desorption. With this pilot plant it is possible to test new solvents for the CO₂-absorption under real conditions directly in a power station. For this purpose the whole arrangement was mounted on a transportable frame and put into operation at the coal-fired power station in Dürnröhr.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	3
1.1 Problemstellung	9
1.2 Zielsetzung	9
2 MÖGLICHKEITEN ZUR MINDERUNG DER CO₂-EMISSIONEN	10
2.1 Carbon Capture and Storage (CCS)	11
2.1.1 Verfahren zur CO ₂ -Abscheidung	12
3 THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	16
3.1 Absorption.....	16
3.1.1 Absorptionsmittel:	17
3.1.2 Bauformen von Absorptionsapparaten	18
3.1.3 Arbeitsdiagramme	20
3.2 Desorption	21
4 HAUPTTEIL (PRAKTISCHER TEIL)	22
4.1 Technische Kurzbeschreibung der Versuchsanlage	23
4.2 Ausführung und Funktionsbeschreibung.....	25
4.2.1 Rauchgasweg.....	27
4.2.1.1 Rauchgasübernahme und -filter	28
4.2.1.2 Gebläse, Volumenstromregelung	30
4.2.1.3 Vorwäscher W1	32
4.2.1.4 Volumenstrommessung, Messblende	34
4.2.1.5 Wäscher W2, CO ₂ -Absorption	35
4.2.2 Waschmittelkreislauf.....	37
4.2.3 Absorptionsmittelkreislauf.....	39
4.2.3.1 Absorbersumpftank T2	40
4.2.3.2 Wärmeübertrager WT 2.1.....	41
4.2.3.3 Desorberkolonne W3.....	43
4.2.3.4 Sumpftank T3	44

4.2.3.5	Pufferbehälter T4.....	46
4.2.3.6	Wärmeübertrager WT 2.2.....	47
4.2.3.7	Bypassleitungen.....	48
4.2.4	CO ₂ -Starkgas, Wasserdampfabscheidung.....	49
4.2.5	Füllkörper und Flüssigkeitsverteiler.....	51
4.2.6	Pumpen.....	52
4.2.7	Mess- und Regeltechnik.....	54
4.2.7.1	Temperaturmessung.....	54
4.2.7.2	Druckmessung.....	55
4.2.7.3	Füllstandsmessung.....	55
4.2.7.4	Durchflussmessung.....	55
4.2.7.5	Messgasanalyse.....	57
4.2.7.6	Regelkreise.....	59
4.2.8	Konzept der Störungsüberwachung.....	62
4.2.9	Anlagenschnittstellen.....	65
4.2.10	Beschreibung der Steuerungsanlage.....	65
4.2.10.1	Schutzmaßnahmen.....	65
4.2.10.2	Verteilung.....	67
4.2.10.3	Ansteuerung.....	71
4.2.10.4	Störungsmeldung.....	75
4.2.11	Analogsignalverwaltung.....	80
4.2.12	Messdatenerfassung.....	81
4.3	Inbetriebnahme.....	83
4.3.1	Arbeitsanleitung zur Bedienung der Anlage.....	87
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	94
6	VERZEICHNISSE.....	97
6.1	Literatur.....	97
6.2	Abkürzungsverzeichnis.....	98
6.3	Tabellen.....	100
6.4	Abbildungen.....	100
ANHANG.....

1 Einleitung

Die Begriffe Klimawandel und Globale Erwärmung werden längst nicht mehr nur unter Wissenschaftlern diskutiert. Durch immer neue Berichte von abschmelzenden Eismassen, zunehmenden Unwettern, Überschwemmungen und ständig neuen Hitzerekorden sind die Veränderungen des Klimageschehens auch für die breite Öffentlichkeit greifbar.

Schon vor über Hundert Jahren hat Arrhenius erstmals auf den Zusammenhang einer erhöhten Kohlendioxidkonzentration durch Nutzung fossiler Energieträger und einer zu erwartenden globalen Erwärmung hingewiesen [1]. Diese Vermutung wurde durch den letzten Synthesebericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) bestätigt, demnach die Hauptursache für die steigende Temperatur mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf den vom Menschen verstärkten Treibhauseffekt zurückzuführen ist [2].

Der Wärmehaushalt der Erde wird durch die Sonneneinstrahlung und die Strahlungsbilanz bestimmt. Abbildung 1 zeigt die in die Atmosphäre ein- und austretenden Energieflüsse sowie deren Änderungen aufgrund von Absorption, Reflektion und Streuung.

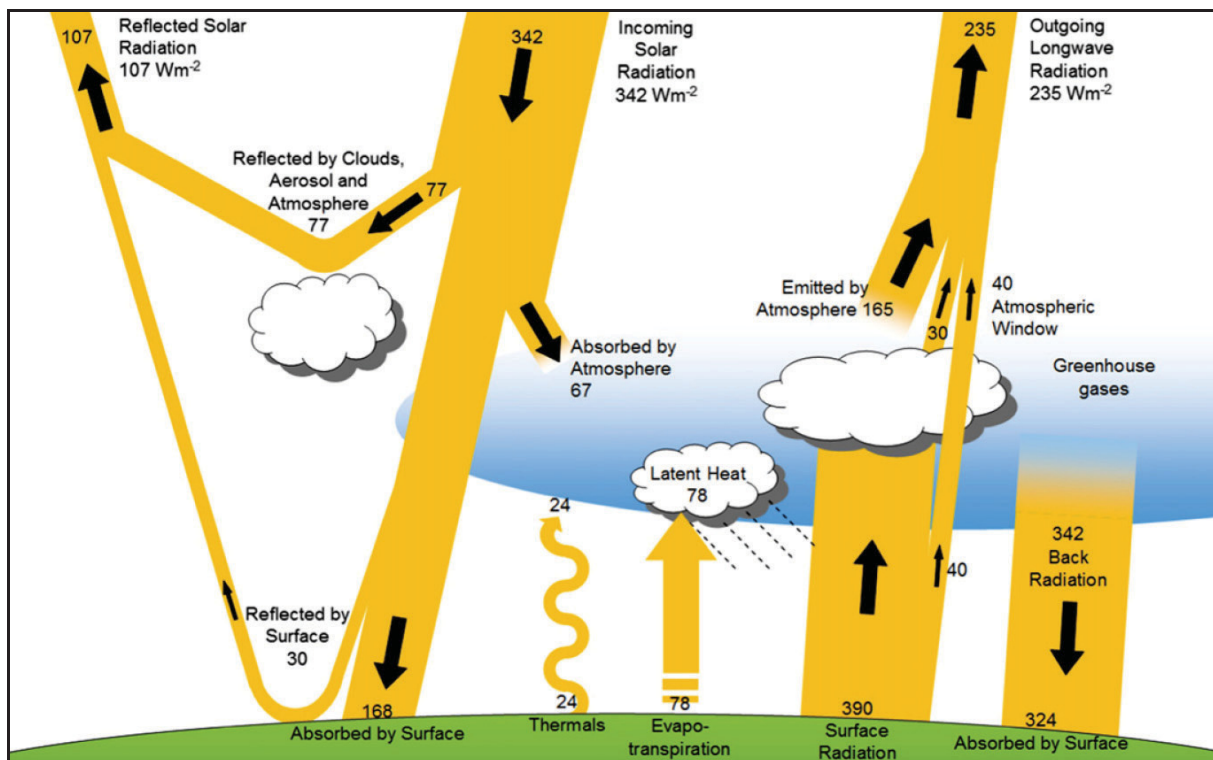


Abbildung 1: Strahlungsbilanz und Treibhauseffekt [3]

Von der einfallenden Solarstrahlung werden letztendlich etwa 50 % von der Erdoberfläche absorbiert, wodurch die elektromagnetische Strahlung in Wärmestrahlung umgewandelt wird.

Der natürliche Treibhauseffekt beruht darauf, dass die kurzwellige Strahlung der Sonne relativ ungehindert die Atmosphäre passiert, während die von der Erdoberfläche abgestrahlte langwellige Energie zum Großteil absorbiert und teilweise wieder zurückgestrahlt wird. Dieser Vorgang ist lebensnotwendig und hat zur Folge, dass sich eine mittlere globale Durchschnittstemperatur von ca. 15 °C einstellt [1].

Verantwortlich dafür ist das wellenlängenabhängige Absorptionsverhalten der einzelnen atmosphärischen Gase (Treibhausgase). Zu den wichtigsten Treibhausgasen zählen Wasserdampf (H₂O), Kohlendioxid (CO₂), Ozon (O₃), Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄). Durch menschliche Aktivitäten verändert sich die Zusammensetzung der Atmosphäre. Vor allem durch die intensive Nutzung fossiler Energieträger und Emissionen in der Landwirtschaft nimmt die Konzentration der Treibhausgase immer weiter zu. Diese Zunahme führt zu einer Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes der Erde und damit zu einer weiteren Erwärmung über die genannten 15 °C hinaus. Der Beitrag der einzelnen Spurengase zum Klimawandel hängt neben der Lage des jeweiligen Absorptionsspektrums auch vom Ausmaß der Konzentrationsveränderung, dem spezifischen Treibhauspotential und der mittleren atmosphärischen Verweilzeit ab. Tabelle 1 liefert einen Überblick über Eigenschaften und Veränderungen der wichtigsten anthropogenen Klimagase [1, 4].

Tabelle 1: Eigenschaften und Veränderungen anthropogener Klimagase [1]

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Anthropogene Emissionen pro Jahr 1990-2006	28928 Mio. t	239 Mio. t	8,6 Mio. t
Wichtigste Quellen	Nutzung fossiler Energien, Waldrodungen, Abbau von Biomasse	Nutzung fossiler Energien, Viehhaltung, Reisanbau	Viehhaltung, Düngemittel, mikrobielle Denitrifikation
Konzentration vorindustriell (bis 1750)	278-285 ppm	0,4-0,7 ppm	0,27 ppm
Konzentration 2005	379 ppm	1,77 ppm	0,32 ppm
Mittlere Verweildauer in der Atmosphäre	Abhängig von der Konzentration (ca. 120a)	12a	114a
Relatives molekulares Treibhauspotential (100a)	1	21	310
Beitrag zum natürlichen Treibhauseffekt	26 %	2 %	4 %
Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt	76,7 %	14,3 %	7,9 %
Strahlungsantrieb 2005	1,66 W/m ²	0,48 W/m ²	0,16 W/m ²

Während der natürliche Treibhauseffekt im Wesentlichen auf Wasserdampf (Anteil > 3/5) zurückzuführen ist, wird der anthropogene Treibhauseffekt (zusätzliche, durch den Menschen bedingte Erwärmung) hauptsächlich durch CO₂ (> 3/5), CH₄ (< 1/5) aber auch N₂O und O₃ verursacht [5].

Die atmosphärischen Konzentrationen von CO₂, Methan und Lachgas sind seit 1750 signifikant gestiegen. Die derzeitigen Werte übersteigen die aus Eisbohrkernen über viele Jahrtausende ermittelten Daten bei Weitem.

Kohlendioxid gilt als das wichtigste anthropogene Treibhausgas. Seit der vorindustriellen Zeit ist die Kohlendioxidkonzentration von 280 ppm auf über 385 ppm im Jahr 2008 gestiegen. Danach beläuft sich der vom Menschen verursachte Anteil auf mehr als 100 ppm. Die derzeitige Konzentration ist höher als jemals in den vergangenen 800.000 Jahren. Wobei auch die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Kohlendioxidkonzentration von 1,4 ppm/a in den 90er Jahren auf 1,9 ppm/a zwischen den Jahren 2000 und 2008 gestiegen ist [6].

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der globalen CO₂-Konzentration sowie der CH₄-Konzentration am Mauna Loa Observatorium auf Hawaii.

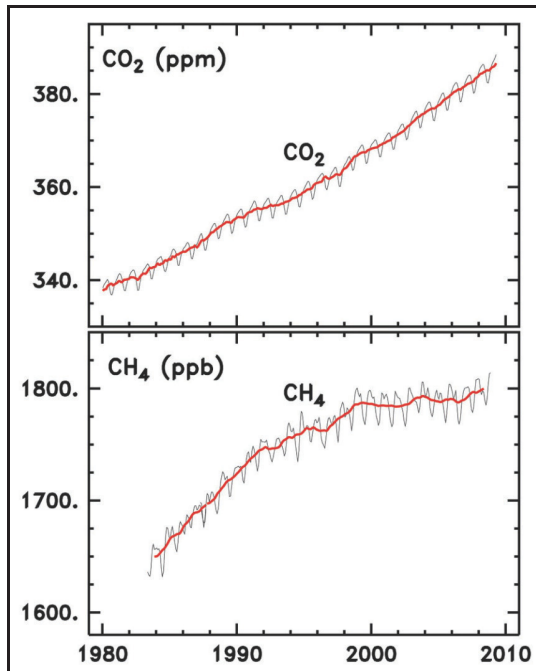


Abbildung 2: Verlauf der CO₂- und CH₄-Konzentration [6]

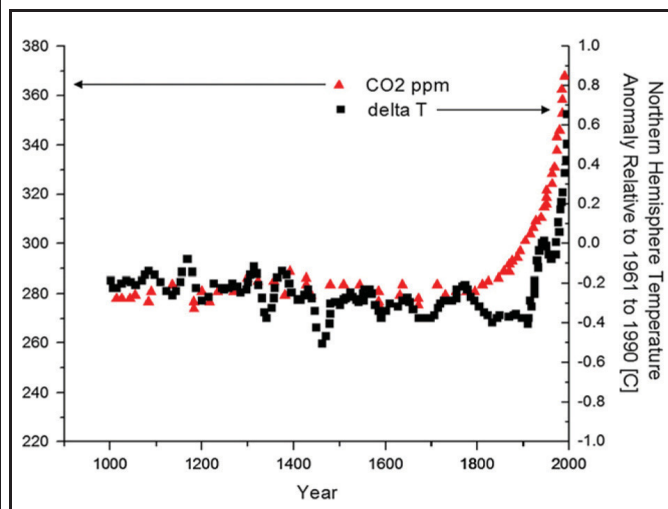


Abbildung 3: Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration und der globalen Durchschnittstemperatur [3]

Der Zusammenhang zwischen den gestiegenen Treibhauskonzentrationen und der globalen Erwärmung im letzten Jahrhundert ist beinahe zwingend (siehe Abbildung 3) und wird vom IPCC als sehr wahrscheinlich (Wahrscheinlichkeit größer 90 %) angesehen. Seit Ende des 19. Jahrhunderts sind die jährlichen Durchschnittstemperaturen in der nördlichen Hemisphäre um etwa 0,7 °C gestiegen. Elf Jahre aus dem Zeitraum zwischen 1995 und 2006 zählen zu den zwölf wärmsten Jahren seit Beginn der instrumentellen Aufzeichnung der globalen Erdoberflächentemperatur [2].

Neben der Veränderung der atmosphärischen Zusammensetzung gelten auch die Veränderung der Landnutzung und Vegetation auf der Erdoberfläche als wichtige Ursachen für den anthropogenen Klimawandel. Durch großflächige landwirtschaftliche Nutzung, Waldrodungen und Urbanisierung werden beispielsweise Kohlendioxidsenken verringert und die direkte Reflektionsfähigkeit der Erdoberfläche verändert [1]. Jedoch wird der Großteil des beobachteten Temperaturanstiegs seit Mitte des 20. Jahrhunderts der Zunahme von Treibhausgasen aufgrund der Nutzung fossiler Energieträger zugeschrieben.

Laut IPCC wird davon ausgegangen, dass bei den derzeitigen Klimaschutzpolitiken die globalen Emissionen von Treibhausgasen in den nächsten Jahrzehnten weiterhin zunehmen werden. Zur Prognostizierung der zukünftigen Klimaveränderungen werden komplexe Klimamodelle verwendet. Diese Modelle berücksichtigen nicht nur die komplizierten Vorgänge in der Atmosphäre, sondern auch die Einflüsse der Ozeane und Eismassen. Daraus abgeleitete Prognosen hängen sehr stark von den getroffenen Annahmen wie der wirtschaftlichen und technischen Entwicklung und den damit verbundenen zukünftigen Treibhausgasemissionen ab. Als weiterer erschwerender Faktor kommen Wechselwirkungen und Rückkopplungsprozesse zwischen den einzelnen Komponenten des Klimasystems hinzu, wodurch diese Vorhersagen mit großen Unsicherheiten belegt sind [4].

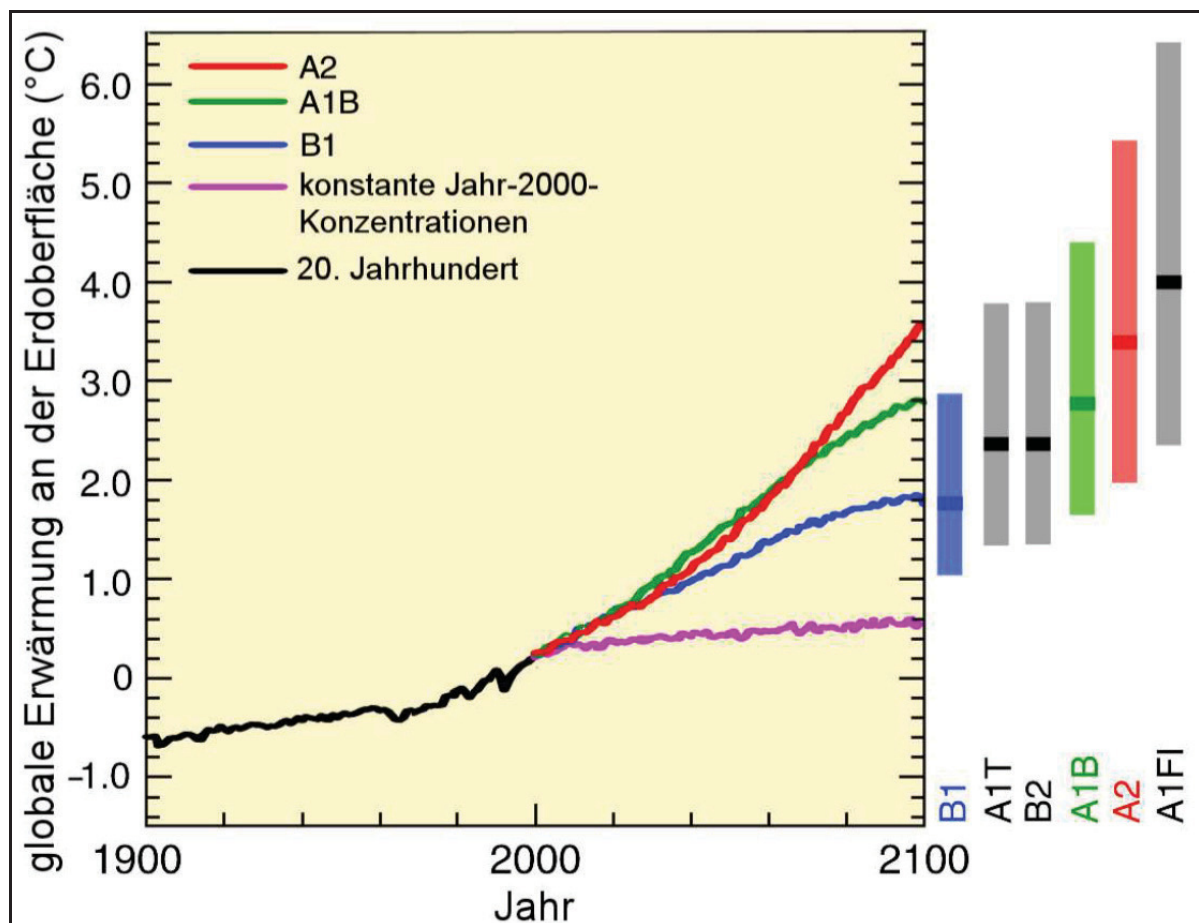


Abbildung 4: Szenarien des globalen Temperaturverlaufs [2]

Abbildung 4 zeigt die Prognosen zur globalen Klimaveränderung aus dem vierten Gesamtbericht des IPCC. Demnach wird die mittlere globale Temperatur bis 2100 je nach Szenario um 1,8 °C bis 4 °C (wahrscheinlichste Werte) gegenüber 1980-1999 zunehmen. Die größte Erwärmung wird auf Landoberflächen und in den hohen nördlichen Breiten prognostiziert. Die wahrscheinlichen Auswirkungen einer solchen Erwärmung wären sehr umfangreich: Abnahme der Schnee- und Eisbedeckung, Zunahme der Auftautiefe in Permafrostregionen, Erhöhung des Meeresspiegels, Hitzewellen und Dürren, Zunahme von Unwetterphänomenen usw. [2].

Die vom IPCC getroffene Annahme einer weiter steigenden Nutzung fossiler Energieträger wird durch neueste Statistiken zum weltweiten Primärenergieverbrauch bestätigt. Abbildung 5 stellt den Primärenergieverbrauch in Mio. Tonnen Öl äquivalenten von 1971 bis 2009 dar.

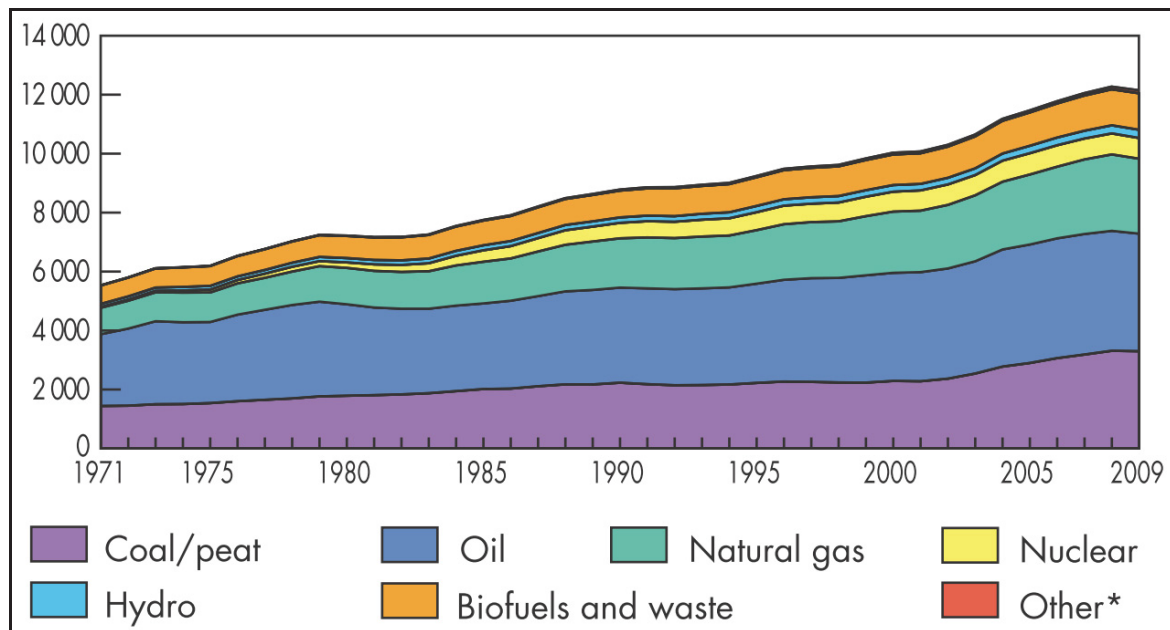


Abbildung 5: Weltweiter Primärenergieverbrauch in Mio. Tonnen Öl äquivalenten [7]

Der leichte Rückgang im Jahr 2009 ist auf einen geringeren Verbrauch der Industriestaaten aufgrund der Finanzkrise zurückzuführen. Im Jahr 2010 wurde Aufwärtstrend wieder fortgesetzt und über 12 Mrd. Tonnen Rohöleinheiten an Energierohstoffen verbraucht. Dies entspricht einer Steigerung von ca. 5,6 % gegenüber 2009 und der stärksten Wachstumsrate seit 1973. Der Zuwachs war sowohl für fossile Energieträger als auch für Atomenergie, Wasserkraft und erneuerbare Energien über dem Durchschnitt [8].

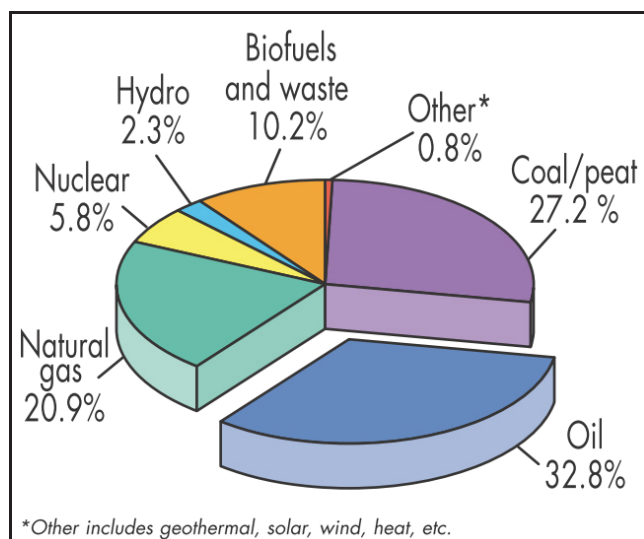


Abbildung 6: Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch 2009 [7]

Während der Gesamtverbrauch immer weiter ansteigt, ändert sich an der anteilmäßigen Zusammensetzung nur wenig. Nach wie vor beträgt der Anteil der fossilen Energieträger über 80 % (siehe Abbildung 6). Der 10%ige Anteil an „Biofuels and Waste“ geht auf Biomasse, Biogas und -treibstoffe sowie auf industrielle und kommunale Abfälle zurück. Den Großteil an erneuerbaren Energien trägt mit 2,3 % Wasserkraft.

Durch den Anstieg des Primärenergieverbrauchs und dem unverändert hohen Anteil an fossilen Energieträgern folgt, dass auch die CO₂-Emissionen einen neuen Höchststand erreicht haben. Obwohl Kohle nur ca. ein Viertel zum Energieverbrauch beiträgt, liegt ihr Beitrag zur weltweiten CO₂-Emission bei 43 %. Dies geht auf den hohen Kohlenstoffanteil pro erzeugter Energieeinheit zurück. Ein Vergleich mit Gas zeigt, dass Kohle beinahe doppelt so viele Emissionen bei einem vergleichbaren Anteil am Primärenergieverbrauch (Total Primary Energy Supply - TPES) erzeugt (siehe Abbildung 7) [9].

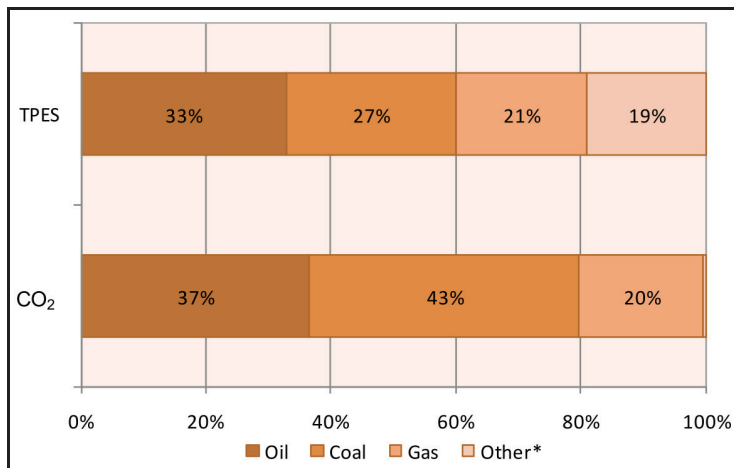


Abbildung 7: Anteile der Energieträger an CO₂-Emissionen [9]

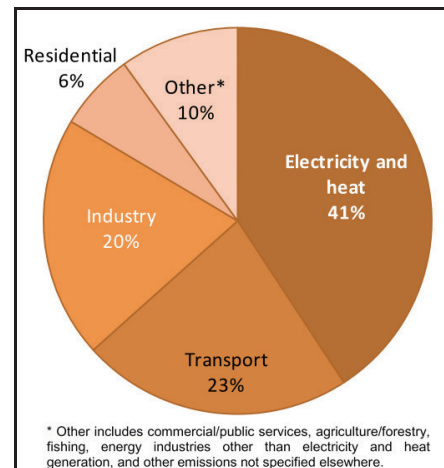


Abbildung 8: Anteile der versch. Sektoren an CO₂-Emissionen [9]

Nach Sektoren betrachtet sind Wärme- und Stromproduktion sowie Transport die Hauptverursacher an Kohlendioxidemissionen. Während für Transport vorrangig Erdöl eingesetzt wird, dient Kohle hauptsächlich der Strom- und Wärmeherzeugung. In Ländern wie China, Indien, Polen und Südafrika werden zwischen 68 % und 94 % des Strom- und Wärmebedarfs mit Kohle gedeckt. Weiters füllt Kohle einen Großteil des stark steigenden Energiebedarfs aufstrebender Entwicklungsländer wie China und Indien. Dieser Trend wird sich in den nächsten Jahren aufgrund der hohen Kohlevorkommen in diesen Ländern kaum ändern [9].

Angesichts dieser Tatsachen rechnet die Internationale Energieagentur (IEA) in ihren Szenarien mit einer Zunahme des Energieverbrauchs von einem Drittel zwischen 2010 und 2035, wobei 90 % des Wachstums auf Nicht-OECD-Länder entfällt. China wird seine Stellung als derzeit größter Energieverbraucher weiter festigen und 2035 um 70 % mehr verbrauchen als die USA. In anderen Entwicklungsländern wie Indien, Brasilien und im Nahen Osten wird der Energieverbrauch sogar noch schneller wachsen. Ebenfalls wird eine weiter steigende Nachfrage nach allen fossilen Brennstoffen vorhergesagt. Der Anteil am Primärenergieverbrauch soll allerdings leicht zurückgehen von 81 % 2009 auf 75 % 2035 [10].

1.1 Problemstellung

Es gibt starke Beweise dafür, dass die steigende atmosphärische CO₂-Konzentration aufgrund der Nutzung fossiler Energieträger eine der Hauptursachen für den globalen Klimawandel darstellt. Dies hat zu der Erkenntnis geführt, dass die Emissionen in die Luft verringert werden müssen. Um dieses Ziel zu erreichen, werden verschiedene Möglichkeiten – wie beispielsweise Wirkungsgradverbesserung, Ausbau erneuerbarer Energien und auch CCS – in Betracht gezogen. CCS steht für „Carbon Capture and Storage“ und dient als Sammelbegriff für Techniken zur Abtrennung und anschließender Speicherung von Kohlendioxid aus Kraftwerksabgasen. Wie aus dem letzten Kapitel hervorgeht, ist es in den nächsten Jahrzehnten aufgrund der hohen Abhängigkeit nicht möglich, den Einsatz fossiler Brennstoffe im erforderlichen Maße zu verringern. Deshalb wird CCS von vielen Fachleuten als eine Brückentechnologie angesehen, um Zeit für eine grundlegende Energiewende zu gewinnen. Obwohl diese Technik in anderen Industriezweigen schon länger verwendet wird, ist der Einsatz in großen Kraftwerken noch in der Entwicklungsphase.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Masterarbeit war es, durch Mithilfe bei Planung, Aufbau und Inbetriebnahme einer mobilen Versuchsanlage zur CO₂-Abscheidung eine Anlagenbeschreibung sowie eine Arbeitsanleitung zur Bedienung der Anlage zu erstellen. Durch diese Arbeit soll die Grundlage für die effektive Durchführung von weiteren Versuchen geschaffen werden. Mit Hilfe der Pilotanlage sollen neue Absorptionsmittel unter realen Bedingungen an einem Kraftwerksstandort getestet werden.

2 Möglichkeiten zur Minderung der CO₂-Emissionen

Das vorhergehende Kapitel macht unmissverständlich klar, dass dringend Gegenmaßnahmen getroffen werden müssen, um die Auswirkungen des Klimawandels auf ein beherrschbares Maß zu begrenzen. In diesem Zusammenhang wird sehr oft vom 2-Grad-Ziel gesprochen. Darunter versteht die Limitierung des mittleren globalen Temperaturanstiegs auf 2 °C durch Stabilisierung der atmosphärischen CO₂-Konzentration auf ungefähr 450 ppm. Dadurch könnten die schlimmsten Auswirkungen vermieden werden. Um dieses Ziel überhaupt noch zu erreichen, ist schnelles und entschiedenes Handeln erforderlich. Dies gilt auch in Bezug auf die Kosten, denn die wirtschaftlichen Auswirkungen einer ungebremsten Erderwärmung wären erheblich. Je eher die weltweiten Emissionen gesenkt werden können, umso geringer werden die Kosten für notwendige Klimamaßnahmen [11].

Die wichtigsten Ansätze um die Treibhausemissionen zu verringern sind:

- Wirkungsgradverbesserung, sowohl erzeugungsseitig als auch verbrauchsseitig
- Ausbau erneuerbarer Energien wie zB Wasserkraft, Sonnenenergie, Gezeitenkraft, Geothermie, Wind und Biomasse
- Ausbau von Atomenergie
- Ersatz von Kohle durch Gas - Wechsel auf Energieträger mit günstigerem Wasserstoff/Kohlenstoffverhältnis
- Carbon Capture and Storage (CCS)

Atomenergie stellt wegen der Endlager- und Sicherheitsproblematik - speziell nach den Ereignissen in Fukushima 2011 – keine zufriedenstellende Lösung dar. Wirkungsgradverbesserung und der Ausbau erneuerbarer Energien erscheinen aus umwelttechnischen Gesichtspunkten die besten Möglichkeiten. Aufgrund der Dimension der notwendigen Emissionsreduktion können jedoch einzelne Ansätze alleine nicht ausreichen. Vielmehr muss eine Strategie aus den verschiedenen Möglichkeiten entwickelt werden, um die geforderten Ziele zu erreichen. Dabei müssen Kosten, Umweltauswirkungen, die zeitliche Verfügbarkeit der neuen Technologien sowie deren Einsatzpotential abgewogen werden [3].

Aufgrund der Struktur der derzeitigen Energieversorgung sowie der starken Abhängigkeit von fossilen Energieträgern kann eine grundlegende Energiewende nur schrittweise erfolgen. Deshalb werden CCS-Technologien in den kommenden Jahrzehnten ein notwendiger Bestandteil in der Bekämpfung des Klimawandels sein. Im 450-Szenario der Internationalen Energieagentur (IEA), welches die Erreichung des 2-Grad-Ziels beinhaltet, tragen diese Technologien mit einem Fünftel der erforderlichen Emissionsreduktion eine entscheidende Rolle [10].

2.1 Carbon Capture and Storage (CCS)

Unter Carbon Capture and Storage versteht man Technologien zur Abscheidung und anschließender langzeitiger Speicherung von Kohlendioxid aus Abgasen. Die Hauptanwendungsgebiete sind große ortsfeste Emissionsquellen wie beispielsweise Kohle- und Gaskraftwerke zur Stromerzeugung, aber auch Erdölraffinerien sowie Stahl- und Zementwerke (siehe Abbildung 9).

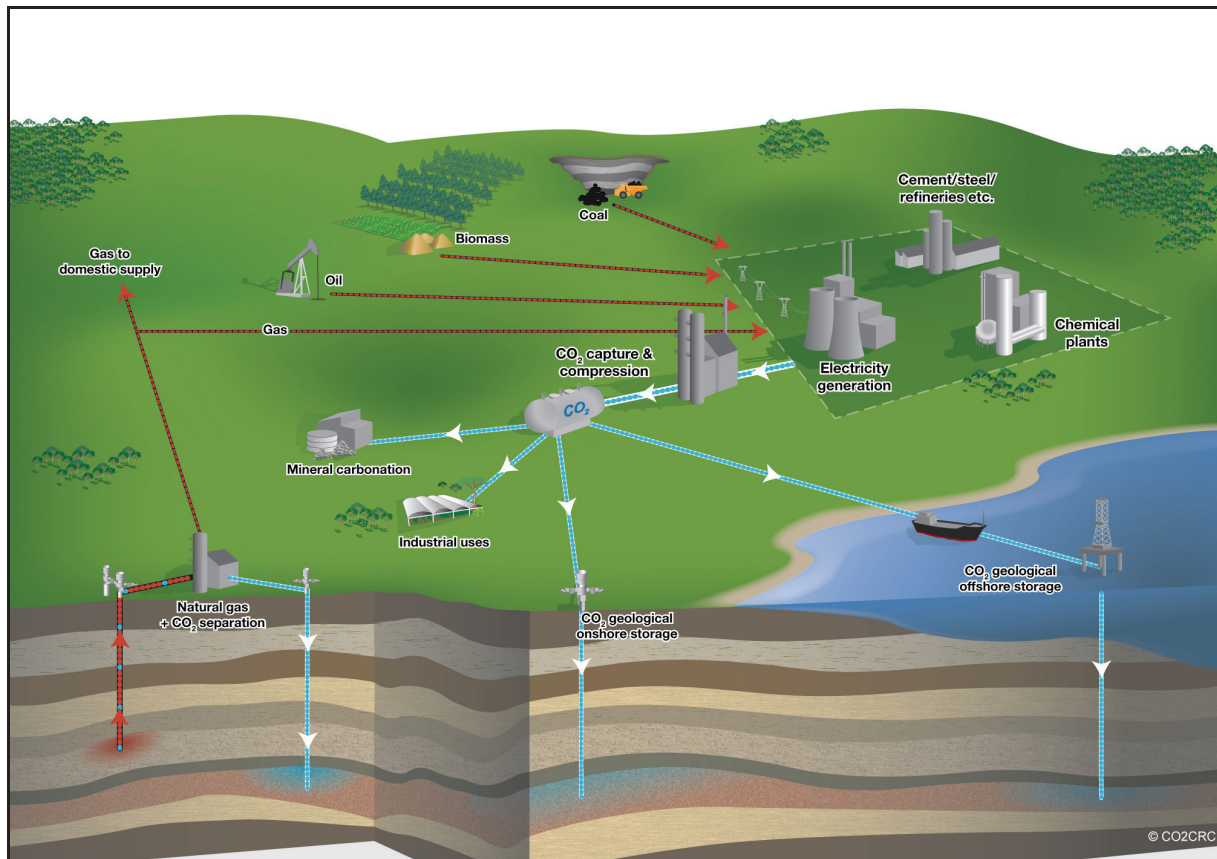


Abbildung 9: Schematische Darstellung möglicher CCS-Konzepte [12]

Die CCS-Prozesskette besteht aus drei Teilschritten:

- **Abscheidung:** Hierbei soll das gasförmig vorliegende CO₂ von anderen Abgasbestandteilen getrennt werden. Grundsätzlich werden derzeit drei Methoden zur Abscheidung unterschieden (siehe Kapitel 2.1.1).
- **Transport zur Speicherstätte:** Nach der Abscheidung wird das Kohlendioxid für den weiteren Weg auf über 80 bar verdichtet. Theoretisch kann CO₂ mit Tankwaggons, Schiffen und Pipelines transportiert werden. Aufgrund der großen Mengen an anfallendem CO₂ stellen jedoch Pipelines die einzig kosteneffektive Möglichkeit dar [13].
- **Speicherung:** Dieser Schritt in der Prozesskette hat entscheidende Bedeutung, denn nur wenn das CO₂ langfristig gelagert werden kann, hat diese Technologie überhaupt einen Sinn. Als mögliche Speicherstätten kommen erschöpfte Erdöl- und Erdgaslagerstätten, tiefe saline Aquifere und nicht abbaubare Kohleflötze in Frage.

Für alle drei Möglichkeiten muss die Dichte des gespeicherten Kohlendioxids hoch sein, um die Lagerstätte effizient zu nutzen. Deshalb wird die Speicherung in Tiefen ab ca. 800 m vorgesehen, wo der Druck so hoch ist, dass das CO₂ im überkritischen Zustand bleibt [13].

Auch die stoffliche Verwertung von CO₂ wird derzeit diskutiert. So könnte CO₂ als Ausgangsstoff für verschiedene Wertstoffe wie zB Methanol, Urethane, Tenside und Harnstoffe eingesetzt werden. Aber auch die Verwendung für chemische Reinigung, in Feuerlöschern, Kühlgeräten sowie Spraydosen wäre möglich. Schätzungen gehen jedoch davon aus, dass grundsätzlich weniger als ein Prozent und maximal fünf Prozent der anfallenden CO₂-Emissionen in Produktkreisläufe eingebunden werden können [14].

Verfahren zu den drei Prozessschritten sind bereits seit mehreren Jahrzehnten aus verschiedenen Industriezweigen bekannt. Beispielsweise wird in der Erdölbranche schon seit den 1970er Jahren Kohlendioxid in Lagerstätten verpresst, um die Erdölausbeute zu erhöhen. Diese Technik wird als „Enhanced Oil Recovery“ (EOR) bezeichnet. Allerdings wurden Aspekte wie Langzeitverhalten und Zuverlässigkeit (Leckagen) bei dieser Technik bisher kaum beachtet. Weder Verfahren zur Abscheidung noch zur Speicherung sind derzeit für Ströme in der geforderten Größenordnung verfügbar, wodurch noch großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht. Der Zeitpunkt an dem die gesamte CCS-Kette (Abtrennung, Transport und Lagerung) kommerziell einsatzbereit sein wird, wird nach derzeitigen Schätzungen zunehmend erst in den Jahren 2025 – 2030 erwartet [13, 14].

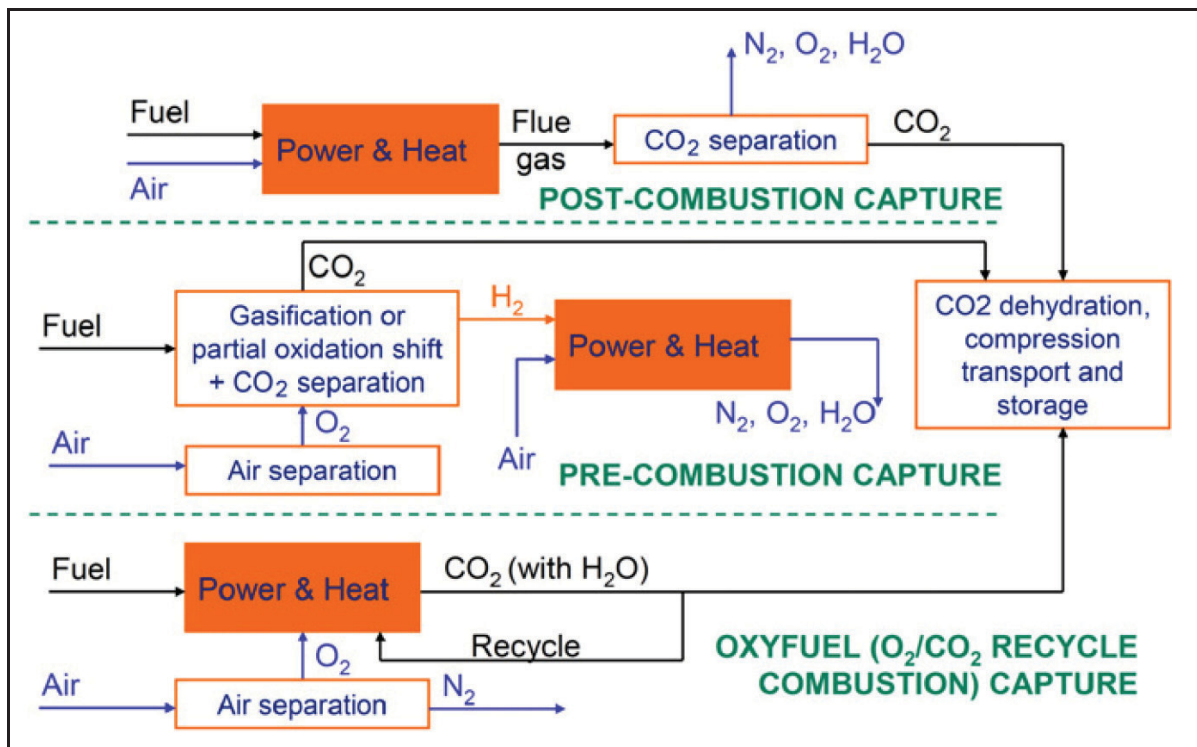
2.1.1 Verfahren zur CO₂-Abscheidung

Je nachdem an welcher Stelle im Kraftwerksprozess die Abtrennung integriert wird, unterscheidet man drei prinzipielle Ansätze (siehe Abbildung 10):

- Verfahren zur Abscheidung nach der Verbrennung (Post-combustion capture)
- Verfahren zur Abscheidung vor der Verbrennung (Pre-combustion capture)
- Verbrennung mit Reinsauerstoff (Oxyfuel-combustion)

Bei all diesen Verfahren muss das abgetrennte CO₂ anschließend für Transport und Speicherung dehydriert und komprimiert werden.

Weiters haben alle Verfahren einen beträchtlichen Energieverbrauch, wodurch der Wirkungsgrad der gesamten Anlage geringer wird. Dies führt zu einem Mehrverbrauch an endlichen Ressourcen mit allen damit verbundenen Folgen. Aus diesem Grund ist die Minimierung des Energiebedarfs für die Abtrennung und Verdichtung von CO₂ ein wesentlicher Faktor gegenwärtiger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Abbildung 10: Grundlegende Verfahren zur CO₂-Abscheidung bei Kraftwerken [15]

Post-Combustion Capture:

Die größte Anzahl von Forschungsprojekten bezieht sich derzeit auf das Post-Combustion-Verfahren. Der Vorteil bei dieser Technik ist, dass sie nur geringfügig in den bestehenden Anlagenprozess eingreift und somit auch zur Nachrüstung an bestehenden Kraftwerken geeignet ist.

Beim Post-Combustion-System wird das CO₂ nach der Verbrennung aus dem Rauchgas abgetrennt. Im Prinzip kann dieses Verfahren für jede Art von Brennstoff eingesetzt werden, jedoch ist die Rauchgaszusammensetzung ein wichtiges Kriterium bezüglich Auslegung und Kosten. Die Abgase konventioneller Kraftwerke weisen – aufgrund der Verbrennung mit Luft – CO₂-Konzentrationen von ca. 3-15 Vol-% auf und liegen meist bei atmosphärischem Druck vor. Dies erschwert eine wirtschaftliche Abtrennung, da große Gasvolumen mit geringem CO₂-Anteil behandelt werden müssen [14].

Als mögliche Abscheidungsprinzipien werden Absorption, Adsorption und Membranverfahren genannt. Von diesen drei Möglichkeiten stellt die Absorption die am weitesten entwickelte Technologieroute dar. Insbesondere gilt die chemische Absorption in wässrigen Aminlösungen als derzeit energie- und kosteneffektivstes Trennverfahren für Post-combustion capture. Dabei nutzt man die reversible Natur der chemischen Reaktion dieser Aminlösungen mit sauren Gasen. Kommerziell erhältliche Absorbentien wie Monoethanolamin (MEA), Diethanolamin (DEA) und Methyldiethanolamin (MDEA) sind aktiv genug, um einen Einsatz unter den gegebenen Bedingungen zu ermöglichen [16].

Abbildung 11 zeigt das Anlagenschema eines Kohlekraftwerks mit einer amin-basierten Post-combustion-Abscheidung. Abgase aus Kohlefeuerungen enthalten weitere saure Bestandteile wie NO_x und SO₂. Diese Gaskomponenten würden ähnlich wie CO₂ mit dem Absorptionsmittel reagieren. Da diese Reaktionen jedoch irreversibel sind, wäre ein ständiger Verlust von Absorptionsmittel die Folge. Weiters könnte Flugasche und Ruß zur Verstopfung des Absorbers führen. Aus diesem Grund sind bei einem Kohlekraftwerk die vorgeschalteten Abgasreinigungsanlagen (Entstickung, Entstaubung und Entschwefelung) für den Betrieb der CO₂-Abscheidung zwingend erforderlich [16].

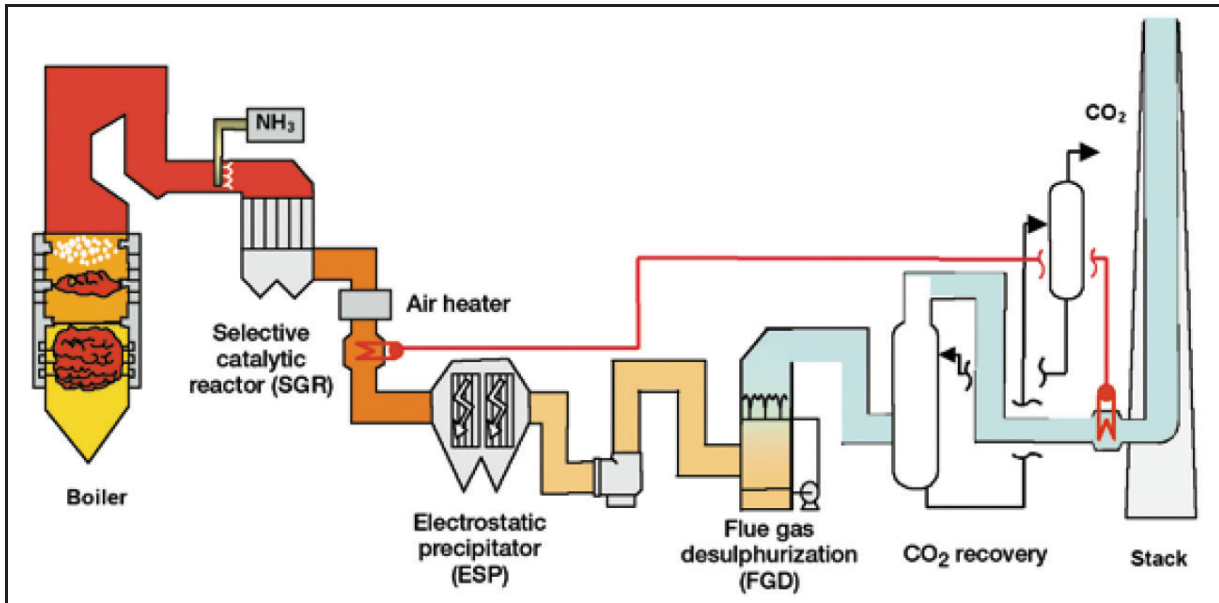
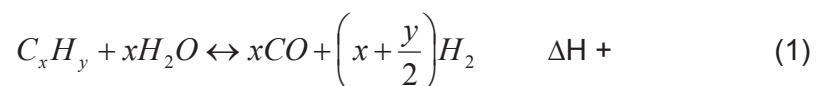


Abbildung 11: Anlagenschema eines Kohlekraftwerks mit Post-Combustion-Abscheidung [16]

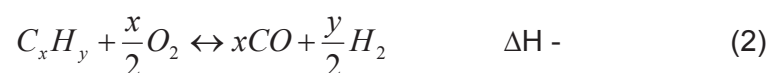
Pre-Combustion Capture:

Bei diesem Verfahren wird zunächst ein Synthesegas, das hauptsächlich aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) besteht, hergestellt. Möglichkeiten für diesen Schritt sind Steam-Reforming oder partielle Oxidation/ Vergasung [16].

Steam Reforming:



Partielle Oxidation:



Danach wird durch Zugabe von Dampf in einem Shift-Reaktor das CO zu CO₂ und H₂ umgesetzt. Diese leicht exotherme Reaktion ist als Wassergas-Shift-Reaktion bekannt.



Anschließend kann das CO₂ aus dem CO₂/H₂-Gasgemisch abgetrennt werden. Im Gegensatz zum Post-Combustion-Verfahren ist hier – aufgrund des höheren Druckes (ca. 2-7 MPa) und der höheren CO₂-Konzentration – die Abtrennung mit deutlich weniger Energieaufwand durchführbar [16].

Das Pre-Combustion-Verfahren ist vor allem für IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) Kraftwerke interessant. Bei diesen Kraftwerken wird Kohle vergast und mit dem entstehenden Synthesegas eine Gasturbine sowie eine Dampfturbine betrieben. Jedoch gibt es aufgrund der Komplexität und der hohen Investitionskosten erst wenige nach diesem Prinzip arbeitende Demonstrationskraftwerke.

Oxyfuel Combustion:

Beim Oxyfuel-Verfahren wird der Brennstoff mit nahezu reinem Sauerstoff anstelle von Luft verbrannt. Um zu hohe Verbrennungstemperaturen zu verhindern, wird ein Teil des entstehenden Abgases in die Brennkammer zurückgeführt. Durch die Verbrennung mit Sauerstoff ergibt sich ein Abgas, das im Wesentlichen aus CO₂ und Wasserdampf besteht. Durch einfaches Abkühlen kann der Wasserdampf auskondensiert werden. Problempunkt bei dieser Technologie ist die energie- und kostenintensive Bereitstellung des erforderlichen Sauerstoffes durch kryogene Luftzerlegung.

3 Theoretische Grundlagen

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Erstellung einer Versuchsanlage zur CO₂-Abscheidung nach dem Post-Combustion-Verfahren. Als Trennverfahren wird die Absorption eingesetzt, weshalb in diesem Kapitel näher auf die Grundlagen dieser Grundoperation der thermischen Verfahrenstechnik eingegangen wird.

3.1 Absorption

Unter dem Begriff Absorption versteht man das Lösen gasförmiger Stoffe (Absorptive) in einer Flüssigkeit (Absorbens, Waschmittel). Die beladene Waschflüssigkeit wird als Absorbat und die darin gebundene Komponente als Absorpt bezeichnet. Mit Hilfe dieser Grundoperation ist es möglich Gasmischungen zu trennen [17].

Um das Waschmittel und die absorbierten Komponenten wieder zu trennen, wird die Absorption im Regelfall mit einer Regeneration kombiniert. Vorrangig eingesetzte Trennverfahren hierfür sind die Destillation und die Desorption. Das Lösungsmittel wird somit im Kreis geführt und kann wieder zur Absorption verwendet werden (siehe Abbildung 12) [17].

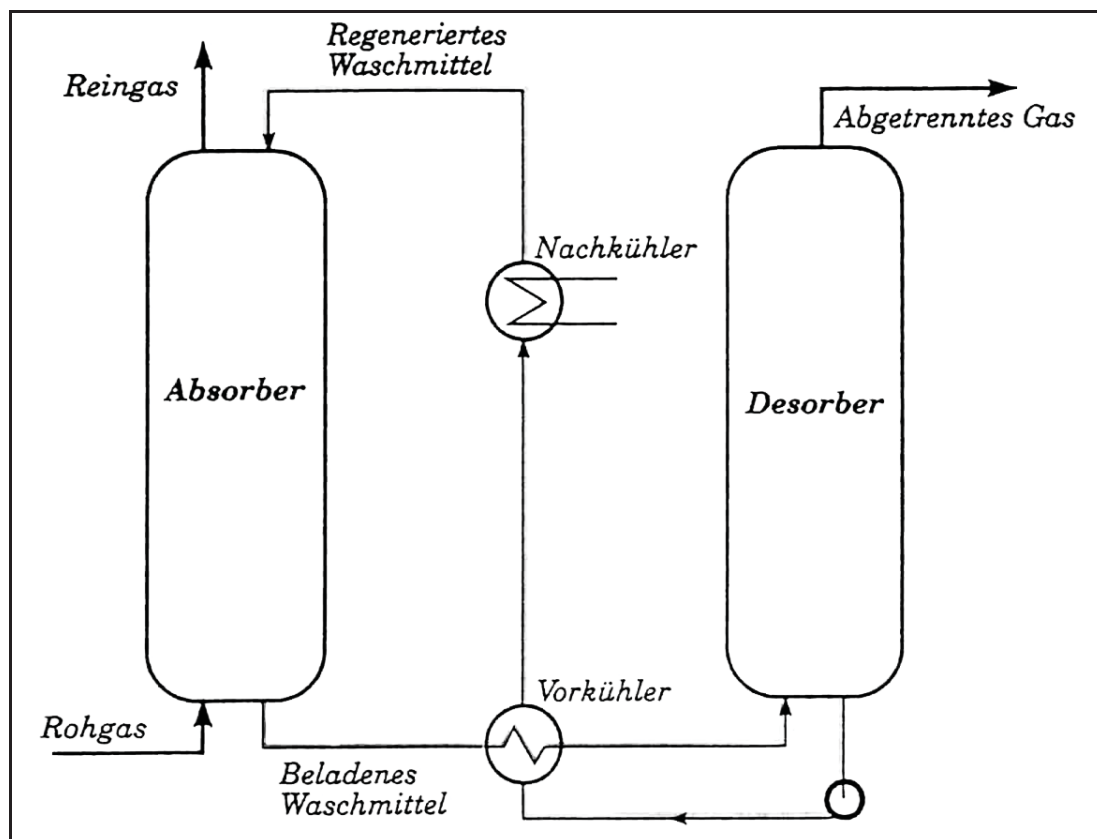


Abbildung 12: Schematische Darstellung einer Absorptionsanlage mit Regeneration [17]

Man unterscheidet zwischen physikalischer Absorption (reine Löslichkeit des Absorptivs im Absorbens) und chemischer Absorption. Bei der chemischen Absorption enthält das Waschmittel Substanzen die mit den zu absorbierenden Stoffen chemisch reagieren. Dies führt zu einer erhöhten Aufnahmefähigkeit des Waschmittels. Erster Schritt ist aber auch

hierbei eine physikalische Absorption, die anschließend von einer chemischen Reaktion überlagert wird. Diese Reaktion kann irreversibel oder auch reversibel sein und im letzteren Fall beispielsweise durch Temperaturerhöhung wieder rückgängig gemacht werden [17, 18].

3.1.1 Absorptionsmittel:

Die Wahl des Lösungsmittels spielt bei Absorptionsprozessen eine entscheidende Rolle, da sie maßgebend zur energetischen und ökonomischen Effizienz des Verfahrens beiträgt.

Allgemeine Kriterien zur Absorptionsmittelwahl sind [17]:

- Selektivität des Waschmittels gegenüber den zu absorbierenden Komponenten
- Kapazität des Waschmittels
- Energieaufwand zu Regenerierung des Waschmittels
- niedriger Dampfdruck und Viskosität
- Korrosionsverhalten sowie weitere Eigenschaften (giftig, brennbar, Neigung zur Schaumbildung)
- Kosten

Absorptionsmittel zur CO₂-Abscheidung:

Ein wichtiger Punkt bei der Absorption von CO₂ aus Kraftwerksabgasen sind die geringen treibenden thermodynamischen Kräfte durch den niedrigen CO₂-Partialdruck. Aus diesem Grund scheiden die meisten physikalisch wirkenden Lösungsmittel aus. Chemisorptive Absorbentien sind aktiv genug, um die erforderliche Abscheidung zu erreichen, haben aber den großen Nachteil der energieintensiven Regeneration. Auch spielt die Zusammensetzung der Abgase eine entscheidende Rolle, da Stickstoffoxid- und Schwefeloxidverbindungen zu Lösungsmitteldeaktivierung führen können, wenn irreversible Reaktionen auftreten [19].

Amin				
primär		sekundär		tertiär
MEA		DEA		TEA, MDEA
Reaktionsenthalpie				
hoch	←			niedrig
Verdampfungsenthalpie				
hoch	←			niedrig
Reaktionsgeschwindigkeit				
hoch	←			niedrig
Korrosion				
hoch	←			niedrig

Abbildung 13: Eigenschaften verschiedener Aminarten [19]

Derzeit verfügbare Lösungsmittel kommen hauptsächlich aus der Gruppe der Amine. Neben dem primären Amin Monoethanolamin (MEA) kommen auch sekundäre und tertiäre Amine für die CO₂-Wäsche in Frage. Abbildung 13 zeigt die Vor- und Nachteile dieser Aminarten. MEA zeichnet sich besonders durch die hohe Reaktionsgeschwindigkeit aus. Nachteilig sind jedoch der hohe Energieaufwand der Regeneration (hohe Reaktionsenthalpie, hohe Verdampfungsenthalpie) und hohe Degradationsraten [19].

Monoethanolamin wird zur CO₂-Absorption als wässrige Lösung mit ca. 30 w% MEA eingesetzt. Die Summenformel für MEA lautet C₂H₇NO und es reagiert mit CO₂ nach folgender Reaktion [19]:



Neue Ansätze für Lösungsmittel beinhalten auch ionische Flüssigkeiten. Zweck dieser Versuchsanlage ist es im Labor ausgewählte Probekandidaten solcher Lösungsmittel direkt am Kraftwerk zu testen und mit MEA als Referenzmittel zu vergleichen. Ionische Flüssigkeiten sind organische Salze, die bei Temperaturen unter 100 °C flüssig sind. Eigenschaften wie der nicht messbare Dampfdruck und die Möglichkeit durch Variation von Kation und Anion Löslichkeitseigenschaften einzustellen, machen diese Lösungsmittel zu viel versprechenden Kandidaten für die CO₂-Abscheidung [19].

3.1.2 Bauformen von Absorptionsapparaten

Prinzipiell unterscheidet man drei verschiedene Arten, um technisch den Kontakt zwischen Gas und Waschflüssigkeit herzustellen [17]:

- Sowohl Gas als auch Waschflüssigkeit bilden zusammenhängende Phasen, deren Oberflächen miteinander in Kontakt stehen. Beispiele hierfür sind Füllkörperkolonnen, Fallfilmabsorber und Oberflächenabsorber.
- Die Waschflüssigkeit bildet eine zusammenhängende Phase, in die das Gas dispergiert wird, wie beispielsweise bei Blasensäulen und Bodenkolonnen.
- Das Gas bildet eine zusammenhängende Phase, in die die Waschflüssigkeit dispergiert wird. Möglichkeiten hierfür sind zB Sprühkolonnen und Venturiwäscher.

Zur CO₂-Abscheidung nach dem Post-Combustion-Verfahren werden derzeit vorwiegend Füllkörper- und Packungskolonnen vorgeschlagen. Auch bei der in dieser Arbeit beschriebenen Versuchsanlage wurden Füllkörperkolonnen sowohl zur Absorption als auch zur Desorption verwendet.

Füllkörperkolonnen

Dieser Kolonnentyp ist aufgrund seines einfachen Aufbaus und der zufriedenstellenden Betriebseigenschaften die am weitesten verbreitete Bauart von Absorptionsapparaten. Als Einbauten in den zylindrischen Türmen werden regellose Schüttungen speziell geformter Füllkörper verwendet. Die beiden Phasen werden im Gegenstrom geführt, wobei die Flüssigkeit am Kopf der Kolonne aufgegeben wird und durch die Schwerkraft nach unten rieselt. Das Waschmittel soll die Einbauten möglichst vollständig benetzen, um eine große Phasengrenzfläche für den Stoffübergang zu erzeugen [17].

Trotz guter Anfangsverteilung der Flüssigkeit kommt es mit zunehmender Schichthöhe zu einer ungleichmäßigen Flüssigkeitsströmung. Diese Randgängigkeit kann die Trennwirkung des Apparates wesentlich verschlechtern, weshalb in Abständen von 2-4 m sogenannte Zwischenverteilerböden eingebaut werden [17, 18].

Füllkörper

Anforderungen an die Füllkörper sind eine möglichst große Oberfläche bei gleichzeitig geringem Strömungswiderstand. Der Strömungswiderstand ist maßgebend für den Druckverlust in der Kolonne und damit auch für die Betriebskosten des Apparates. Als Materialien werden Steingut, Keramik, Kunststoff sowie Stahl und Aluminium je nach Temperatur und Eigenschaften (korrosiv etc.) der beiden Phasen eingesetzt [17, 18].

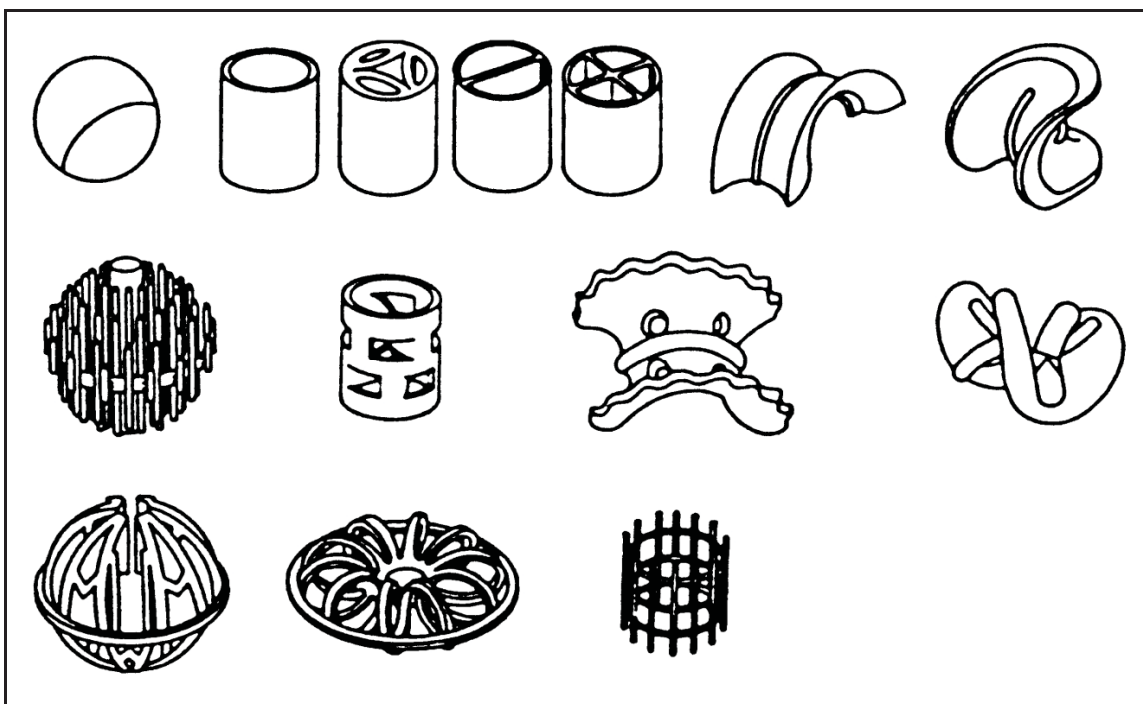


Abbildung 14: Füllkörper der ersten (oben), zweiten (Mitte) und dritten (unten) Generation [18]

Die Formen der Füllkörper lassen sich in drei Generationen einteilen (siehe Abbildung 14). Füllkörper der ersten Generation bestehen aus einfachen Formen wie Ringen und Kugeln. Jene der zweiten und dritten Generation werden immer komplexer und besitzen einen größeren freien Strömungsquerschnitt, woraus ein geringerer Druckverlust resultiert [18].

3.1.3 Arbeitsdiagramme

Arbeitsdiagramme dienen als Hilfsmittel bei der Auslegung von Absorptions- und Desorptionsapparaten, beispielsweise zur Ermittlung der minimalen Lösungsmittelmenge oder der Anzahl der erforderlichen Gleichgewichtsstufen.

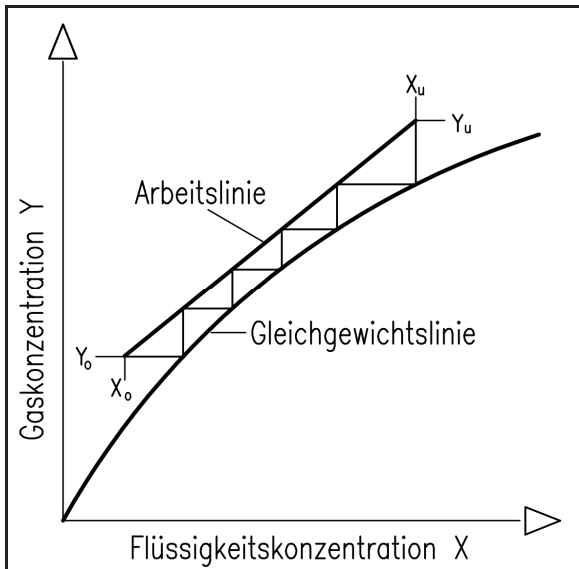


Abbildung 15: Arbeitsdiagramm Absorption [18]

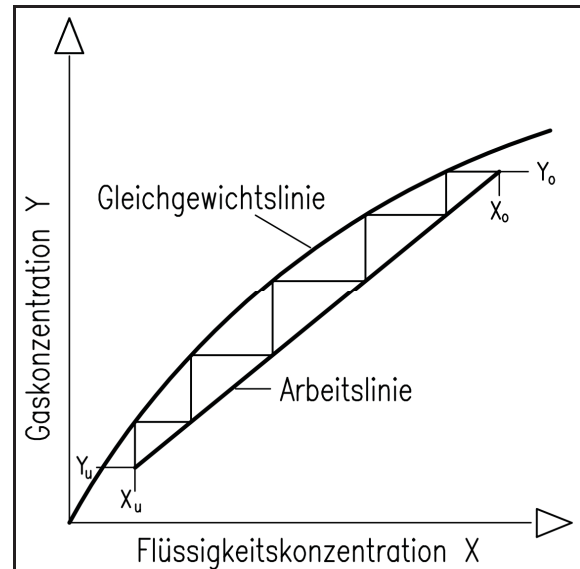


Abbildung 16: Arbeitsdiagramm Desorption [18]

In diesen Darstellungen wird die Beladung Y (oder der Molenbruch y) der Gasphase in Abhängigkeit von der Beladung X (oder dem Molenbruch x) der Flüssigphase aufgetragen (siehe Abbildung 15 und Abbildung 16). Es gelten die Umrechnungen:

$$x = \frac{X}{(1+X)} \quad \text{und} \quad y = \frac{Y}{(1+Y)} \quad (5)$$

Für die Absorption und Desorption werden Beladungen verwendet, um konstante Massenströme (bzw. Molen- oder Volumenströme) und somit einen geraden Verlauf der Arbeitslinie zu erhalten. Die Arbeitslinie $Y = f(X)$ ergibt sich teils aus vorgegebenen Werten für die Beladungen am Absorberein- und -austritt und aus der Stoffbilanz. Die Steigung der Bilanzlinie gibt das Verhältnis von Flüssigkeitsstrom zu Gasstrom (L/G) wieder. Wird beispielsweise der Flüssigkeitsstrom verringert, steigt die Beladung der Flüssigkeit am Boden der Kolonne und die Gerade wird flacher [17].

Weiters wird im Diagramm die Gleichgewichtslinie $Y^* = f(X)$ (* steht für Gleichgewicht) eingezeichnet. Bei der physikalischen Absorption wird das Phasengleichgewicht mit dem Henryschen und dem Daltonschen Gesetz formuliert [17]:

$$y^* = \frac{H_{ij}}{p_{ges}} x \quad (\text{ideal}) \quad (6)$$

Dieser lineare Zusammenhang zwischen den Molenbrüchen der Gas- und Flüssigphase führt nach Umrechnung auf Beladungen zu einer gekrümmten Linie im Arbeitsdiagramm. Die Triebkraft für den Stoffübergang ist der jeweilige Beladungsunterschied zum Gleichgewicht. Aus diesem Grund liegt die Arbeitslinie bei der Absorption über der Gleichgewichtslinie und bei der Desorption darunter.

3.2 Desorption

Die Desorption stellt den Umkehrvorgang zur Absorption dar, wobei für beide Verfahren dieselben Gesetzmäßigkeiten gelten. Bei der Desorption werden in der Flüssigkeit gelöste Gase durch Temperaturerhöhung, Druckabsenkung oder durch Strippen mit Inertgas (meist Dampf oder Luft) ausgetrieben [17].

4 Hauptteil (praktischer Teil)

Die Versuchsanlage wurde im Zuge eines Forschungsprojektes der Firma Austrian Energy & Environment AG & Co KG mit den Projektpartnern proionic GmbH und Montanuniversität Leoben mit dem Titel „Neue Absorptionsmittel und -verfahren für die CO₂-Abtrennung“ gemietet. Ziel ist es, im Labor erprobte Absorptionsmittel unter realen Bedingungen in einem kontinuierlichen Absorptions-/Desorptionsbetrieb an einem Kraftwerk zu testen.

Die Versuchsanlage wurde im Auftrag der Projektpartner von der Firma Austrian Bioenergy-center (ABC) erstellt. Sie ist Eigentum der Firma ABC und wurde auf Basis einer bereits bestehenden Anlage, die der Abtrennung von CO₂ aus Biogasen diente, neu konzeptioniert und umgerüstet.

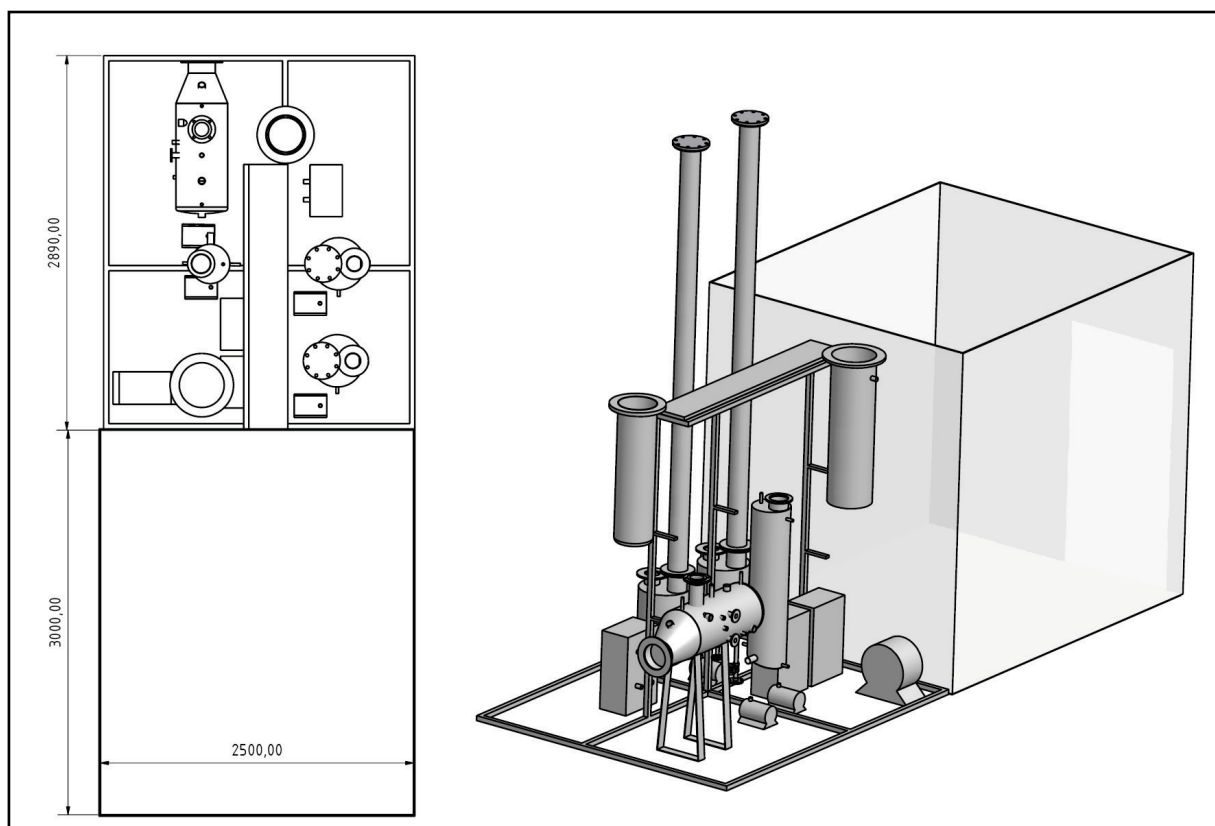


Abbildung 17: Aufstellung der Anlage

Die gesamte Anlage – bestehend aus einem Kleincontainer und den Anlagenbauteilen – ist auf einem transportablen Rahmen montiert (Abbildung 17), um den Einsatz an verschiedenen Standorten zu ermöglichen. Der Kleincontainer dient der Unterbringung der Schaltanlage, der Mess- und Regeltechnik sowie der Datenerfassung. Die Abmessungen betragen in etwa 6 m Länge, 2,5 m Breite und 2,5 m Höhe (Containerhöhe, Kolonnenhöhe ca. 4 m). Für den Transport müssen alle Aufbauten, die über den Container ragen (Kolonnen, Kondensator, Geländer), abmontiert werden.

4.1 Technische Kurzbeschreibung der Versuchsanlage

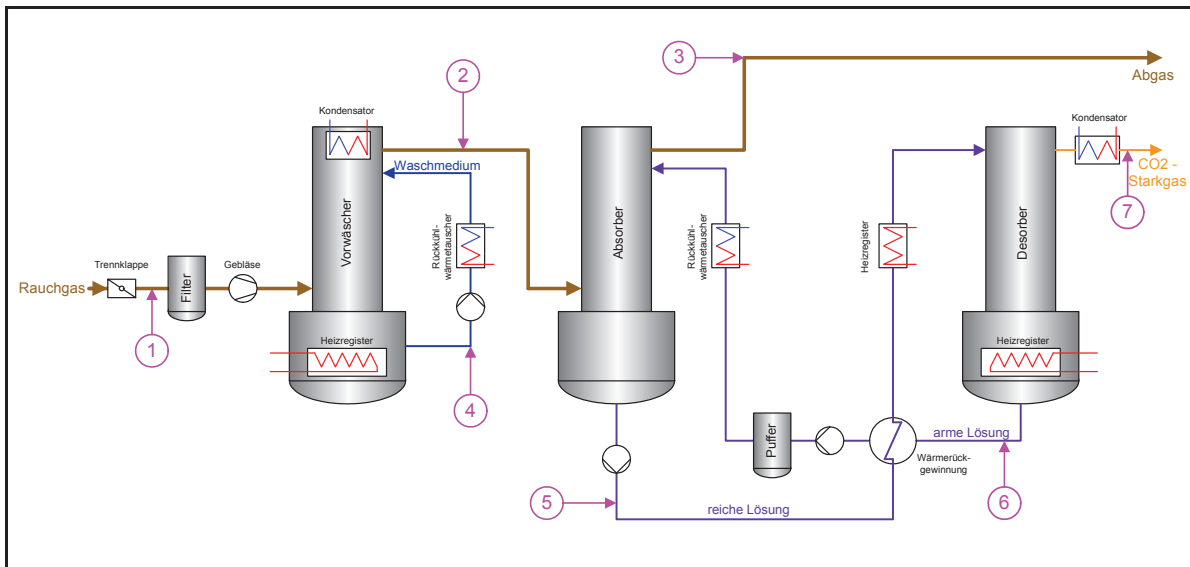


Abbildung 18: Grundschemata der Versuchsanlage

Tabelle 2: Strombezeichnung

Nummer	Bezeichnung	Hauptbestandteile	Temperatur
1	Rauchgas aus Kraftwerk	N ₂ , CO ₂ , O ₂ , SO _x	max. 100 °C
2	Rauchgas vor Absorber	N ₂ , CO ₂ , O ₂	max. 65 °C
3	Rauchgas nach Absorber	N ₂ , O ₂ , CO ₂ -Rest	max. 65 °C
4	Waschmedium Vorwäscher	H ₂ O, NaHCO ₃	max. 65 °C
5	reiches Absorptionsmedium	Aminlösung oder ionische Flüssigkeit	max.135 °C
6	armes Absorptionsmedium	Aminlösung oder ionische Flüssigkeit	max.135 °C
7	CO ₂ -Starkgas	CO ₂ , H ₂ O	

Abbildung 18 zeigt ein vereinfachtes Schema der Versuchsanlage, das zur Veranschaulichung der folgenden Kurzbeschreibung dient. Die Bezeichnung der dazugehörigen Ströme kann aus Tabelle 2 entnommen werden.

Das zu behandelnde Prozess- bzw. Rauchgas wird mit Hilfe einer pneumatisch angesteuerten Klappe übernommen und durch einen Karttridgefilter geführt. Dieser dient dazu, eventuell enthaltenen Reststaub und Waschmittelzusatzstoffe (Aerosole, Salze) weitgehend abzutrennen.

Ein gasdichtes, explosionsgeschütztes Gebläse fördert anschließend das Prozess- bzw. Rauchgas weiter in den Vorwäscher. In diesem erfolgen eine Restentschwefelung, die vor allem bei Verwendung von MEA als Absorptionsmittel aufgrund der Querreaktion mit SO₂ notwendig ist, und die Einstellung der Rauchgastemperatur, um geeignete Bedingungen für den anschließenden Absorptionsprozess zu schaffen. Der Vorwäscher besteht aus einem Sumpfbehälter und einer einstufigen Füllkörperkolonne, die vom Rauchgas von unten nach

oben durchströmt wird. Das Waschmittel wird am Kopf der Kolonne mit einem Flüssigkeitsverteiler aufgegeben, rieselt durch die Füllkörperschüttung, absorbiert dabei das im Rauchgas enthaltene SO_x und wird wahlweise abgeleitet oder durch eine Kreiselpumpe in die Kolonne zurückgeführt. Grundsätzlich ist die Verwendung gepufferter Lösungen (wässrige Natriumhydrogencarbonat-Lösung) oder Nutzwasser möglich. Durch einen Rückkühlwärmtauscher und eine Beheizung des Sumpfes ist die Einstellung der Gasaustrittstemperatur von 30 - 60 °C möglich.

Das Rauchgas verlässt den Vorwäscher am Kopf der Kolonne und tritt in den Absorptionsreaktor ein. Die Kontaktierung der Absorptionsflüssigkeit (MEA, ionische Flüssigkeiten) mit dem Prozess- bzw. Abgas erfolgt ebenfalls einstufig in einer Füllkörperkolonne. Die Absorptionsflüssigkeit wird am Kopf der Kolonne aufgegeben, rieselt durch die Füllkörperschüttung und wird aus dem Sumpf zur Desorption weiter gefördert. Das Abgas strömt durch die Füllkörperschichten aufwärts und gibt dabei CO_2 an das chemisch wirkende Absorptionsmittel ab. Die Betriebstemperatur des Absorptionsreaktors ist zwischen 30 und 65 °C einstellbar. Das Gas verlässt am Kopf der Kolonne den Bereich der Stoffübertragung und wird über eine Mengenummessung abgegeben.

Die Absorptionsflüssigkeit wird in einem zweistufigen Prozess auf die Austreibungstemperatur erwärmt. In der ersten Stufe erfolgt eine Wärmeübertragung von der heißen Absorptionslösung auf die beladene kalte Absorptionsflüssigkeit. Die restliche Erwärmung bis zur erforderlichen Temperatur erfolgt über ein elektrisches Durchflusshheizregister.

Die nun heiße Absorptionslösung von 70 - 110 °C wird am Kopf der Desorberkolonne aufgegeben. Der geschlossene und druckfeste Desorber wird im unterhalb der Kolonne angebrachten Sumpftank beheizt und erzeugt so den erforderlichen Dampf, um das chemisch gebundene CO_2 auszutreiben. Der enthaltene Wasserdampf wird teilweise in der Verstärkersäule (oberer Kolonnenenteil) und im darauf folgenden Kondensator kondensiert. Aus diesem wird mit Wasserdampf gesättigtes Kohlendioxid abgegeben.

Das regenerierte Absorptionsmittel wird durch einen der Wärmerückgewinnung dienenden Wärmeübertrager mit dem kalten Absorptionsmittel abgekühlt. Danach wird das Absorptionsmedium zur Entkopplung des Absorptions- und Desorptionskolonnenbetriebs in einem Puffergefäß zwischengespeichert. Um die gewünschte Temperatur in der Absorptionskolonne zu erzielen, erfolgt die restliche Abkühlung durch einen Wärmeübertrager.

4.2 Ausführung und Funktionsbeschreibung

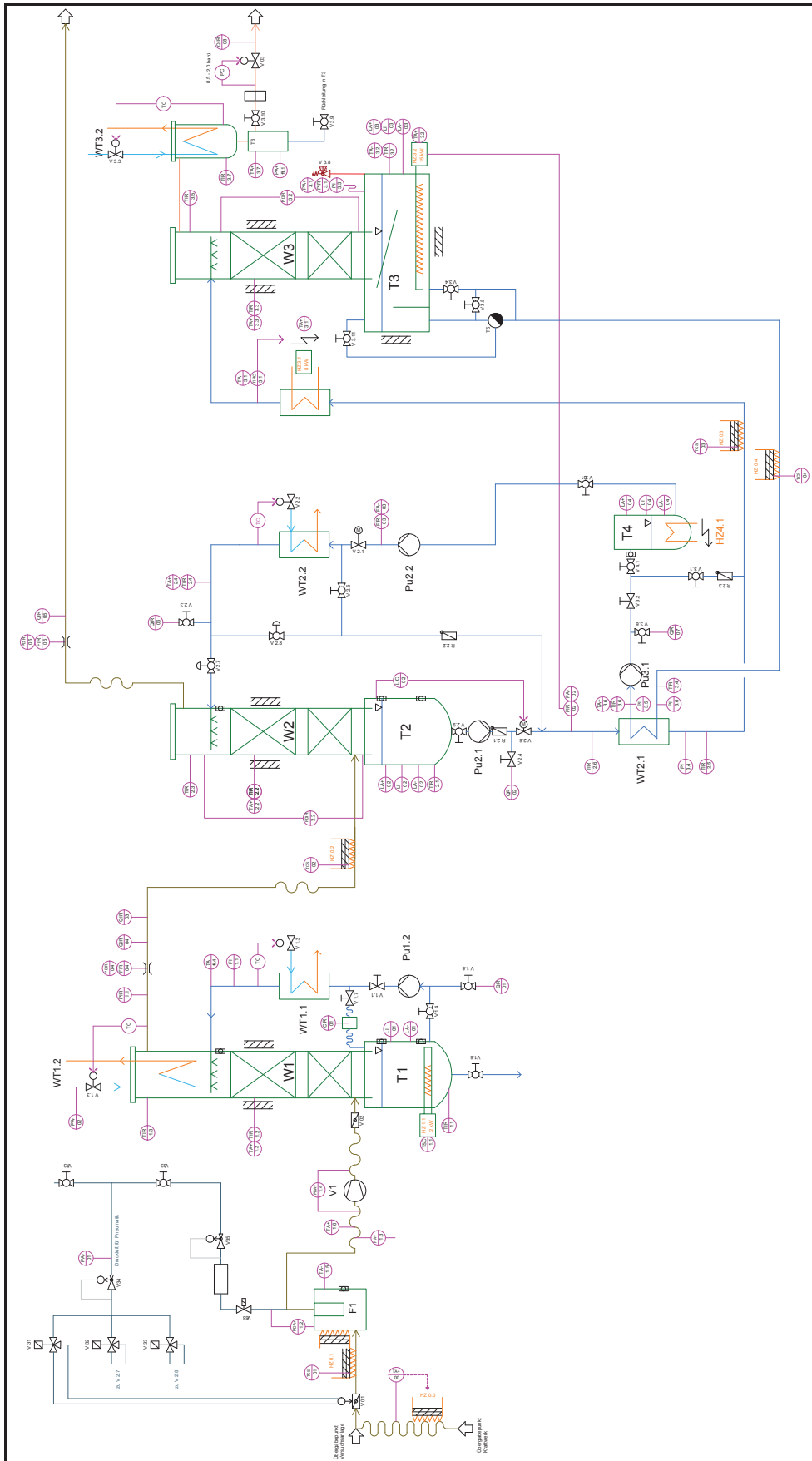


Abbildung 19: R&I Schema



Abbildung 19 zeigt das R&I-Schema der Anlage. Darin sind alle Behälter, Einbauten und Rohrleitungen sowie die Einrichtungen zum Messen, Regeln und Steuern dargestellt. Alle im Folgenden verwendeten Bezeichnungen beziehen sich auf dieses Schema. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden anschließend Teilbereiche des Schemas erneut dargestellt.

Alle Apparate (Kolonnen, Tanks, Gehäuse etc.) sowie die Rauchgas- und Flüssigkeitsleitungen – mit Ausnahme der Kühlwasserleitungen – wurden von der Firma Binder GmbH aus Edelstahl 1.4301 angefertigt.

Die gesamte Anlage ist mit einer Wärmedämmung versehen (Apparate mit Aluverkleidung). Diese dient dazu die Wärmeverluste gering zu halten, um einen konstanten, aussagekräftigen Betrieb zu ermöglichen. Weiters ist die Dämmung in Kombination mit Begleitheizungen für die Frostschutzsicherung erforderlich.

Nachfolgend wird die Ausführung der gesamten Anlage beschrieben, wobei zunächst zum besseren Verständnis auf den Rauchgasweg und erst später auf das Absorptionsmittel eingegangen wird.

Zur Unterscheidung der beiden Absorptionsmittel (SO_2 - und CO_2 -Absorption) wird das Medium zur SO_2 -Abscheidung im Vorwäscher W1 im weiteren Verlauf als Waschmittel bezeichnet.

4.2.1 Rauchgasweg

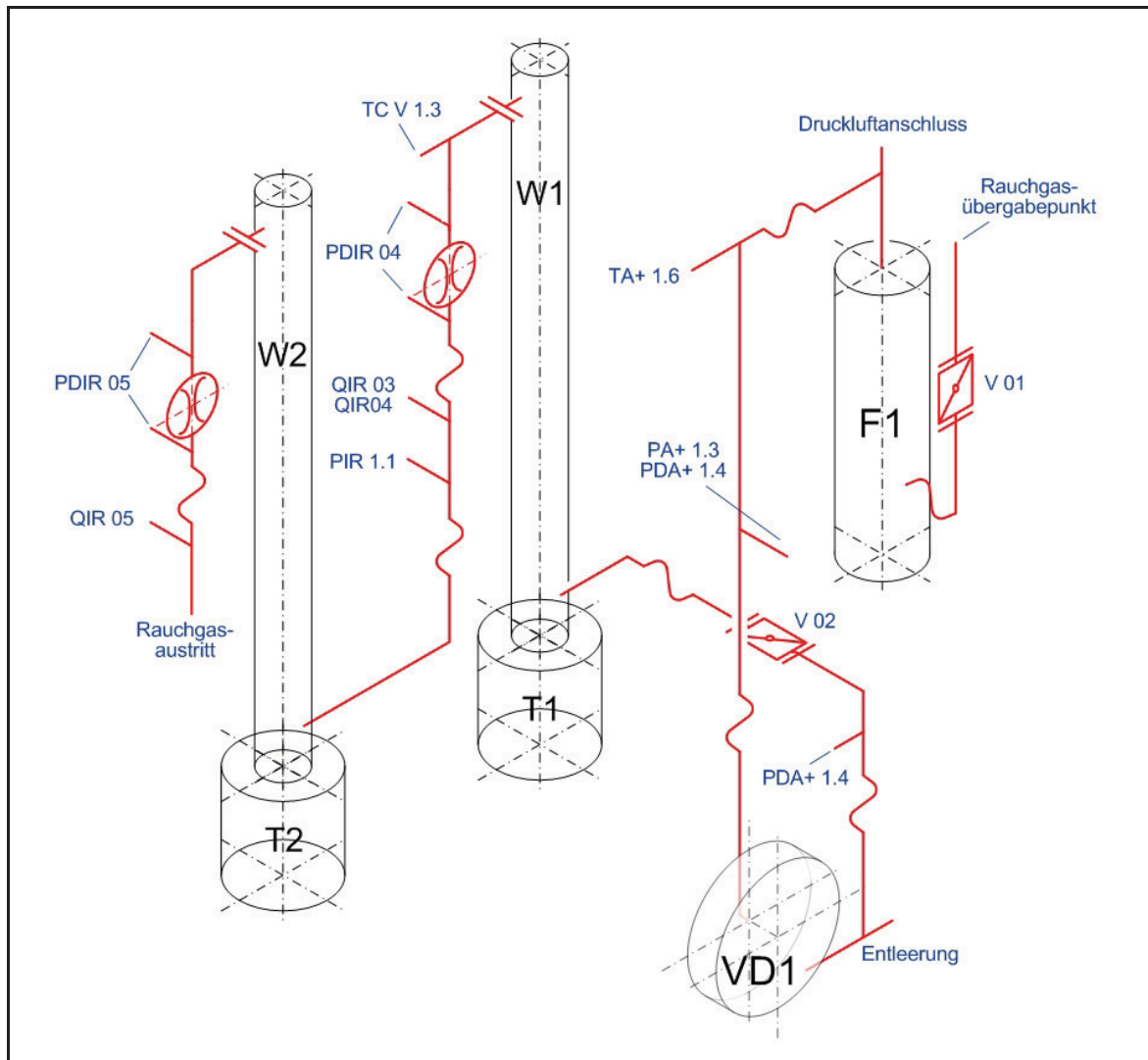


Abbildung 20: Isometrisches Schema Rauchgasweg

Abbildung 20 zeigt den tatsächlichen Verlauf der Rauchgasleitungen in der Anlage inklusive aller Mess- und Probenahmestellen in Form einer isometrischen Darstellung.

Die gesamte Rauchgasleitung ist aus Edelstahlrohren DN50 gefertigt, wobei zwischendurch kurze Spiralschlauchstücke eingebracht sind. Diese dienen zur mechanischen Entkopplung sowie zur einfachen Montage und Demontage der Rohrleitungen.

4.2.1.1 Rauchgasübernahme und -filter

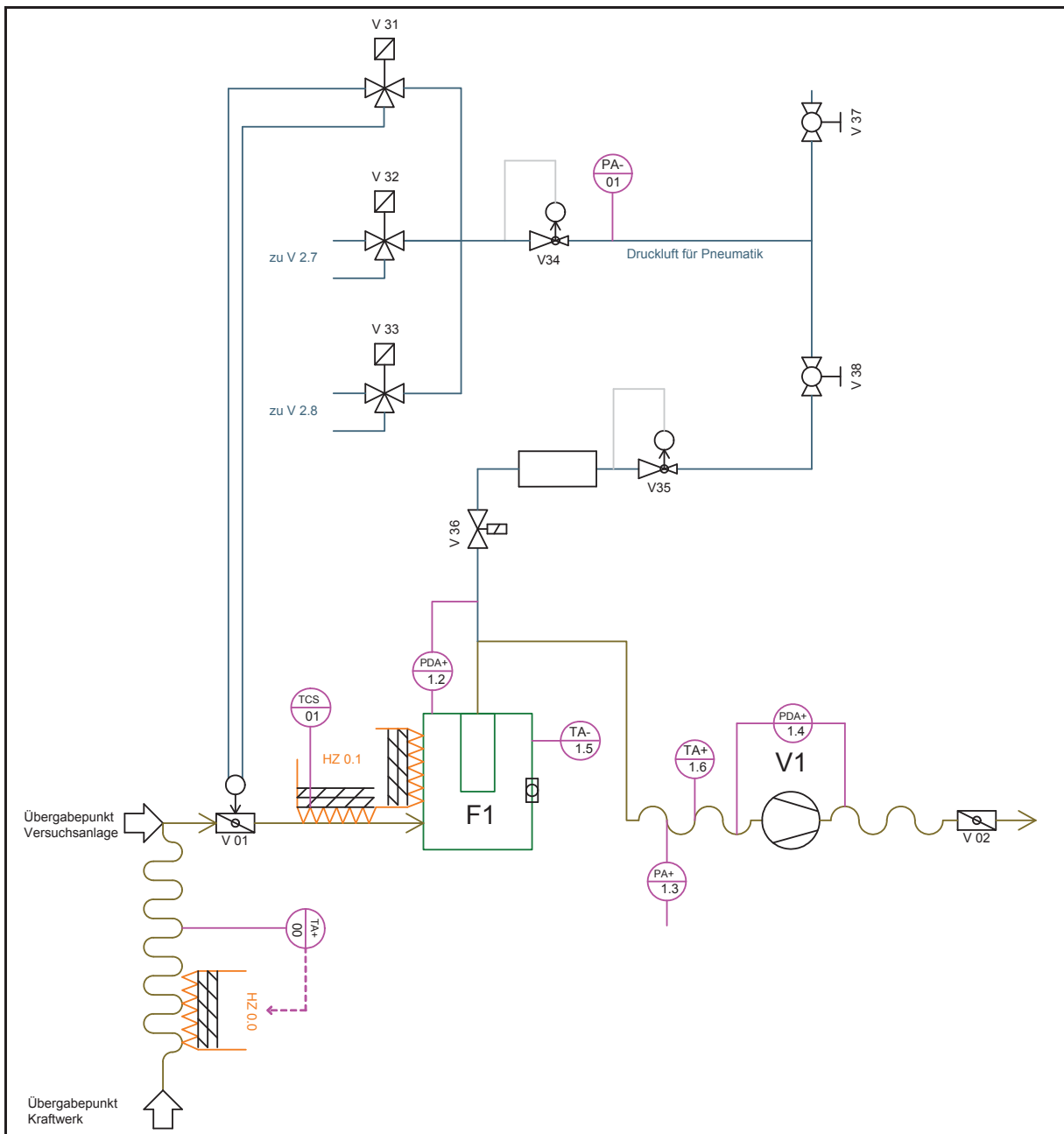


Abbildung 21: R&I Rauchgasübernahme und -filter

Das Rauchgas wird über eine pneumatische Klappe (V 01) (Abbildung 21), die über ein elektrisch angesteuertes 5/3 Wegeventil (V 31) geschaltet wird, in die Versuchsanlage übernommen.

Die Zuleitung erfolgt über einen Kunststoff-Spiralschlauch DN50 mit eingegossenem Federstahldraht der mit Hilfe von Schellen am Rohrstumpf vor der Klappe befestigt wird. Da das zu übernehmende Gas nach der Rauchgasentschwefelung des Kraftwerkes abgezweigt wird, ist es im Regelfall bei einer Temperatur von 50 – 90 °C mit Wasser gesättigt. Um ein Auskondensieren des Wassers durch Abkühlung zu verhindern, ist die gesamte Rauchgaszuleitung gedämmt und begleitbeheizt.

Diese Begleitheizung (Hz 00) ist über ein Heizkabel realisiert, das mit einem Kapillarthmostat (TA+00) auf eine maximale Temperatur (zur Schonung des Schlauches) begrenzt wird. Ein zweites Heizkabel (Hz 01) dient der Beheizung des Filters (F1).

Filter:

Um eventuell enthaltenen Reststaub und Waschmittelzusatzstoffe (Aerosole, Salze) weitgehend abzutrennen und somit einen Dauerbetrieb zu erlauben, wird das Rauchgas durch einen Kartridgefilter (F1) geführt.



Abbildung 22: Filterpatrone

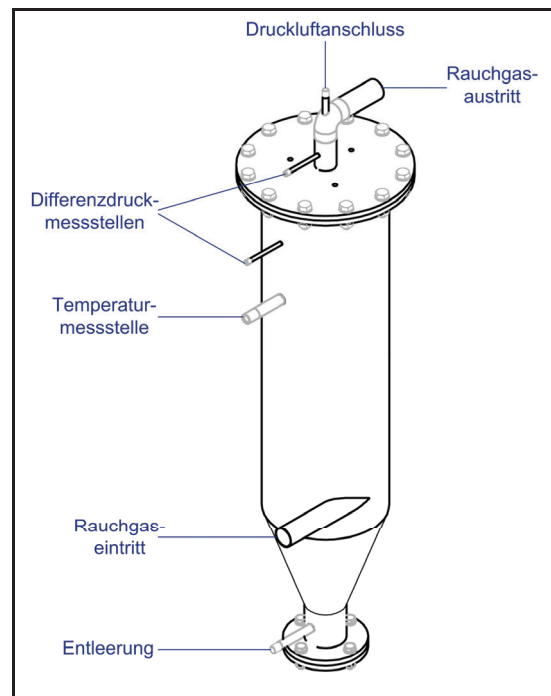


Abbildung 23: Filtergehäuse

Die zylindrische Filterpatrone ist mit einem 3-Haken-Flansch (Abbildung 22) am Deckel des Filtergehäuses befestigt. Als Filtermedium dient ein antistatischer Polyestervliesstoff. Das Filtergehäuse (Abbildung 23) besteht - wie die gesamte Anlage - aus Edelstahl und wurde von der Firma Binder GmbH gefertigt. Das Gas tritt tangential über einen seitlich angebrachten Flansch in das Filtergehäuse ein, strömt durch die Filterpatrone und verlässt den Filter durch das Austrittsrohr am Deckel.

Die Abreinigung des Filters erfolgt automatisch mittels Druckluftstoß. Hierfür wird mit Hilfe eines Taktmagnetventils (V 34) periodisch rückgespült. Der dazu erforderliche Druck kann durch einen Druckminderer (V 33) eingestellt werden. Um Druckstöße in der Druckluftversorgungsleitung zu vermindern, ist ein Windkessel vorgeschaltet.

Der Druckabfall über den Filter wird durch einen Differenzdruckschalter (PDA+ 1.2) überwacht und dient als Indikator für die Verschmutzung der Filterpatrone. Wird der voreingestellte maximale Druckabfall überschritten, führt dies zu einer Störungsmeldung am Schalt-

schränk. Für diesen Fall kann der Filter auch manuell über einen Schalter vom Container aus rückgespült werden.

Um die Funktion der Begleitheizungen Hz 00 und Hz 01 zu überwachen und somit ein Auskondensieren des im Rauchgas enthaltenen Wasser zu verhindern, wird die Temperatur im Filter mit Hilfe eines Temperaturfühlers TA- 1.5 überwacht.

Fällt die Temperatur unter einen vorgegebenen Wert, wird eine schaltende Störung ausgelöst und somit ein „Versotten“ der Filterpatrone verhindert.

Der Staubaustrag durch den Flansch (DN100) am unteren Ende des Filtergehäuses erfolgt händisch und ist je nach Bedarf durchzuführen. Weiters ist knapp über dem Flansch ein Entleerungskugelhahn angebracht, um eventuell auskondensiertes Wasser abzulassen.

4.2.1.2 Gebläse, Volumenstromregelung

Im Verbindungsrohr zwischen Filter und Gebläse befinden sich eine Temperaturmessstelle und eine Druckmessstelle, an der zwei Druckmessgeräte angebracht sind (Abbildung 20 und Abbildung 21).

Der Temperaturwächter TA+1.6 dient dazu, das Gebläse vor zu hohen Rauchgastemperaturen zu schützen und löst bei Überschreiten der Maximaltemperatur eine schaltende Störung (= hohe Priorität, siehe Kapitel 4.2.8) aus.

Der Druckschalter PA+1.3 ist mit einem Differenzdruckschalter, der einseitig offen gelassen wurde, realisiert. Hiermit wird - über den Druckunterschied zur Umgebung - der saugseitige Unterdruck vor dem Gebläse überwacht. Wird der voreingestellte zulässige Unterdruck unterschritten (Druckdifferenz überschritten), löst dies eine nicht schaltende Störung aus. Mögliche Ursachen hierfür sind in der Saugleitung zu suchen (Filter verlegt, Klappe V01 geschlossen etc.).

An derselben Messstelle befindet sich einer der beiden Anschlüsse für einen weiteren Differenzdruckschalter PA+1.4, der den Differenzdruck über das Gebläse misst. Ist der Druckunterschied zwischen Saug- und Druckseite zu hoch, wird eine nicht schaltende Störung ausgelöst. Dieser Fall deutet auf ein Problem in der Druckleitung hin (zB Handklappe V02 geschlossen).

Gebläse:

Das Rauchgas wird durch ein Radialgebläse Typ HDR 2/4 T der Firma Electror von der Übernahmestelle am Kraftwerk durch den Filter angesaugt und durch die gesamte Anlage gefördert. Der Druck an der Übernahmestelle schwankt wetterabhängig zwischen leichtem Überdruck und leichtem Unterdruck. Bei dem eingesetzten Gerät handelt es sich um einen Hochdruckventilator, der für die Förderung mittlerer Luftmengen bei größeren Anlagenwiderständen ausgelegt ist. Die hohe Laufraddrehzahl wird durch einen Kurzschlussläufermotor mit einem Keilriemenantrieb erbracht. Das Fördermedium wird axial angesaugt, durch die Drehbewegung des Laufrades radial beschleunigt und tangential ausgeblasen.



Die Kunststoffspiralschlauchstücke der Saug- und Druckleitung sind mit Schellen an den Anschlusszapfen des Gebläses befestigt. Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen Nenndaten und Kennlinien.

Typ Type	Volumenstrom Volumetric flow rate m ³ /min	Gesamtdruckdifferenz Total pressure difference Pa	Spannung Voltage V	Frequenz Frequency Hz	Stromaufnahme Current consumption A	Motorleistung Motor rating kW	Motordrehzahl Number of revolutions min ⁻¹	Ventilator-drehzahl* Blower speed* min ⁻¹	Gewicht Weight kg
HRD 2/4 T	17	7700	230/400	50	10,6/6,10	3,0	2880	5200	36

Abbildung 24: Nenndaten Gebläse [20]

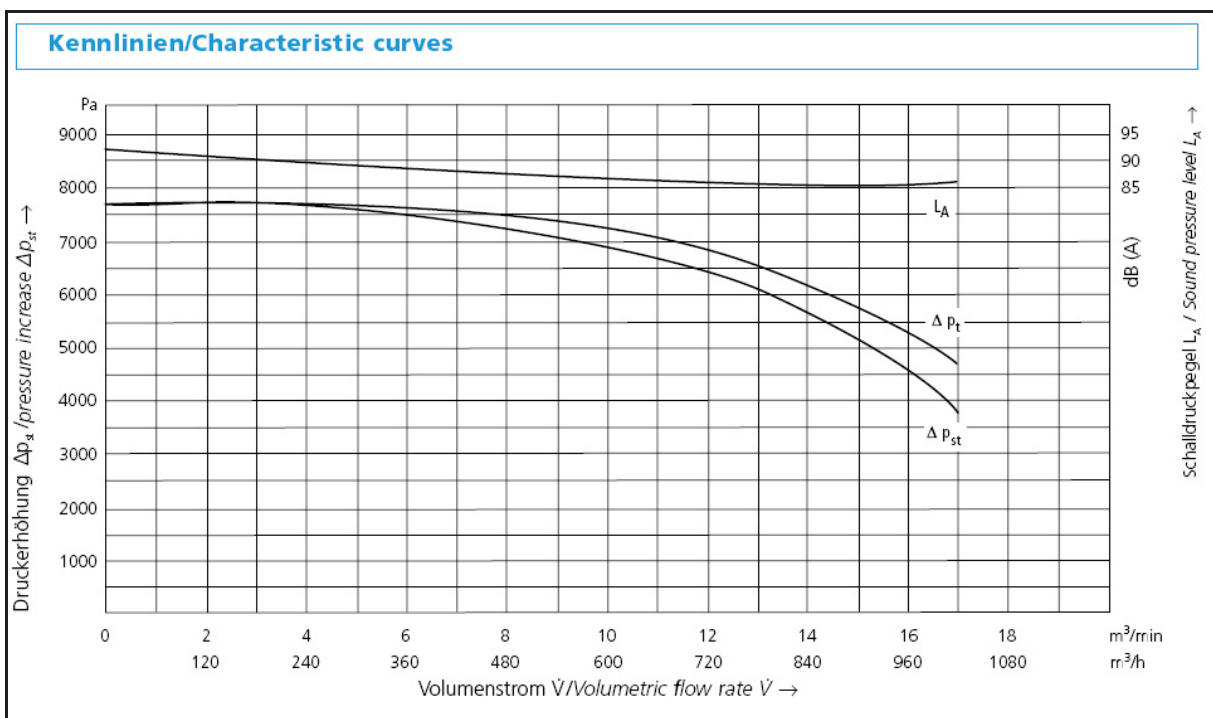


Abbildung 25: Kennlinien Gebläse [20]

Der gewünschte Fördervolumenstrom wird mit Hilfe einer DN50 Handklappe (V02) durch Drosselung eingestellt.

4.2.1.3 Vorwäscher W1

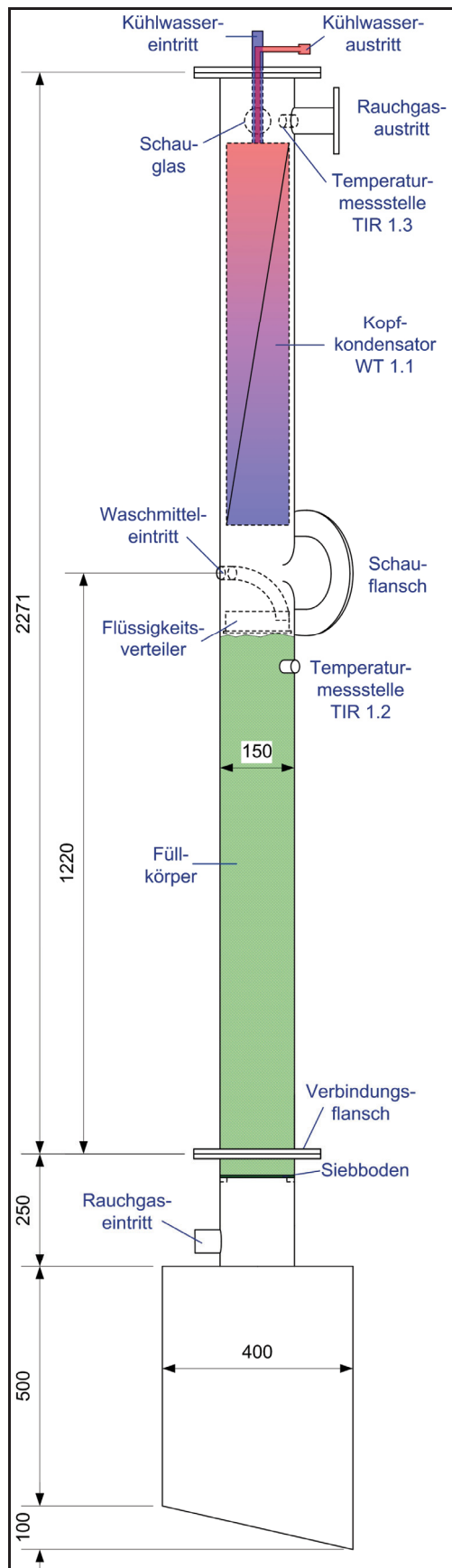


Abbildung 26: Skizze Vorwäscher

Über ein kurzes Rohrstück nach der Handklappe tritt das Rauchgas unter der aufgeflanschten Kolonne am Stutzen des Sumpftanks in den Vorwäscher ein.

Der Vorwäscher erfüllt hauptsächlich zwei Funktionen. Zum einen dient er der Restentschwefelung, die vor allem bei Verwendung von MEA als Absorptionsmittel aufgrund der Querreaktion mit SO_2 notwendig ist. Zum zweiten kann hier durch den Kopf-kondensator die Rauchgastemperatur eingestellt und somit geeignete Bedingungen für die anschließende CO_2 -Absorption geschaffen werden.

Das Rauchgas durchströmt die Kolonne von unten nach oben und tritt dabei im Gegenstrom mit dem Waschmittel in Kontakt. Der untere Teil der Kolonne enthält die Füllkörperschüttung (Höhe ca. 1200 mm), die auf einem Siebboden (Lochblech) im Kolonnenstutzen des Sumpftanks aufliegt. Die eingesetzten Füllkörper werden in Kapitel 4.2.5 beschrieben. Das Waschmittel wird in der Mitte der Kolonne aufgegeben und durch einen Flüssigkeits-verteiler (siehe Kapitel 4.2.5) über den gesamten Querschnitt verteilt. In derselben Höhe ist ein Plexiglas-Schauflansch DN150 angebracht, der weiters zur Füllkörperbefüllung dient. Etwas darunter befindet sich eine Temperaturmessstelle TIR 1.2. Dieser Messwert wird darüber hinaus zur Temperaturüberwachung TA+ 1.2 eingesetzt und löst eine nicht schaltende Störung bei Überschreiten der voreingestellten Maximaltemperatur aus. (Abbildung 26)

Im oberen Teil der Kolonne befindet sich der Kopf-kondensator WT 1.1. Dieser wird mit Kühlwasser betrieben (Regelung siehe Kapitel 4.2.7.6) und dient – zusammen mit dem Heizstab Hz 1.1 – zur Einstellung der gewünschten Rauchgastemperatur am Austritt des Vorwäschers. Die Temperatur kann durch den Fühler TIR 1.3 kontrolliert werden.

Kopfkondensator WT1.1

Der Kondensator WT1.1 wird von oben in die Kolonne eingeschoben und ist mit den Anschlüssen in den Flanschdeckel eingeschweißt. Es handelt sich hierbei um eine Art Mantelrohrwärmeübertrager, bei dem sich das Kühlwasser im Ringspalt zwischen zwei konzentrischen Rohrstücken - folgend als Ringbehälter bezeichnet - befindet. Um die Austauschfläche zu erhöhen liegt in der Mittelachse zusätzlich ein wasserführendes Rohr – folgend als Zylinder bezeichnet (Abbildung 27 und Abbildung 28). Das Rauchgas strömt zwischen Zylinder und Ringbehälter sowie zwischen Ringbehälter und Kolonnenmantel durch den Kondensator.

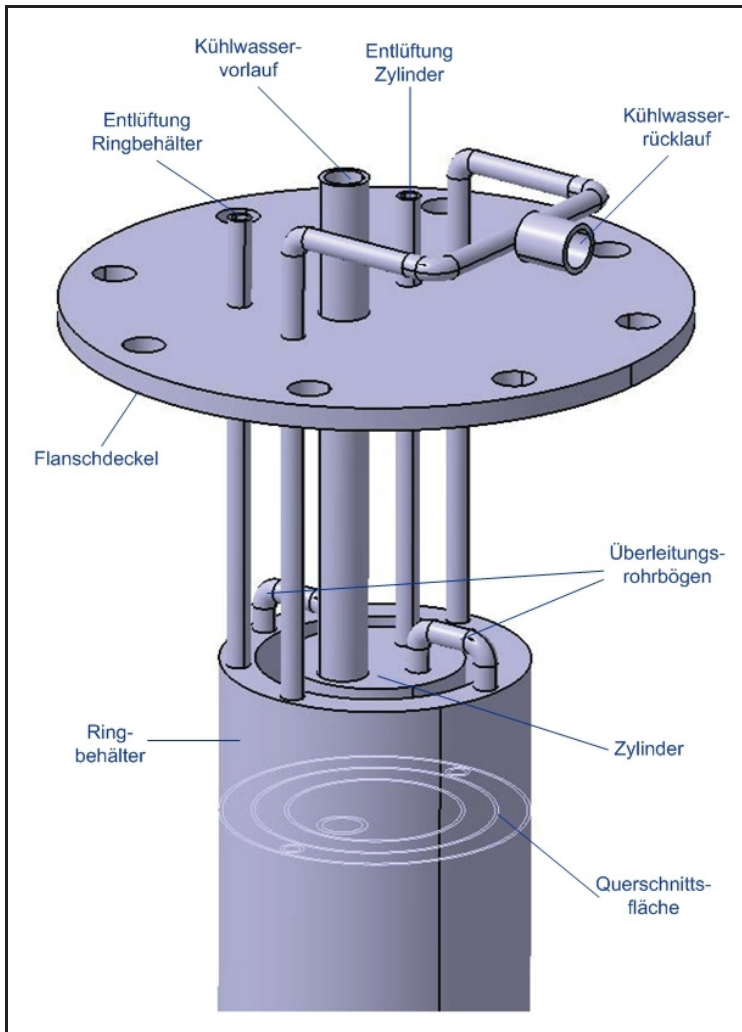


Abbildung 27: 3-D Ansicht Kopfkondensator

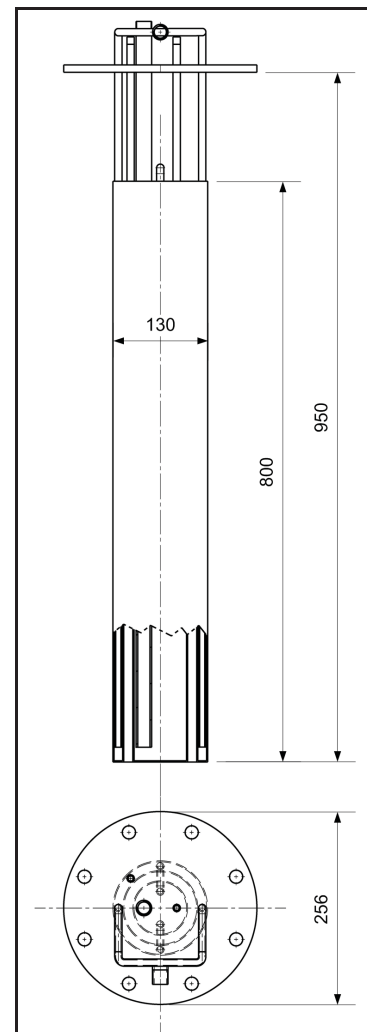


Abbildung 28: WT1.1 Plan

Das Kühlwasseranschlussrohr ist in den Zylinder eingeschweißt und reicht bis an den Boden des Zylinders. Von hier fließt das Kühlwasser im Gleichstrom mit dem Rauchgas nach oben und über zwei Rohrbögen in den Ringbehälter. Dieser wird im Gegenstrom zum Rauchgas durchströmt. Vom Boden des Ringbehälters tritt das Kühlwasser über zwei Rohre, die nach dem Flanschdeckel zu einem Rücklaufrohr zusammengeschweißt sind, aus dem Kondensator aus.

Zur Entlüftung des Zylinders und des Ringbehälter dienen zwei $\frac{1}{4}$ "-Rohrstücke, die ebenfalls durch den Flanschdeckel geführt werden.

Durch die bis an den Boden der beiden Behälter geführten Rohrleitungen (Kühlwasservorlauf und -rücklauf) ist es auch möglich den Kondensator zu entleeren. Bei Abstellen und Abschließen der Kühlwasserversorgung bleibt Wasser in der Steig- und Falleitung, die zum Kolonnenkopf führen. Über die Sogwirkung, die dadurch beim Öffnen der Entlüftungen entsteht, kann der Kondensator „leergesaugt“ werden.

4.2.1.4 Volumenstrommessung, Messblende

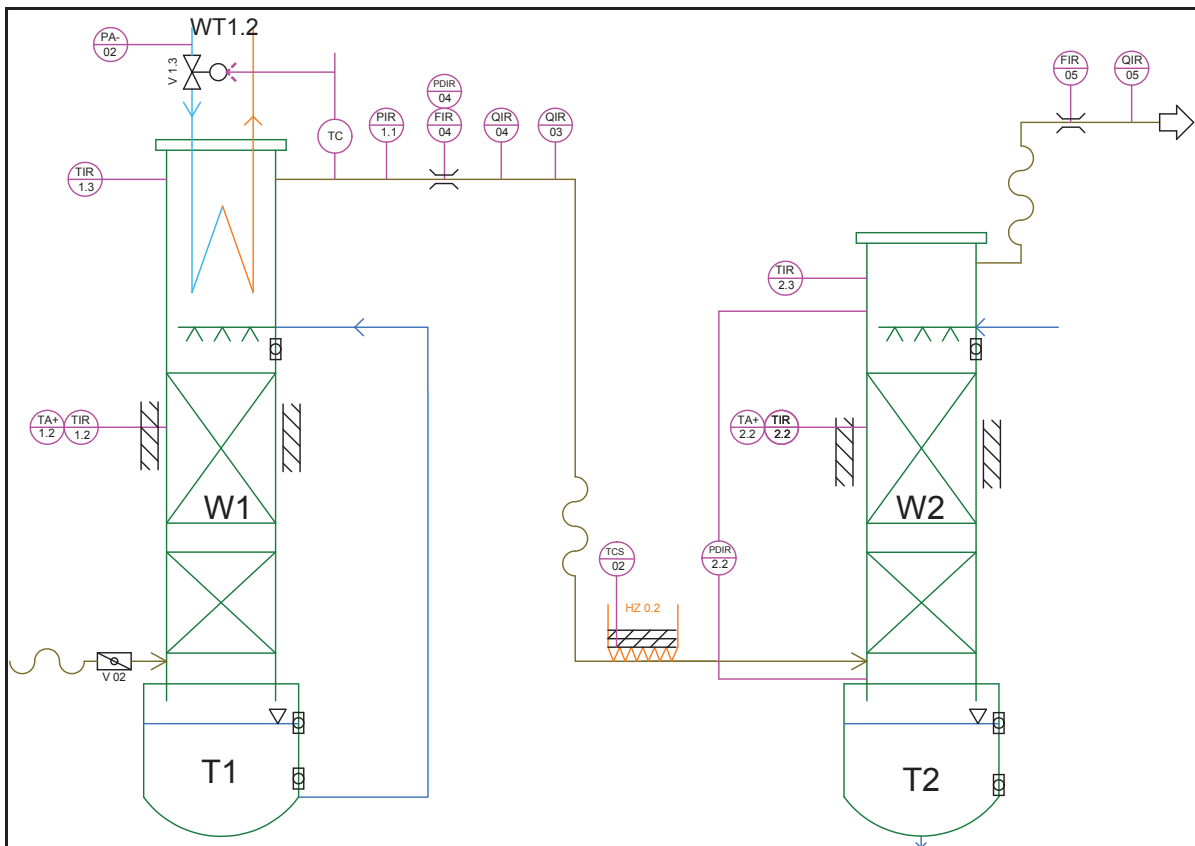


Abbildung 29: R&I W1 und W2 Rauchgas

Das konditionierte Gas verlässt den Vorwäscher am Kopf der Kolonne. Nach einem kurzen horizontalen Rohrstück wird die Leitung nach unten in die Vertikale umgelenkt. In diesem Rohrbogen befindet sich eine Tauchhülse. Diese dient der Aufnahme des Messfühlers der zur Kühlwasserregelung des Kopfkondensators verwendet wird (siehe Kühlwasserregelung Kapitel 4.2.7.6). Im vertikalen Rohrstück ist eine Messblende (FIR 04) mit den beiden zugehörigen Druckmessstellen (PDIR 04) zur Gasvolumenstrommessung (Kapitel 4.2.3.4) eingebaut. Nach einem kurzen Kunststoffspiralschlauch-Stück befinden sich Anschlüsse zur Probenahme (QIR 03 und QIR 04) und zur Druckmessung (PIR 1.1). Die Probenahmestelle QIR 03 dient der kontinuierlichen CO_2 -Messung. Von hier führt ein dünner Kunststoffschlauch in den Container zur Messgasanalyse (siehe Kapitel 4.2.7.5). An der Anschlussstelle der Messgasleitung befindet sich ein Kugelhahn, um eventuell entstandenes Kondenswasser zu entleeren. QIR 04 ist zur Kontrolle des verbleibenden Restschwefelgehaltes vorgesehen, jedoch derzeit nicht realisiert. (Abbildung 29)

4.2.1.5 Wäscher W2, CO₂-Absorption

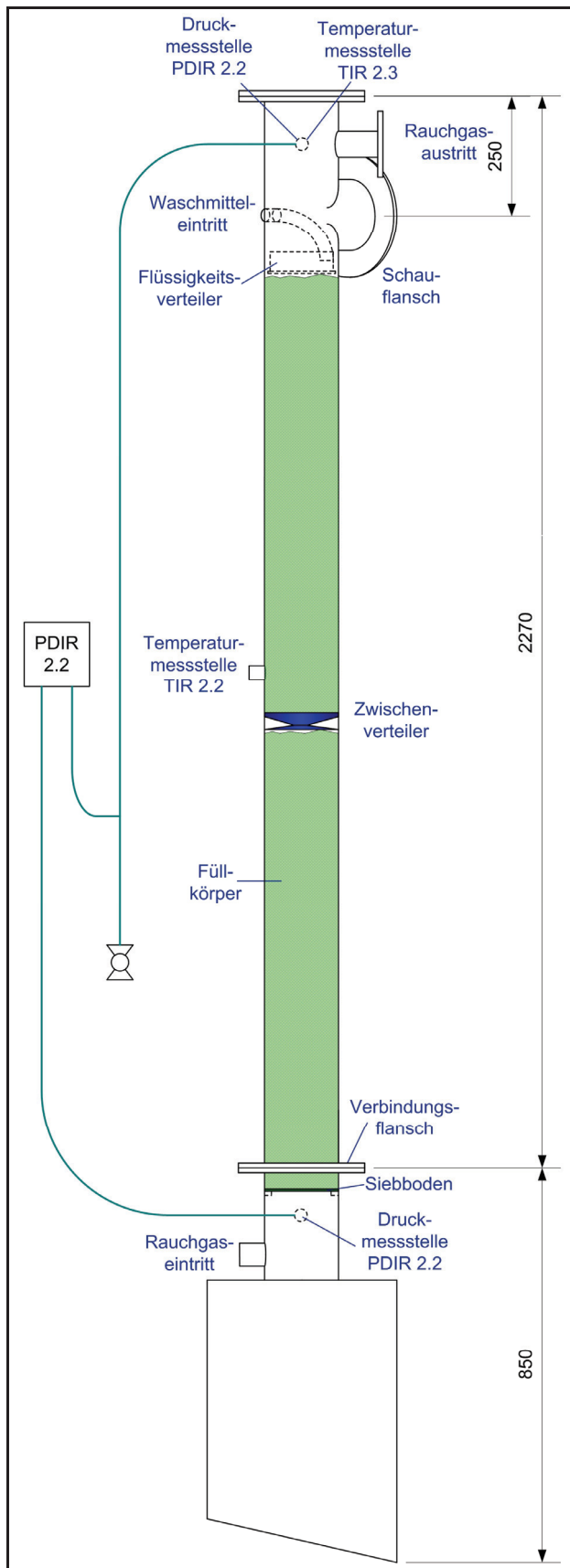


Abbildung 30: Absorberkolonne

Nach den beiden Probenahmestellen wird das Rauchgas wieder in die Horizontale umgelenkt und tritt am Stutzen des Sumpftanks in den Absorber (W2) ein.

Dieser ist grundsätzlich baugleich dem Vorwäscher, wobei hier kein Kopfkondensator verbaut ist und somit die Füllkörperschicht mit ca. 1900 mm höher ist. Um der Randgängigkeit der Absorptionsflüssigkeit entgegen zu wirken, ist ca. in der Mitte der Füllkörperschicht ein Zwischenverteilerboden (Sammler) eingefügt. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um einen Trichter, der die Flüssigkeit vom Rand der Kolonne wieder zur Mittelachse lenkt. Etwas darüber befindet sich eine Temperaturmessstelle TIR 2.2. Dieser Messwert wird darüber hinaus zur Temperaturüberwachung TA+ 2.2 eingesetzt und löst eine nicht schaltende Störung bei überschreiten der voreingestellten Maximaltemperatur aus.

Das Rauchgas strömt in der Kolonne ebenfalls von unten nach oben und wird im Gegenstrom mit der Absorptionsflüssigkeit (MEA, ionische Flüssigkeiten) kontaktiert. Diese rieselt durch die Füllkörperschicht und wird im Sumpftank aufgefangen. Dabei wird das im Gas enthaltene CO₂ im Absorptionsmittel gebunden.

Wie auch beim Vorwäscher liegt die Füllkörperschüttung auf einem Siebboden (Lochblech) im Kolonnenstutzen des Sumpftanks. Die Aufgabe des Absorptionsmittels erfolgt wieder über einen Flüssigkeitsverteiler – hier jedoch am Kopf der Kolonne. (Abbildung 30)

Über einen Differenzdrucktransmitter PDIR 2.2 wird der Druckabfall über die Kolonne gemessen. Hierfür befindet sich eine Druckmessstelle am Kolonnenstutzen des Sumpftanks. Für die zweite Messstelle am Kopf der Kolonne wird dieselbe Öffnung verwendet, die auch zur Temperaturmessung TIR 2.3 dient. Der Differenzdrucktransmitter ist durch Gummischläuche mit den Messstellen verbunden, wobei auf einen ausreichenden Innendurchmesser geachtet wurde, um einem Verschluss der Leitung durch Kondensatwasser vorzubeugen. Die fallende Schlauchleitung vom Kopf der Kolonne wurde bis ca. einen halben Meter unter das Druckmessgerät geführt. An diesem Punkt ist ein T-Stück angebracht, von dem eine steigende Leitung zum Messgerät führt und ein zweites kurzes Schlauchstück zu einem kleinen Entleerungskugelhahn. Dadurch wird das Messgerät geschützt und das angefallene Kondensat kann abgelassen werden. Weiters ist die Falleitung wärmeisoliert und beheizt, um ein Einfrieren von Kondensatwasser zu verhindern. (Abbildung 30)

Das Rauchgas verlässt den Absorber am Kopf der Kolonne. Im folgenden vertikalen Rohrstück befinden sich eine zweite Messblende (FIR 05) mit den dazugehörigen Druckmessstellen (PDIR 05) sowie eine weitere Probenahmestelle (QIR 05) zur kontinuierlichen CO₂-Messung. Anschließend verlässt das Rauchgas die Anlage und wird an die Umgebung abgegeben. (Abbildung 29 und Abbildung 20)

4.2.2 Waschmittelkreislauf

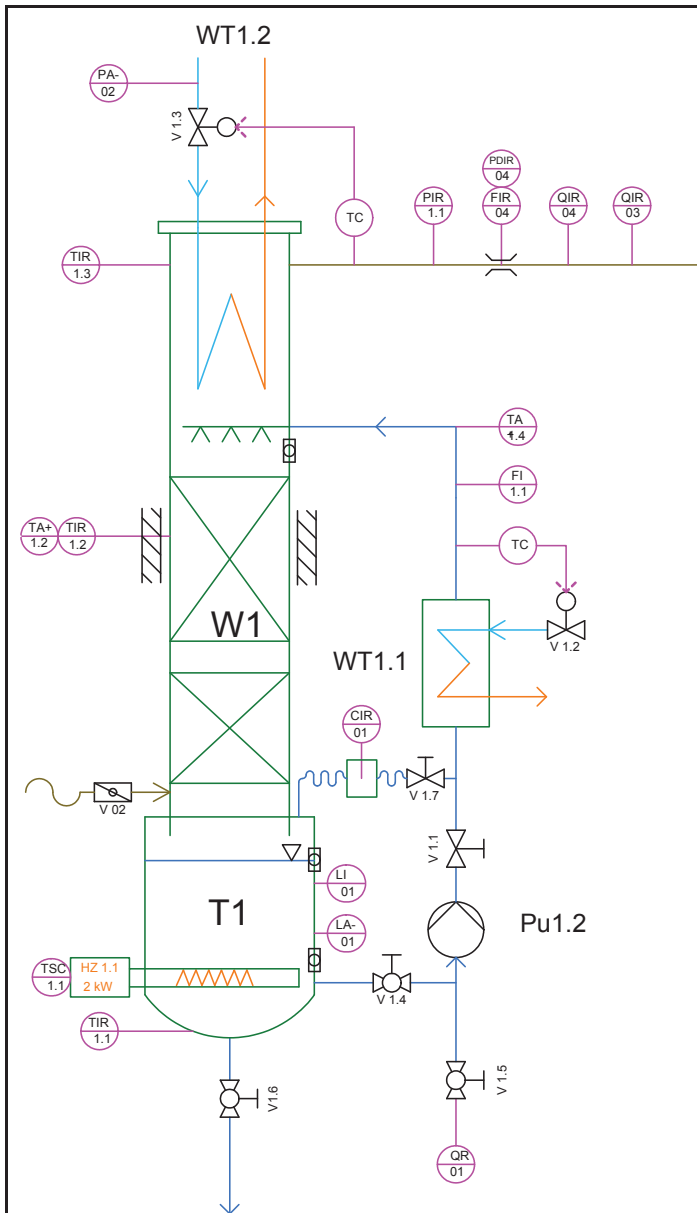


Abbildung 31: R&I Ausschnitt W1

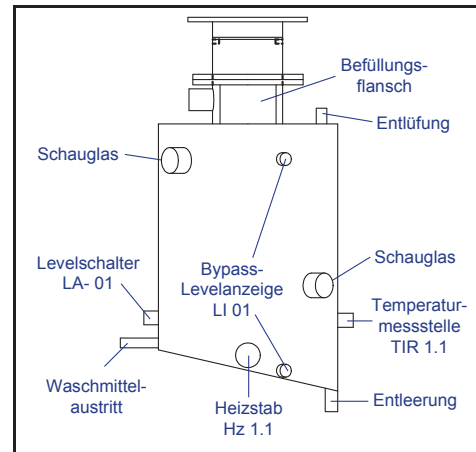


Abbildung 32: Skizze T1

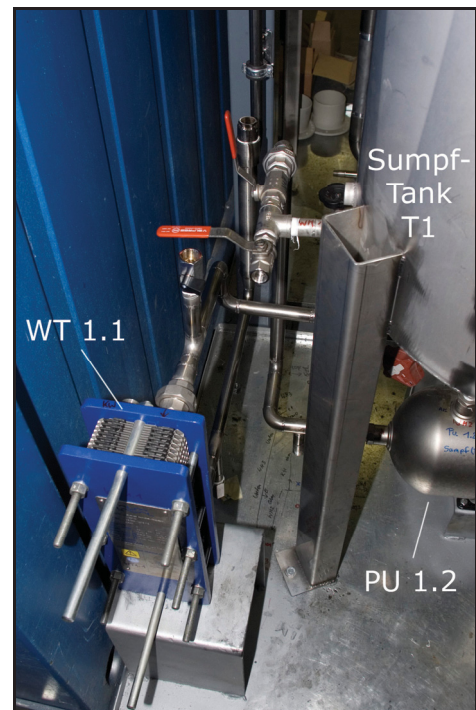


Abbildung 33: Foto WT 1.1

Der Vorwäscher ist wie die gesamte Anlage auf einen Rauchgasdurchsatz von max. 20 Nm³/h und einem Flüssigkeitsvolumenstrom von max. 250 l/h ausgelegt. Als zirkulierendes Waschmittel wird eine wässrige NaHCO₃-Lösung eingesetzt. Vorberechnungen ergaben, dass ca. 8 g/h NaHCO₃ für eine Abtrennung von 200 mg/Nm³ SO_x auf 10 mg/Nm³ SO_x benötigt werden. Der Sumpftank (T1) ist zu ¾ mit der gesättigten Waschlösung (Löslichkeit NaHCO₃ 96 g/l) gefüllt. Dies entspricht einem Volumen von ca. 45 l, wodurch sich eine minimale Betriebsdauer pro Füllung (abhängig vom tatsächlichen SO_x-Gehalt) von ca. 540 Betriebsstunden ergibt. Die Konzentration der Waschlösung wird über eine Leitfähigkeitsmessung (CIR 01) ständig kontrolliert. Dazu wird ein kleiner Teil der Waschflüssigkeit über Schlauchverbindungen im Bypass zum Absorber wieder in den Sumpftank zurückgeführt.

In dieser Bypass-Leitung befindet sich ein Kunststoffbehälter, in den die Leitfähigkeitselektrode eingeschraubt ist.

Die Durchflussmenge über den Bypass kann durch das Ventil V 1.7 angepasst werden. Sinkt die Leitfähigkeit der Waschlösung unter einen bestimmten Wert, muss diese getauscht werden. (Abbildung 31)

Aus Platzgründen und zur Verbesserung der Zugänglichkeit zu den Anschlüssen ist der Sumpftank auf drei Standfüßen 60 cm über der Bodenwanne montiert.

Der Sumpftank (T1) ist gasdicht ausgeführt und so dimensioniert, dass er bei Stillstand die gesamte Waschlösung aufnehmen kann. Mit Hilfe der Stützheizung Hz 1.1 ist es möglich, eine Flüssigkeitstemperatur von 30 - 65 °C einzustellen. Bei Stillstand der Anlage dient sie der Frostschutzsicherung. Durch den abgeschrägten Boden des Sumpfbehälters und die Anordnung des Waschmittelaustritts wird ein „Trockenlaufen“ des Heizstabes verhindert (Abbildung 32). Die Temperatur im Sumpftank wird mit einem Temperaturfühler (TIR 1.2) gemessen.

Zur Überwachung der minimalen Füllstandsmenge ist ein Levelschalter (LA- 01) eingebaut. Bei Unterschreiten der minimalen Flüssigkeitsmenge wird eine schaltende Störung ausgelöst und zusätzlich die Pumpe Pu 1.2 und das Sumpfheizregister Hz 1.1 verriegelt. Eine Überwachung des Maximalstandes ist vorgesehen (Anschluss vorhanden), jedoch nicht eingebaut. Zur Vorort-Kontrolle des Füllstandes ist ein transparentes Schlauchstück als Bypass-Levelanzeige (LI 01) angebracht.

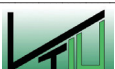
Durch die unter dem Tank montierte Pumpe Pu 1.2 wird die Waschlösung aus dem Sumpf zum Flüssigkeitsverteiler hoch gepumpt. Die Einstellung der Umlaufmenge erfolgt von Hand durch das Drosselventil V 1.1. Der aktuelle Wert kann in der Anlage am eingebauten Schwabekörper-Durchflussmesser FI 1.1 abgelesen werden.

Zur Rückkühlung der Waschlösung (Absorption exotherm) ist ein Wärmetauscher WT 1.1 (Abbildung 33) in der Druckleitung vorgesehen. Hierbei handelt es sich um einen Plattenwärmeübertrager der Firma Alfa Laval vom Typ T2-BFG. Auslegungsgrundlage war die Kühlung von 60 °C auf 30 °C bei einem Durchfluss von 250 l/h und Verwendung von Kühlwasser mit 20 °C. Die Regelung der Rückkühlung ist unter Kapitel 4.2.7.6 beschrieben. Weitere Daten können Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Daten Wärmeübertrager WT 1.1

R&I Bezeichnung	Hersteller Typ	Plattenanzahl	Dichtung	Austauschfläche	p _{max}	Max./ Min. Temperatur
WT 1.1	Alfa Laval T2-BFG	17	EPDM	0,3 m ²	6 bar	0 °C /90 °C

Zur Begrenzung der maximalen Vorlauftemperatur ist nach dem Wärmeübertrager ein Temperaturwächter (TA+ 1.4) eingebaut. Bei Überschreiten des voreingestellten Wertes wird eine schaltende Störung der Gruppe 2 ausgelöst und zusätzlich die Sumpfheizung Hz 1.1 verriegelt.



4.2.3 Absorptionsmittelkreislauf

In diesem Kapitel wird der Kreislauf des Absorptionsmittels ausgehend von der beladenen Lösung (reichen Lösung) im Absorbersumpftank T2 beschrieben. Der behandelte Bereich ist in Abbildung 34 dargestellt. Auf das am Kopf des Desorbers austretende CO₂-Wasserdampf-Gemisch bzw. die Abtrennung des Wasserdampfs vom CO₂-Starkgas wird erst im Kapitel 4.2.4 eingegangen. Ebenso werden die drei vorhandenen Bypassleitungen zunächst ausgespart und später am Ende dieses Kapitels (Punkt 4.2.3.7) erläutert.

Die Anlage wurde mit einem möglichst geringen Füllungsvolumen gebaut, um eine rasche Einstellung auf einen Betriebspunkt zu ermöglichen. Die Gesamtmenge an Absorptionsmittel in der Anlage beträgt ca. 120 l.

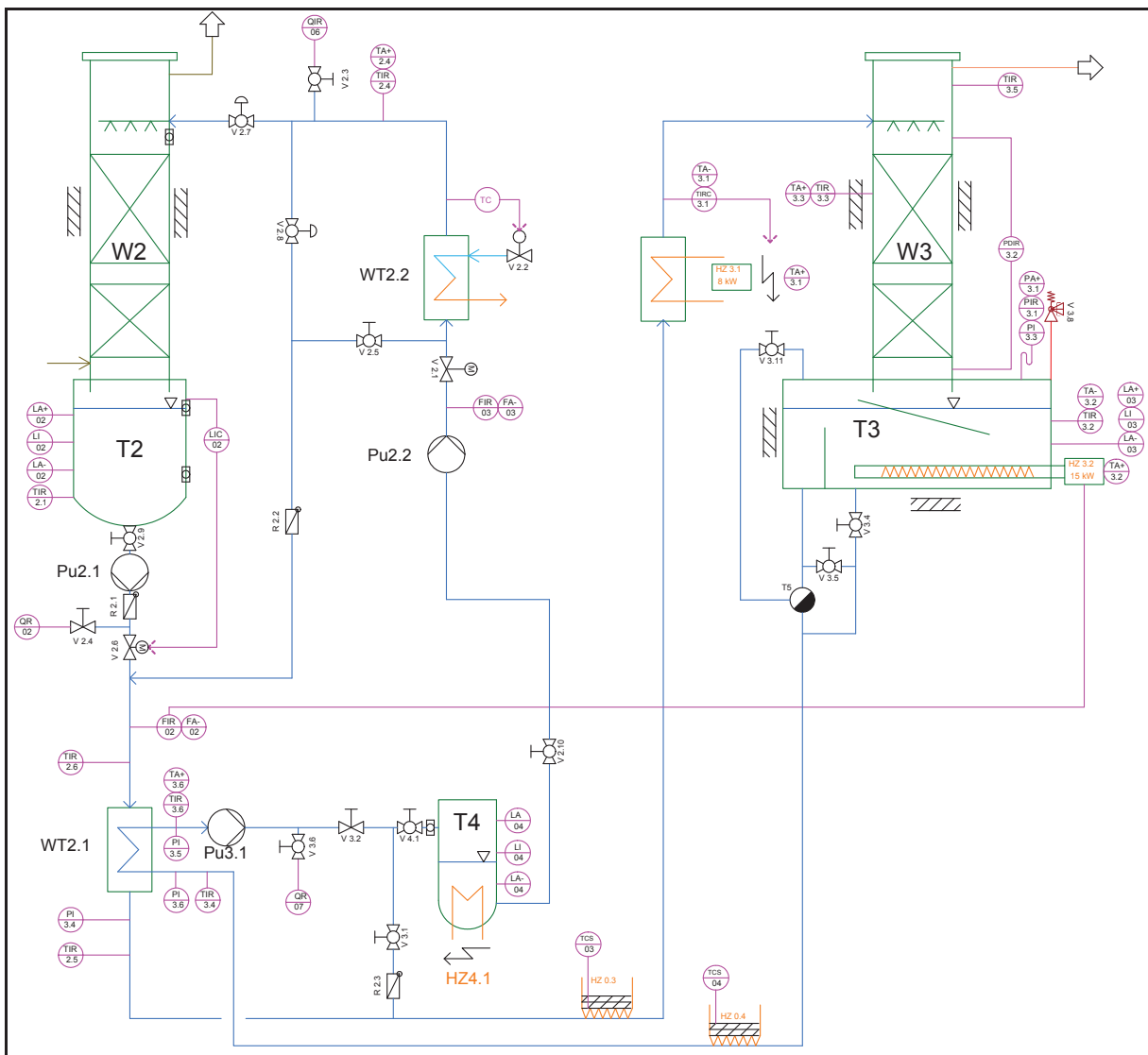


Abbildung 34: RI-Ausschnitt Absorptionsmittelkreislauf

Aufgrund der kompakten Bauweise der Anlage und der Wärmedämmung ist die Rohrleitungsführung sehr unübersichtlich. Aus diesem Grund befinden sich im Anhang isometrische Rohrleitungsschemen, in denen der tatsächliche Verlauf der Leitungen (inkl. Einbauten, Entleerungen und Entlüftungen) eingezeichnet ist.



4.2.3.1 Absorbersumpftank T2

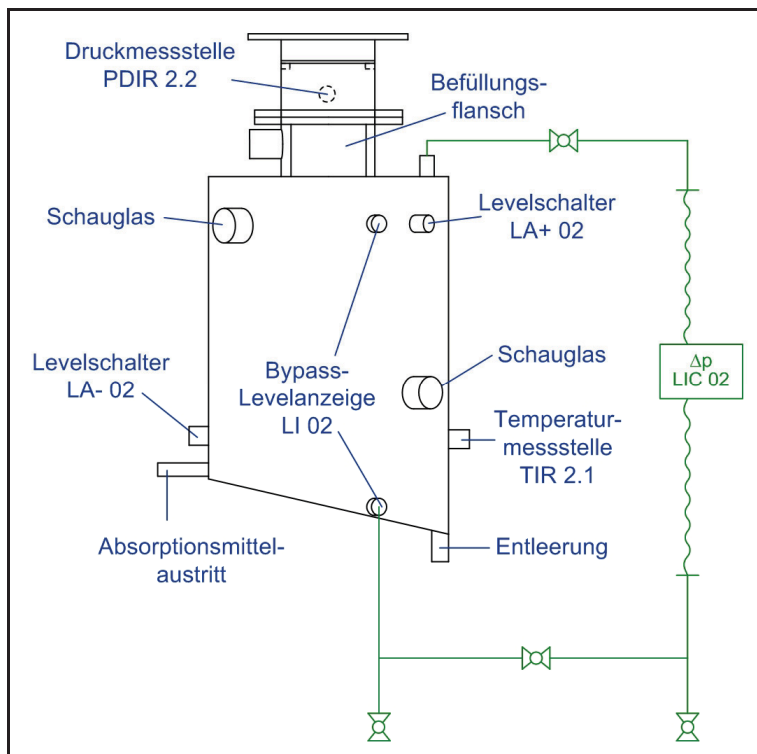


Abbildung 35: Skizze T2



Abbildung 36: Foto T2

Das beladene Absorptionsmittel sammelt sich im Sumpftank des Absorbers (T2), der als Speicher für die reiche Lösung dient. Wie auch der Sumpftank des Vorwäschers ist dieser auf drei Standfüßen 60 cm über der Bodenwanne montiert, um die Zugänglichkeit zu erhöhen.

Zur Beheizung des Sumpftanks ist eine Anschlussmöglichkeit vorgesehen, jedoch wurde keine Heizung eingebaut. Somit muss der Sumpftank im Frostschutzbetrieb entleert werden.

Zur Füllstandsüberwachung im Sumpfbehälter sind Levelschalter für den Minimalstand (LA- 02) und den Maximalstand (LA+ 02) eingebaut. Bei Überfüllung wird eine schaltende Störung ausgelöst. Flüssigkeitsmangel hingegen führt lediglich zu einer Störungsanzeige und zusätzlich zur elektrischen Verriegelung der nachfolgenden Pumpe (Pu 2.1). Zur Kontrolle des Füllstandes in der Anlage ist ein transparentes Schlauchstück als Bypass-Levelanzeige (LI 02) angebracht.

Weiters dient der Füllstand (LIC 02) als Regelgröße für den Ablaufvolumenstrom. Hierfür wird mit Hilfe eines Differenzdrucktransmitters die Füllhöhe im Sumpftank kontinuierlich gemessen. Die erste dazugehörige Messstelle befindet sich im Deckel des Tanks und ermittelt den Referenzdruck (Low Pressure Anschluss am Gerät). Die zweite Messstelle für den Überdruck (durch die Flüssigkeitssäule verursacht – High Pressure Anschluss am Gerät) sitzt am unteren Anschluss der Bypasslevelanzeige. Durch die Anordnung der Kugelhähne zur Absperrung und Entleerung kann sichergestellt werden, dass der Differenzdrucktransmitter immer durch einen Luftpolster vor einem Flüssigkeitsschaden geschützt ist. (Abbildung 35)

Durch die unter dem Tank liegende Pumpe Pu 2.1 wird das reiche Absorptionsmittel aus dem Sumpf gefördert (Abbildung 36). Im Anschluss an die Pumpe befindet sich ein Rückschlagventil R 2.1, um Rückströmungen im Bypassbetrieb bzw. generell aufgrund des Überdrucks im Desorber zu unterbinden. An der Probenahmestelle QR 02 werden die Absorptionsmittelproben der reichen Lösung zur Beladungsbestimmung im Labor entnommen.

Durch das elektrisch betriebene Stellventil V 2.6 wird der Ablaufvolumenstrom aus dem Absorbentank bzw. der Feedvolumenstrom des Desorbers in Abhängigkeit vom Füllstand (LIC 02) im Sumpf T2 geregelt. Die nachfolgende Durchflussmessung FIR 02 erfasst den aktuellen Volumenstrom, der weiters als Regelgröße für die Heizleistung im Desorbersumpf verwendet wird.

Die Temperaturmessung TIR 2.6 ist zur Bilanzierung des nachfolgenden Wärmetauschers vorgesehen. Da die Temperatur an dieser Stelle jedoch mit der Temperatur im Sumpftank übereinstimmt (bis auf minimale Wärmeverluste in der Rohrleitung), wurde der Temperaturfühler zwar montiert aber nicht angeschlossen.

4.2.3.2 Wärmeübertrager WT 2.1



Abbildung 37: Foto WT 2.1

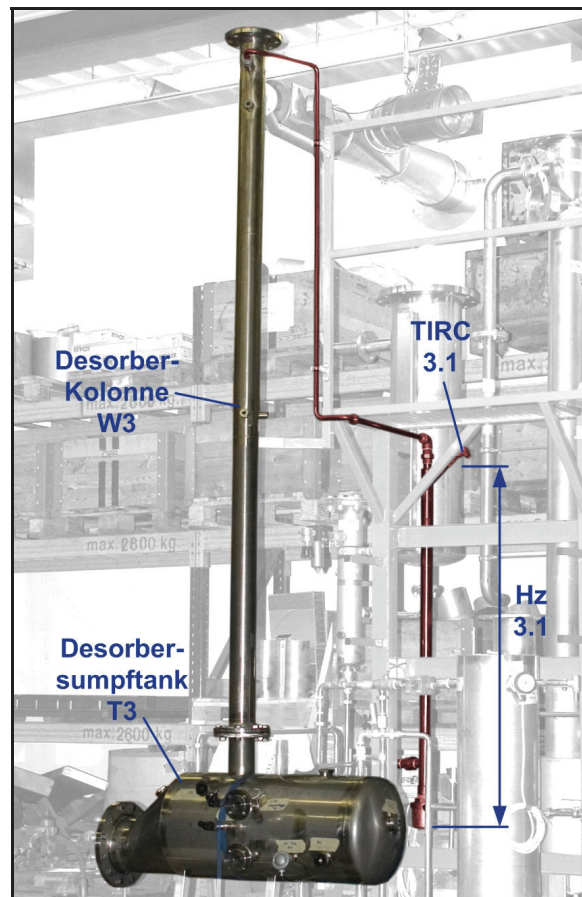


Abbildung 38: Foto Hz 3.1, Feed W2

Die Absorptionsflüssigkeit wird durch einen zweistufigen Prozess auf die Austreibungstemperatur erwärmt.

In der ersten Stufe findet eine Wärmerückgewinnung von der heißen Absorptionslösung (Rücklauf vom Desorber) auf die kalte beladene Absorptionsflüssigkeit (Vorlauf Desorber) statt. Hierfür wird ein Plattenwärmeübertrager (Abbildung 37) eingesetzt, der auch schon in der alten Versuchsanlage der Firma ABC verwendet wurde. Die Eignung für diesen neuen Einsatzzweck wurde von der Herstellerfirma geprüft und nachkalkuliert. Dabei ergaben sich bei Durchflüssen von 250 l/h und Eintrittstemperaturen von 100 °C und 30 °C, Austrittsspreizungen von 8 K (dh kalte Flüssigkeit auf 92 °C erwärmt, heiße Flüssigkeit auf 38 °C gekühlt). Weitere Daten können Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Daten Wärmeübertrager WT 2.1

R&I Bezeichnung	Hersteller Typ	Plattenanzahl	Dichtung	Austauschfläche	p _{max}	Max./ Min. Temperatur
WT 2.1	thermowave TL 90 HBCL	31	EPDM	2,8 m ²	6 bar	0 °C/ 100 °C

Nach dem Wärmeübertrager befindet sich eine weitere Temperaturmessstelle TIR 2.5 (zur Bilanzierung) sowie ein Manometer PI 3.4 zur Vorortkontrolle des Drucks in der Anlage.

Die restliche Erwärmung auf die Austreibungstemperatur erfolgt durch ein vertikal montiertes Elektrodurchflussheizregister Hz 3.1 (Abbildung 38) (ebenfalls aus dem Bestand der alten Anlage) mit einer Heizleistung von 8 kW. Dies entspricht einer Erwärmung von ca. 25 K bei einem Durchfluss von 250 l/h. Die Heizung ist durch einen eingebauten Temperaturschalter TA+ 3.1 vor Überhitzung geschützt. Bei Überschreitung der zulässigen Temperatur wird eine schaltende Störung ausgelöst und das Heizregister elektrisch verriegelt. In diesem Fall muss zur Störungsbehebung zusätzlich der Sicherungsknopf direkt am Gerät gedrückt werden. Die Regelung der Heizleistung erfolgt mit Hilfe der Temperaturmessung TIRC 3.1 am oberen Ende des Heizregisters. Am Regelgerät im Container kann die gewünschte Sollwerttemperatur vorgegeben werden.

4.2.3.3 Desorberkolonne W3

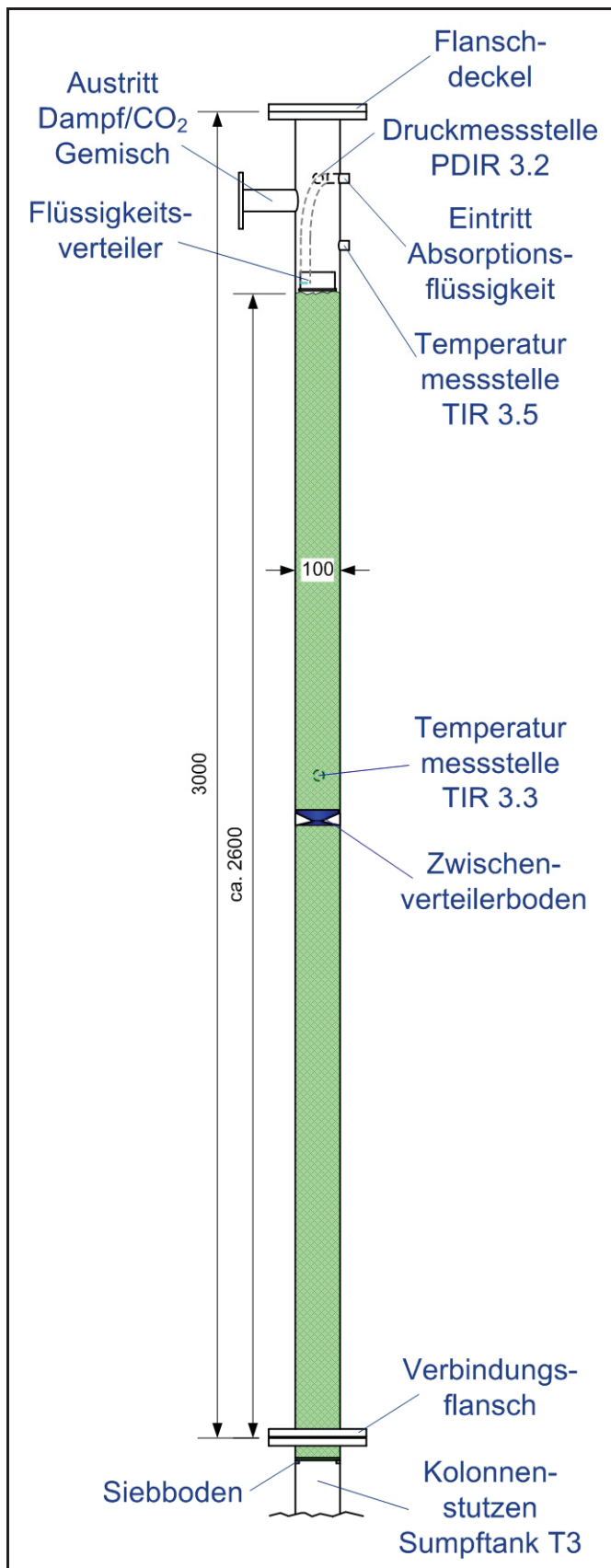


Abbildung 39: Skizze Desorberkolonne

Der gesamte Desorberbereich (Kolonne, Sumpftank, Kondensator) ist geschlossen und druckfest ausgeführt und für Drücke von max. 3 barü ausgelegt.

Bei der Desorberkolonne handelt es sich ebenfalls um eine Füllkörperkolonne (eingesetzte Füllkörper siehe Kapitel 4.2.5). Diese konnte aus der alten Versuchsanlage übernommen werden, wo sie als Hochdruckkolonne verwendet wurde.

Die ca. 2800 mm hohe Füllkörperschicht ruht auf einem Siebboden (Lochblech) im Kolonnenstutzen des Sumpftanks T3. Die Aufgabe der reichen Absorptionslösung erfolgt am Kopf über einen Flüssigkeitsverteiler. Die beladene Flüssigkeit rieselt aufgrund der Schwerkraft durch die Füllkörperschüttung und tritt im Gegenstrom mit dem aufsteigenden Wasserdampf in Kontakt. Ebenfalls am Kopf der Kolonne befinden sich eine Temperaturmessstelle TIR 3.5 (Bestimmung der Austrittstemperatur des Wasserdampf-CO₂-Gemisches) sowie eine Druckmessstelle für die Differenzdruckmessung PDIR 3.2 über die Kolonne. Etwa in der Mitte der Kolonne ist ein Zwischenverteilerboden eingebracht, um der Randgängigkeit der Absorptionsflüssigkeit entgegen zu wirken. In etwa derselben Höhe befindet sich eine weitere Temperaturmessstelle TIR 3.3.

4.2.3.4 Sumpftank T3

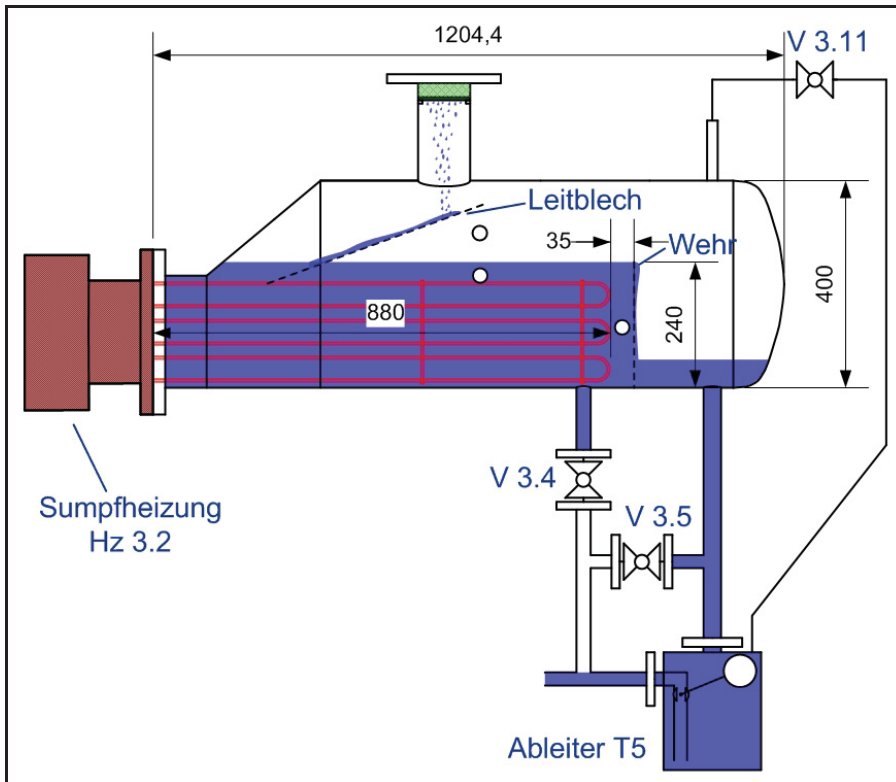


Abbildung 40: Einbauten T3



Abbildung 41: Hz 3.2

Der Sumpftank ist so klein wie technisch möglich ausgeführt und enthält Einbauten, die eine gerichtete Strömung der Flüssigkeit und einen Trockenlaufschutz der Sumpfheizung Hz 3.2 gewährleisten. Das Absorptionsmittel wird nach dem Siebboden durch ein Leitblech abgefangen und in Richtung Anschlussflansch der Heizung abgelenkt. Von dort strömt es in der Wanne in Richtung Wehr. Diese Ablaufsperre stellt sicher, dass die Wanne im regulären Betrieb stets gefüllt ist. (Abbildung 40)

Die Sumpfheizung Hz 3.2 (Abbildung 41) ist als elektrisches Flanschheizregister ausgeführt und produziert den für das Strippen benötigten Dampf. Die Heizleistung von 15 kW entspricht in etwa einer Dampfproduktion von 20 kg/h. Es wurde hierbei auf eine ausreichend große Heizfläche geachtet, um die Oberflächentemperatur der Heizwendeln zur Schonung des Absorptionsmediums gering zu halten. Vor einer Überhitzung schützt ein im Gerät eingebauter Temperaturschalter TA+ 3.2. Bei Überschreitung der zulässigen Temperatur wird eine schaltende Störung ausgelöst und das Heizregister elektrisch verriegelt. In diesem Fall muss hier ebenfalls zur Störungsbehebung zusätzlich der Sicherungsknopf direkt am Gerät gedrückt werden.

Zur Temperaturüberwachung der Absorptionsflüssigkeit in der Wanne wird ein weiterer Temperaturfühler (TIR 3.2) eingesetzt. Hiermit wird auch eine Unterschreitung der voreingestellten Minimaltemperatur angezeigt (TA- 3.2).

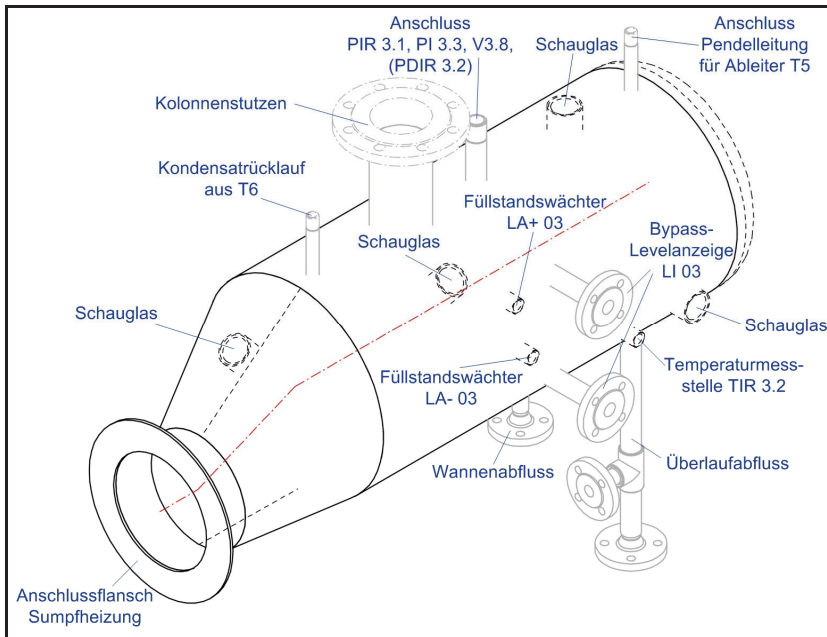


Abbildung 42: Desorber Sumpftank T3

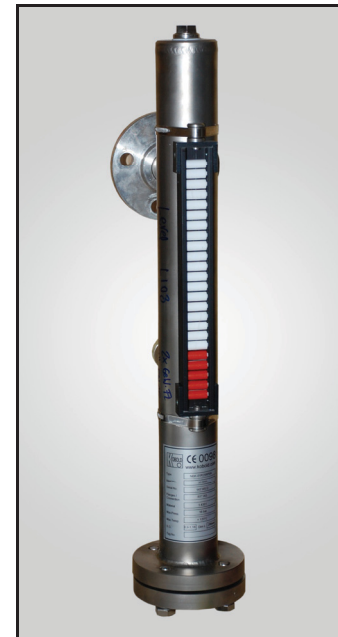


Abbildung 43: LI 03 Foto

Der Füllstand in der Wanne wird durch Levelschalter für den Minimalstand (LA- 03) und den Maximalstand (LA+ 03) überwacht. Die beiden Füllstandsalarmlösungen lösen eine schaltende Störung aus. Zusätzlich werden bei einer Überfüllung die Pumpen Pu 2.1 und Pu 2.2 und bei einem Flüssigkeitsmangel die Sumpfheizung elektrisch verriegelt. Zur Vorort-Kontrolle des Füllstandes dient eine geschlossene Niveauanzeige LI 03 (Abbildung 43), die mit Hilfe eines magnetischen Schwimmers die Lage des Flüssigkeitsspiegels wiedergibt.

Der Desorber stellt aufgrund des hohen Drucks das größte Gefahrenpotential dar und ist deshalb in dieser Hinsicht besonders gesichert. Durch einen Drucktransmitter (PIR 3.1) wird der Überdruck in diesem Anlagenteil ständig gemessen. Bei Überschreitung des zulässigen Drucks wird über den Druckschalter PA+ 3.1 eine schaltende Störung ausgelöst und zusätzlich die Sumpfheizung verriegelt. Der Druck im Absorber wird redundant überwacht. Ein weiterer Druckschalter PA++ 3.1 befindet sich im Ableiterbehälter T6 des Kondensators WT 3.2. Als mechanische Sicherung ist im Sumpftank ein Sicherheitsventil V 3.8 mit einem Ansprechdruck von 3 bar verbaut.

Die unbeladene Absorptionsflüssigkeit fließt über das Wehr in die Überlaufwanne und von dort weiter zum Abscheider T5. Dieser arbeitet mit einem Schwimmer, der die Ablauföffnung erst ab einem gewissen Füllstand im Ableiterbehälter freigibt und somit die Flüssig- von der Gasphase trennt. Die Pendelleitung zurück in den Sumpftank dient zum Druckausgleich.

Durch den Bypasskugelhahn V 3.5 kann der Ableiter umgangen werden. V 3.4 dient lediglich der Entleerung der Wanne.

Nach dem Ableiter tritt die unbeladene Absorptionsflüssigkeit in den Rekuperationswärmeübertrager WT 2.1 ein und wird im Gegenstrom durch das kalte beladene Medium gekühlt. Vor und nach dem Wärmetauscher befinden sich jeweils eine Temperaturmessstelle (TIR 3.4 und TIR 3.6) zur Bilanzierung und ein Manometer (PI 3.6 und PI 3.5) zur Vorort-Kontrolle des

Drucks. Der Temperaturwächter TA+ 3.6 schützt vor zu hohen Rücklauftemperaturen aus dem Wärmetauscher. Bei Überschreitung der eingestellten Temperatur wird eine schaltende Störung ausgelöst und zusätzlich die nachfolgende Pumpe Pu 3.1 elektrisch verriegelt.

Die Pumpe 3.1 fördert im drucklosen und druckarmen Betrieb des Desorbers das Absorptionsmedium vom Desorber in den nachfolgenden Puffertank T4. Weiters kann dadurch eine vollständige Entleerung der Reboilerwanne gewährleistet werden. Ab einem gewissen Druck im Desorber wird diese Pumpe nicht benötigt, da das vorliegende Druckgefälle (Puffertank atmosphärischer Druck) ausreicht, um die Druckverluste in der Rohrleitung zu überwinden. Aufgrund der hohen Temperaturen wurde der Einbauort erst nach dem Wärmetauscher gewählt und eine kavitationsunempfindliche Pumpe eingesetzt.

An der Probenahmestelle QR 02 werden die Absorptionsmittelproben der armen Lösung zur Beladungsbestimmung im Labor entnommen.

Das Nadelventil V 3.2 wird vor allem im Bypassbetrieb zur Regulierung des Volumenstroms benötigt. Der nachfolgende Kugelhahn V 4.1 dient im Bypassbetrieb zur Absperrung des Puffertanks. (siehe Kapitel 4.2.3.7)

4.2.3.5 Pufferbehälter T4

Der Pufferbehälter ist der Speicher für die arme Lösung und gleicht das schnelle Verhalten des Absorbers und das träge Verhalten des Desorbers aus. Weiters wird der Tank zur Befüllung der Anlage (Befüllflansch im Deckel) mit Absorptionsmittel verwendet.

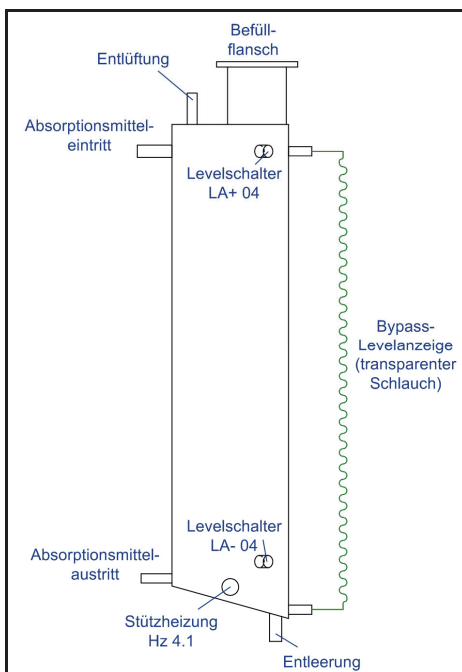


Abbildung 44: T4 Skizze

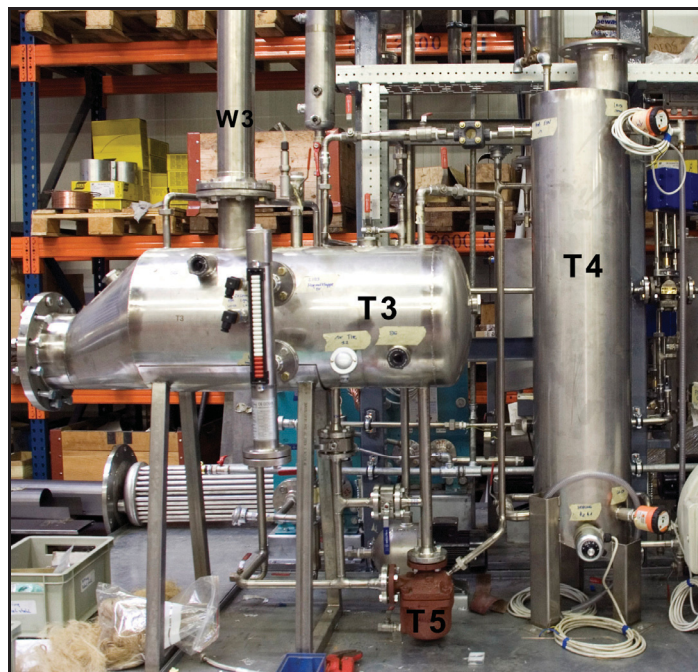


Abbildung 45: T4 Foto Montagezustand

Der Behälter wurde so ausgelegt, dass im Frostschutzbetrieb die gesamte Absorptionsflüssigkeit im Desorbersumpftank T3 und im Puffertank T4 aufgenommen und warmgehalten werden kann (Absorbersumpftank T2 entleert).

Aus dieser Bedingung ergab sich ein Behältervolumen von ca. 90 l. Die Gesamtmenge an Absorptionsmittel in der Anlage beträgt ca. 120 l.

Der Pufferbehälter wird drucklos betrieben und ist über die Entlüftung im Deckel zur Umgebung hin offen. Zur Beheizung im Frostschutzbetrieb ist eine Heizstab Hz 4.1 eingebaut. Die Einstellung der gewünschten Warmhaltetemperatur erfolgt direkt am Gerät. Durch den schräg ausgeführten Tankboden wird auch hier ein Trockenlaufen der Heizung verhindert (Abbildung 44 und Abbildung 45).

Zur Füllstandsüberwachung dienen auch hier Levelschalter für den Minimalstand (LA- 04) und den Maximalstand (LA+ 04). Beide lösen eine schaltende Gruppenstörung aus, wobei bei einer Überfüllung zusätzlich die Pumpen Pu 3.1 und Pu 2.1 verriegelt werden. Als Bypass-Levelanzeige wird auch hier ein transparentes Schlauchstück eingesetzt (LI 04).

Das unbeladene Absorptionsmittel verlässt den Tank über den Ablauf im unteren Bereich und wird über die Pumpe 2.2 in Richtung Absorber gefördert. Der Kugelhahn V 2.10 dient zum Absperrern des Puffertanks im Frostschutzbetrieb.

Die nachfolgende Durchflussmessung FIR 03 erfasst den aktuellen Volumenstrom, der weiters als Regelgröße für den Hub des elektrisch betriebenen Stellventils V 2.1 verwendet wird. Dadurch kann am Regelgerät im Container der Feedvolumenstrom des Absorbers vorgegeben werden. Bei einer zu geringen Durchlaufmenge wird durch den Durchflusswächter FA-03 zeitverzögert (zur Anfahrüberbrückung) eine schaltende Störung ausgelöst.

4.2.3.6 Wärmeübertrager WT 2.2

Zur restlichen Abkühlung des Absorptionsmediums auf die gewünschte Absorberfeedtemperatur wird ein Plattenwärmeübertrager (WT 2.2) eingesetzt. Dieser wurde ebenfalls aus der alten Versuchsanlage übernommen und wird mit Kühlwasser betrieben. Weitere Daten können Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 5: Daten Wärmeübertrager WT 2.2

R&I Bezeichnung	Hersteller Typ	Plattenanzahl	Dichtung	Austauschfläche	p _{max}	Max./ Min. Temperatur
WT 2.2	thermowave TL 50 HBCL		EPDM		6 bar	0 °C/ 100 °C

Zur Temperaturüberwachung des Absorberzulaufs befindet sich im Anschluss an den Wärmetauscher eine Messstelle (TIR 2.4). Wird die maximale Feedtemperatur überschritten, wird über einen Grenzwertschalter (TA+ 2.4) eine schaltende Störung ausgelöst.

Der pneumatische Kugelhahn V 2.7 wird vom Container aus über ein elektrisch angesteuertes 5/3-Wegeventil (V 32) geschaltet. Dieses Ventil wird bei Störungen der Gruppe 3 (siehe Kapitel 4.2.8) automatisch geschlossen und kann weiters verwendet werden, um den Absorber zu umgehen (Bypassbetrieb).



4.2.3.7 Bypassleitungen

Im Absorptionsmittelkreislauf sind insgesamt drei Bypassleitungen eingebaut. Diese sind für den Anfahrbetrieb, Störungsbetrieb und den Frostschutzbetrieb vorgesehen. Im normalen Betriebszustand sind alle Bypasskugelhähne V 2.8 (pneumatisch), V 2.5 und V 3.1 geschlossen.

kleiner Absorptionsmittelkreis:

- Bypass über V 3.1

Das Absorptionsmittel wird im kleinen Kreis durch den Desorber gepumpt. Puffertank T4 und Absorber werden nicht durchströmt (V2.6 und V 4.1 geschlossen). Es ist lediglich Pumpe Pu 3.1 in Betrieb. Die Regelung der Umlaufmenge erfolgt über das Ventil 3.2. Dieser Bypasskreis wird vor allem im Anfahrbetrieb – um den Desorber auf Temperatur zu bringen - und im Frostschutzbetrieb gefahren.

mittlerer Absorptionsmittelkreis:

Das Absorptionsmittel wird im mittleren Kreis durch den Desorber und den Pufferbehälter gepumpt. Der Absorber wird nicht durchströmt (V2.6 und V 2.7 geschlossen). Die Pumpen Pu 3.1 und Pu 2.2 sind in Betrieb, und der Volumenstrom wird über das Stellventil V 2.1 geregelt. Diese beiden Bypasskreise werden vor allem im Anfahrbetrieb – um das Absorptionsmedium zu homogenisieren - und im Störungsbetrieb - um den Desorber warm zu halten - gefahren.

- Bypass über V 2.5

Der pneumatische Bypasskugelhahn V 2.8 ist geschlossen. Der Wärmeübertrager WT 2.2 wird hier nicht durchströmt.

- Bypass über V 2.8

Der Bypasskugelhahn V 2.5 ist geschlossen. Der Wärmeübertrager WT 2.2 wird durchströmt.

4.2.4 CO₂-Starkgas, Wasserdampfabscheidung

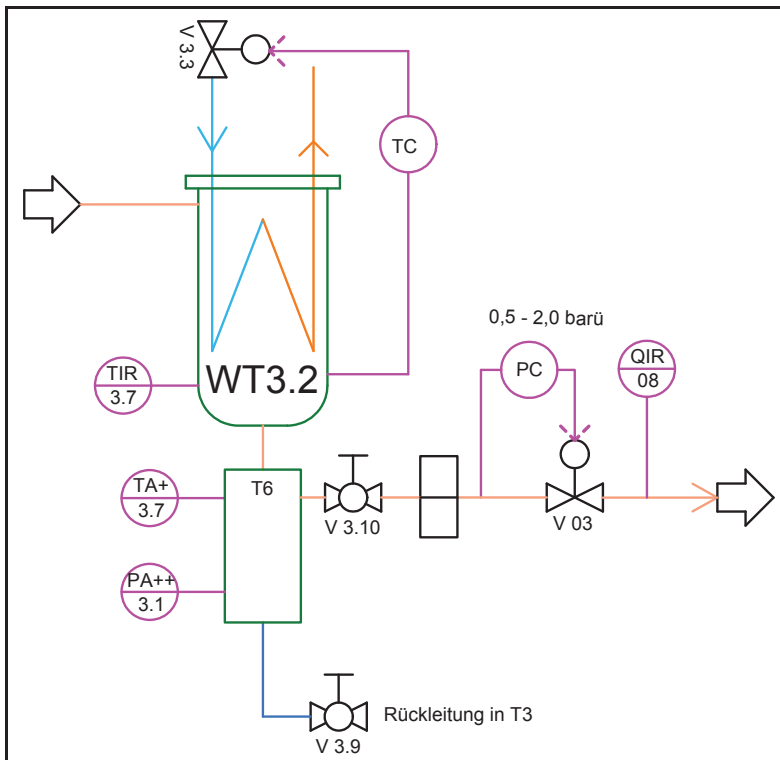


Abbildung 46: R&I-Ausschnitt Wasserdampfabscheidung



Abbildung 47: Foto Wasserdampfabscheidung

Das CO₂-Wasserdampf-Gemisch verlässt den Desorber am Kopf der Kolonne und wird über ein DN40-Rohr in den Kondensator WT 2.3 geführt. Hier erfolgt die Abtrennung des Dampfes durch Kondensation. Eingesetzt wird ein Glattrohr-Wärmeübertrager, der als Einbauregister ausgeführt ist (Abbildung 49). Dieses ist mit den Anschlüssen im Flanschdeckel verschraubt und wird von oben in den zylindrischen Behälter eingesetzt (Abbildung 48). Weitere Daten des eingesetzten Wärmeübertragers können Tabelle 6 entnommen werden.

Tabelle 6: Daten Einbauregister Wärmeübertrager WT 3.2

R&I Bezeichnung	Hersteller Typ	Gewicht	Material	Austauschfläche	p _{max}	Druckverlust
WT 3.2	Ecotherm WBE-40-D	40,6 kg	Edelstahl 1.4571	4 m ²	11 bar	377 mbar

Am Behälter des Wärmetauschers befinden sich eine Temperaturmessstelle TIR 3.7 und eine Tauchhülse, die zur Aufnahme des Fühlers zur Kühlwasserregelung dient.

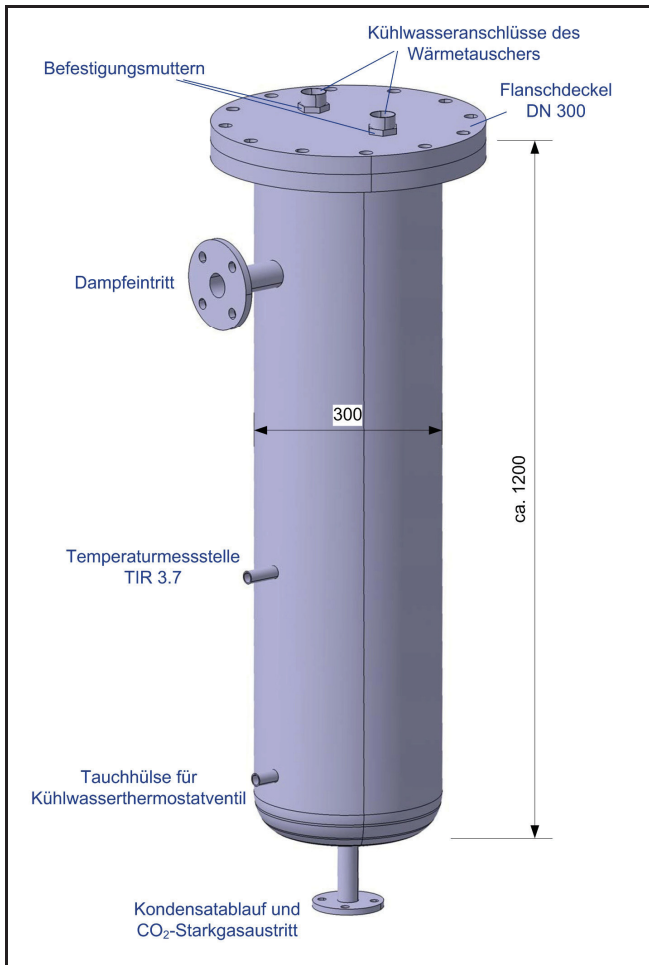


Abbildung 48: 3-D Abbildung WT 3.2



Abbildung 49: Einbauregister WT 3.2

Das CO₂-Starkgas verlässt zusammen mit dem Kondensat den Wärmetauscher durch den Rohrstutzen am Boden des Behälters und tritt anschließend in den Ableiter T6 ein. Dabei handelt es sich um einen zylindrischen Behälter, der als Puffer für das Kondensat dient. Dieses wird aus dem Ableiter über einen Siphon wieder in den Desorbersumpftank zurückgeführt. Der Siphon verhindert dabei, dass Dampf aus dem Sumpftank in den Ableiter gelangt. Weiters sind in den Behälter der vorhin schon erwähnte Druckschalter PA++ 3.1 und ein Temperaturschalter TA+ 3.7 eingebaut. Der Temperaturschalter dient der Funktionskontrolle des Wärmetauschers und löst bei zu hoher Temperatur (Wasserdampf im Ableiter) eine schaltende Störung aus. Über ein im oberen Bereich des Ableiters montiertes Rückschlagventil wird der beim Abkühlen der Anlage entstehende Unterdruck zur Umgebung hin abgebaut.

Ebenfalls im oberen Bereich verlässt das CO₂-Starkgas den Ableiter und gelangt über einen Filter zum Vordruckventil V 03. Dieses kann auf den gewünschten Vordruck (0,5 - 2 bar) eingestellt werden und lässt nur so viel Gas durch, dass der Druck in der Anlage konstant gehalten wird.

Die nachfolgende Probenahmestelle QIR 08 dient der kontinuierlichen CO₂-Messung. Das CO₂-Starkgas wird anschließend über einen Balgengaszähler an die Umgebung abgegeben.

4.2.5 Füllkörper und Flüssigkeitsverteiler



Abbildung 50: Füllkörper W1 und W2



Abbildung 51: Füllkörper W3

Für den Vorwäscher W1 und den Absorber W2 werden Pall-Ring-Füllkörper aus Polypropylen mit einem Durchmesser von 15 mm eingesetzt. In der Desorptionskolonne kommen ebenfalls Pall-Ring-Füllkörper zum Einsatz. Aufgrund der höheren Temperaturen im Desorber bestehen diese jedoch aus Edelstahl und haben einen Durchmesser von 25 mm.

Pall-Ring-Füllkörper sind kleine Hohlzylinder mit Schaufeln, die nach innen zeigen (Abbildung 50). Dieser Füllkörpertyp zeichnet sich durch geringe Druckverluste und hohe Belastbarkeit aus. Weitere Daten zu den verwendeten Füllkörpern können Tabelle 7 entnommen werden.

Tabelle 7: Nenndaten Füllkörper

Bezeichnung	Typ	Werkstoff	Größe [cm]	Gewicht [kg/m ³]	Oberfläche [m ² /m ³]	Freies Volumen [%]
Füllkörper W1 und W2	Pall-Ring	Polypropylen	15	80	350	91
Füllkörper W3	Pall-Ring	Edelstahl 1.4301	25	360	210	95

Flüssigkeitsverteiler:

Als Flüssigkeitsverteiler dienen Abflussrohrkappen (Polo-Kal) mit Bohrungen. Dabei wurde über den gewünschten Volumenstrom und die Höhe (Füllhöhe) der Kappen der Austrittsquerschnitt berechnet und die entsprechenden Bohrungen im Boden der Kappe vorgenommen. Weitere Daten können Tabelle 8 entnommen werden.

Tabelle 8: Daten Flüssigkeitsverteiler

Einbauort	Nennweite	Werkstoff	Anzahl der Bohrungen	Durchmesser der Bohrungen	max. Volumenstrom
W1	DN 110 x 2,7	Polo-Kal	13	5 mm	400 l/h
W2	DN 110 x 2,7	Polo-Kal	9	4 mm	200 l/h
W3	DN 75 x 2,7	Polo-Kal	9	4 mm	200 l/h

In drei zusätzlichen Löchern je Kappe wurden kurze Gewindestangen überstehend eingeschraubt. Die Flüssigkeitsverteiler stecken mit den Gewindestangen in der Füllkörperschicht und sind somit fixiert. Die Absorptionslösung wird über kurze Schlauchstücke von den Anschlussöffnungen der Kolonne in die Flüssigkeitsverteiler gelenkt (Abbildung 52 und Abbildung 53).

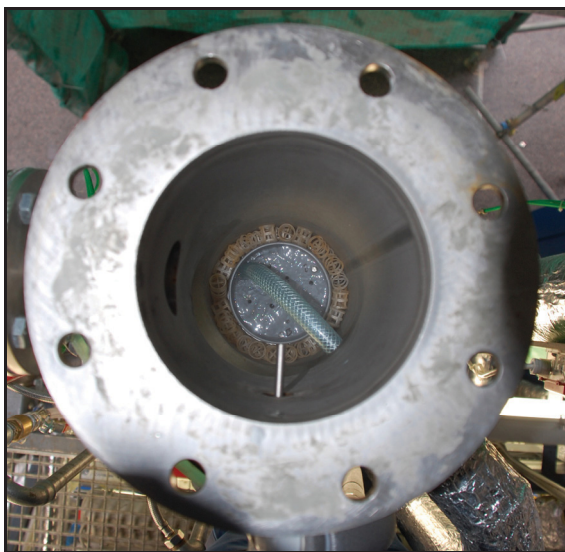


Abbildung 52: Flüssigkeitsverteiler W2

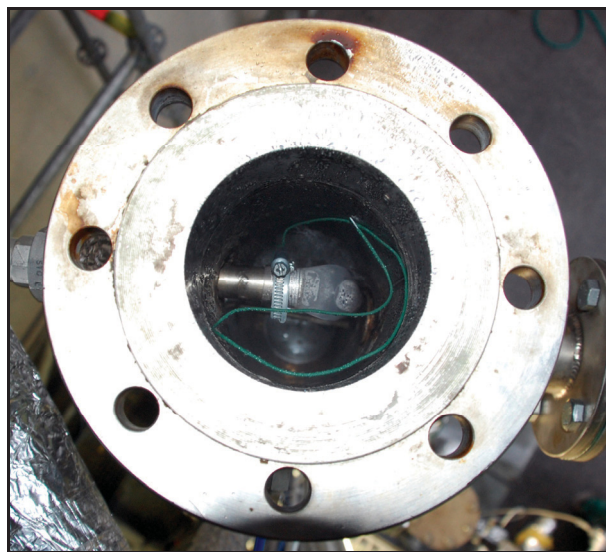


Abbildung 53: Flüssigkeitsverteiler W3

4.2.6 Pumpen

Zur Förderung des Absorptionsmittels und des Waschmittels werden Pumpen der Firma Grundfoss eingesetzt. Dabei handelt es sich um horizontale, normalsaugende, mehrstufige Kreiselpumpen der Baureihe CHI, die durch die Verwendung korrosionsresistenter Materialien für den Einsatz in vielen Bereichen der Industrie geeignet sind. Die Abdichtung zum Motor erfolgt über Gleitringdichtungen aus Siliziumkarbid, wodurch eine hohe Verschleißfestigkeit gegeben ist. Pumpe und Motor bilden bei dieser Type eine kompakte Einheit, die auf einer Grundplatte montiert ist. Weitere Daten zu den verwendeten Pumpen können Tabelle 9 und Abbildung 54 entnommen werden.

Tabelle 9: Daten Flüssigkeitspumpen [21]

R&I Bezeichnung	Type	Nennförderstrom	Max. zul. Betriebsdruck	Zul. Medientemperatur	Anspeisung
Pu 1.2	CHI 2-30-A-W-G-BQQV	2 m ³ /h	10 bar	-20°C bis +90°C	3 x 400V Y
Pu 2.2	CHI 2-30-A-W-G-BQQV	2 m ³ /h	10 bar	-20°C bis +90°C	3 x 400V Y
Pu 3.1	CHI 2-30-A-W-G-BQQV	2 m ³ /h	10 bar	-20°C bis +90°C	3 x 400V Y
Pu 2.1	CHI 2-50-A-W-G-BQQV	2 m ³ /h	10 bar	-20°C bis +90°C	3 x 400V Y

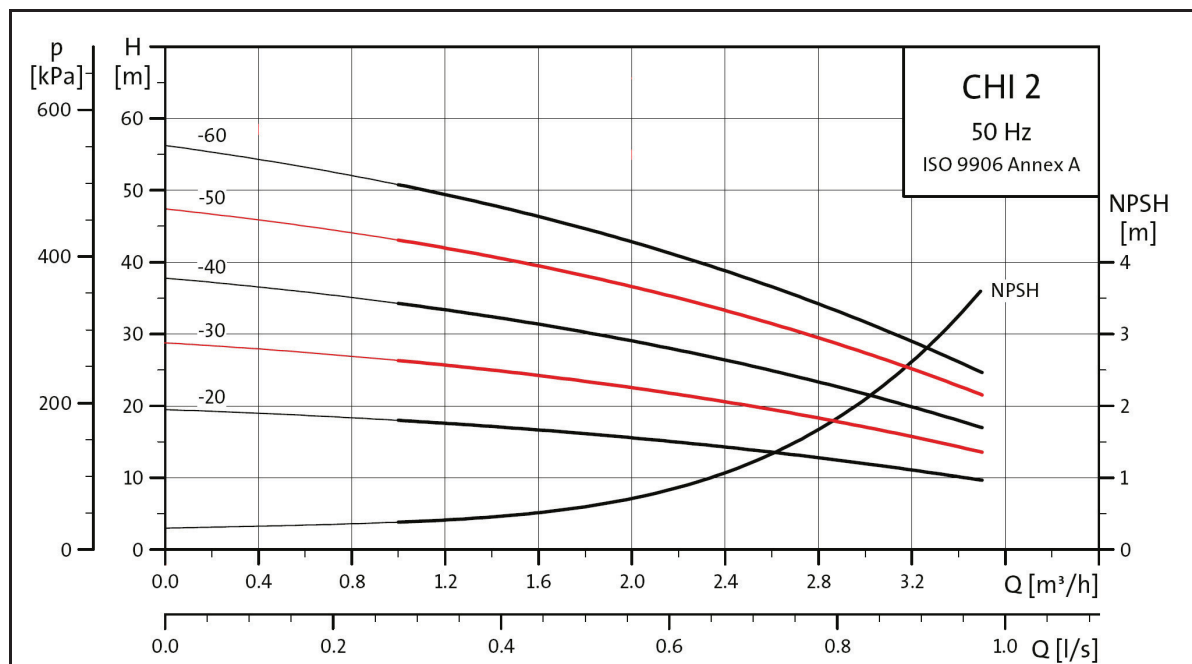


Abbildung 54: Pumpenkennlinie Grundfoss CHI 2 [21]

Aufgrund des hohen Gegendrucks bei der Förderung in den Desorber wird für die Pumpe Pu 2.1 stärkeres Modell mit 5 Stufen (ansonsten alle Pumpen mit 3 Stufen) eingesetzt, wodurch sich eine größere Nennförderhöhe ergibt.

Vor und hinter der Pumpe wurden Absperrkugelhähne montiert, um im Falle eines Defekts eine unkomplizierte Auswechslung bzw. Reparatur zu ermöglichen. Die flüssigkeitsführenden Teile der Pumpe wurden zur Frostschutzsicherung mit Heizbändern umwickelt. Somit müssen bei kurzen Standzeiten der Anlage die Pumpen nicht entleert werden. Bei längeren Standzeiten sollten die Pumpen durch Entfernen der Einfüll- und Entleerungsstopfen trocken gelegt werden.

4.2.7 Mess- und Regeltechnik

Im Anhang befindet sich eine Auflistung (inkl. Typenbezeichnung, Messbereich etc.) aller im R&I-Schema vorkommenden Armaturen und Messgeräte.

4.2.7.1 Temperaturmessung

Die Temperaturmessungen wurden mit Pt100-Fühlern realisiert, welche direkt in die Gas- bzw. Flüssigkeitsleitung eingebaut sind. Die Messsignale dienen zur Temperaturerfassung (TIR) und als Eingangsgrößen zur Temperaturüberwachung (TA+, TA-). Sämtliche Signale werden zunächst mit Hilfe eines Messumformers, der direkt am Kopf des Messfühlers angebracht ist, in 4-20 mA Signale umgewandelt. Die Messumformer sorgen zusätzlich für eine galvanische Trennung und schützen somit nachgeschaltete Regel- und Überwachungsgeräte vor eventuell auftretenden Fehlerströmen (zB durch defekte Heizleitungen).

Temperaturüberwachung (TA+, TA-):

Zur Überwachung von oberen und unteren Grenzwerten werden Miniregler des Typs ECO 24 der Firma PMA eingesetzt. Als Analoginput erhalten diese Regelorgane die auf 4-20mA umgeformten Messsignale der Pt100-Fühler. Über- oder Unterschreitungen der am Regler voreingestellten Grenzwerte werden über Schaltausgänge weitergegeben. (Abbildung 55)

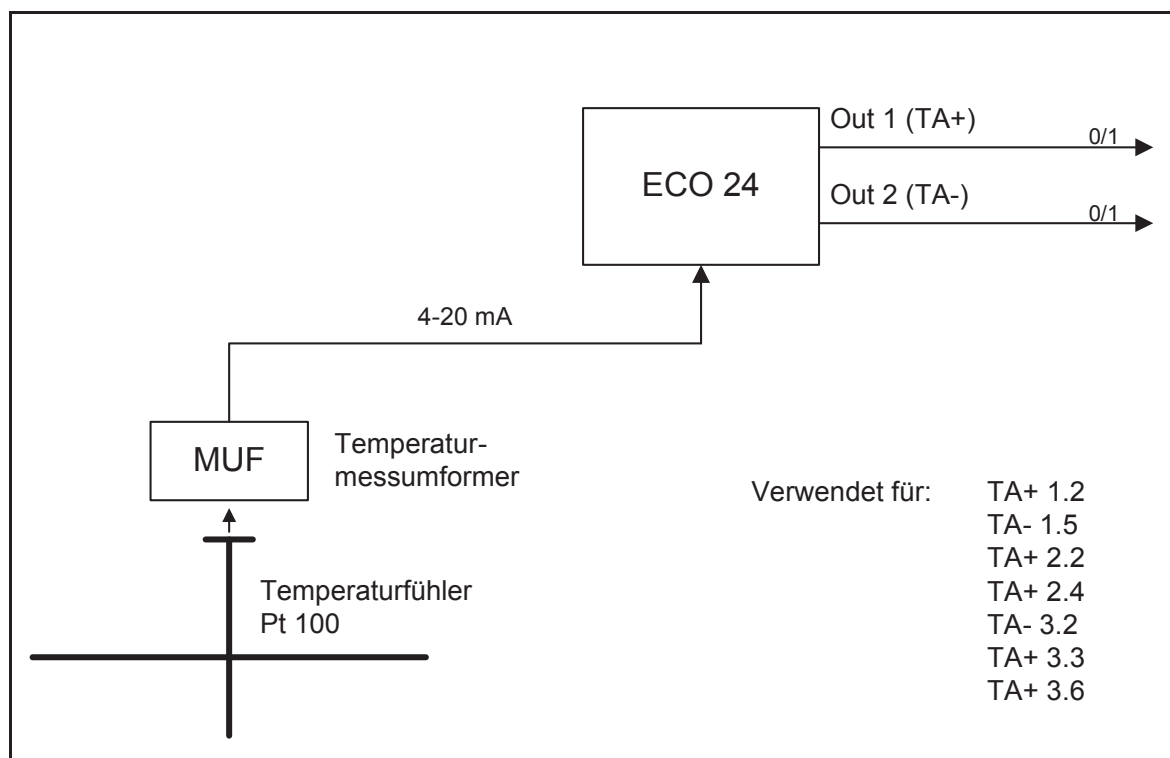


Abbildung 55: Pt100 mit ECO 24 als Grenzwertschalter

Weiters werden Kapillarthermostate der Firma Jumo als Temperaturwächter (TA+, TA-) verwendet. Diese arbeiten nach dem Prinzip der Flüssigkeitsausdehnung und verwenden einen Mikroschalter als Schaltelement.

4.2.7.2 Druckmessung

Zur Aufzeichnung von Drücken (PIR) werden Relativdrucktransmitter der Firma Huba Control eingesetzt. Diese arbeiten mit keramischen Drucksensoren und liefern 4-20 mA Signale.

Druckdifferenzen (PDIR) werden durch Differenzdrucktransmitter der Firma Huba Control aufgezeichnet. Diese wandeln die Verformung einer Membrane ebenfalls in 4-20 mA Signale um. Differenzdruckmessungen werden auch zu Füllstandsüberwachung (LIC 02) und zur Gasvolumenstrommessung (FIR 04, FIR 05) in Kombination mit Messblenden verwendet.

Zur Absicherung gegenüber unzulässigen Drucküberschreitungen (PA+, PA-, PDA+) werden Druckschalter bzw. Differenzdruckschalter (Firma Huba Control, Firma Stasto, Firma Schmachtl) eingesetzt. Hierbei handelt es sich um Membrandruckschalter, die mit einem Wechselkontakt den Stromkreis schließen oder öffnen.

4.2.7.3 Füllstandsmessung

Der maximale und minimale Flüssigkeitsstand (LA+, LA-) in den Behältern wird mit Hilfe von Füllstandgrenzschaltern der Firma Endress + Hauser überwacht. Dabei handelt es sich um Schwinggabelschalter, die auf ihre Resonanzfrequenz angeregt werden. Wird die Schwinggabel von Flüssigkeit bedeckt, ändert sich diese Frequenz und ein Wechselkontakt schließt oder öffnet den Stromkreis.

Zur kontinuierlichen Ermittlung der Füllhöhe (LIC 02) wird wie vorhin schon erwähnt ein Differenzdruckmesser eingesetzt.

4.2.7.4 Durchflussmessung

Flüssigkeitsvolumenstrommessung

Hierfür werden magnetisch-induktive Durchflussmesser der Firma PMA verwendet. Die Geräte liefern ein durchflussproportionales 4-20 mA Signal.

Gasvolumenstrommessung

Die gaseitige Durchflussmessung wird mittels Messblenden nach ISO 5167 durchgeführt. Hierbei wird durch eine Drosseleinrichtung (Blende) der Rohrquerschnitt eingeschnürt. Über die daraus resultierende Druckerniedrigung (sog. Wirkdruck) wird der Durchfluss errechnet. Aus der Bernoulli- und der Kontinuitätsgleichung ergibt sich vereinfacht [22]:

$$\dot{V}_B = \alpha \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (7)$$

Wobei:

- \dot{V}_B ... Betriebsvolumenstrom in Bm^3/s
- α ... Durchflusszahl, Zusammenfassung relevanter Faktoren
- A_0 ... Blendenöffnungsquerschnitt m^2
- Δp ... Wirkdruck Pa
- ρ ... Gasdichte kg/m^3

Die Durchflusszahl α hängt unter anderem von der Kontraktionszahl m (Blendendurchmesser/Rohrdurchmesser) und von der Reynoldszahl ab und wird anhand dieser beiden Faktoren aus Tabellen ermittelt [22].

Neben dem Wirkdruck werden an den Blenden auch die dazugehörigen Druck- und Temperaturmesswerte ermittelt (Tabelle 10), um den normierten Volumenstrom zu ermitteln.

$$\dot{V}_N = \dot{V}_B \cdot \frac{p}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T} \quad (8)$$

Wobei:

- \dot{V}_N, \dot{V}_B ... Gasvolumenstrom Normzustand, Betriebszustand m^3/h
- p_N, p_B ... Druck Normzustand, Betriebszustand
- T_N, T_B ... Temperatur Normzustand, Betriebszustand

Tabelle 10: Daten Gasdurchflussmessung

Blende	Lochdurchmesser	Material	Differenzdruckmessung	Druckmessung	Temperaturmessung
FIR 04	22 mm	Edelstahl	PDIR 04	PIR 1.1	TIR 1.3
FIR 05	22 mm	Edelstahl	PDIR 05	Luftdruck	TIR 2.3

4.2.7.5 Messgasanalyse

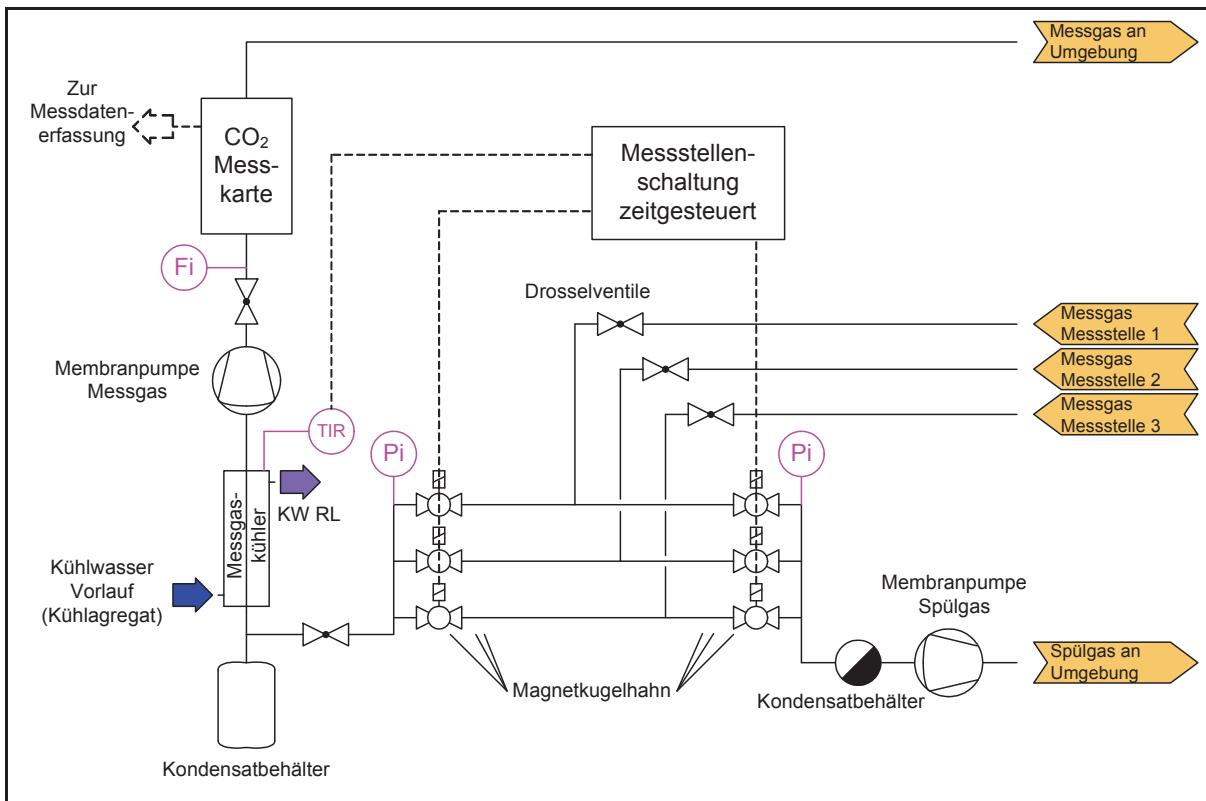


Abbildung 56: Schema der Messgasanalyse

Das in Abbildung 56 gezeigte Schema der Messgasanalyse ist im Container als kompakte Baugruppe auf einer Holzplatte montiert (Abbildung 57).

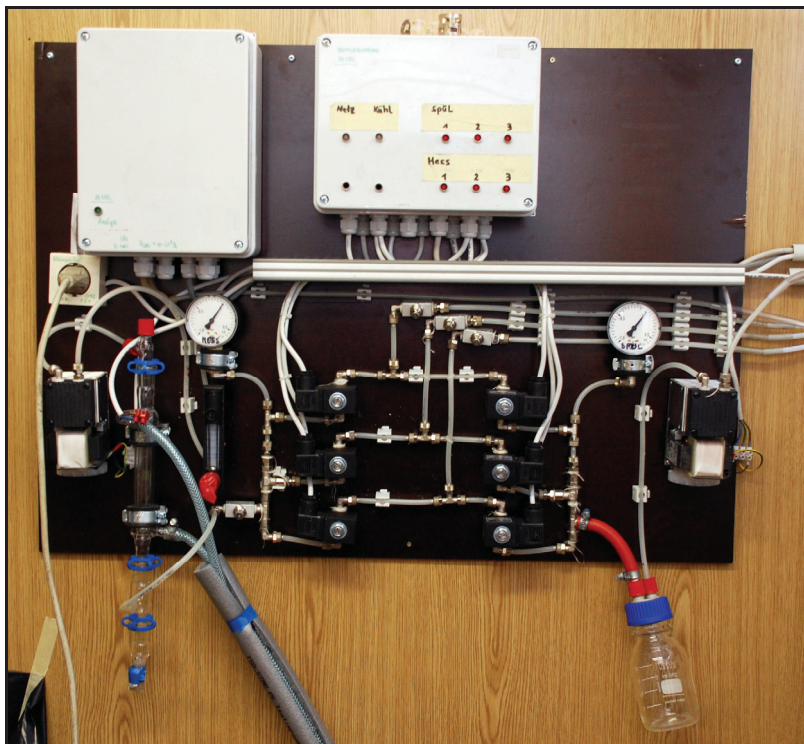


Abbildung 57: Foto der Messgasanalysegruppe

Das Messgas wird über beheizte und gedämmte PA-Schläuche von den Messstellen (QIR 03, QIR 05, QIR 08) in den Container geleitet. Der dafür notwendige Unterdruck wird durch die beiden Membranpumpen (für Spülung und Messung) erzeugt. Um die Druckverluste in den drei Messgasleitungen ausgleichen zu können, befinden sich Manometer in den Saugleitungen der beiden Membranpumpen und Drosselventile in den einzelnen Messgasleitungen. Damit wird sichergestellt, dass von allen Messstellen derselbe Volumenstrom entnommen wird. Da nur eine Messkarte zur CO₂-Messung vorhanden ist, wird diese nacheinander mit den Gasen der verschiedenen Messstellen beaufschlagt. Dies wird über zeitgesteuerte Magnetkugelhähne realisiert. Es wird jeweils eine Leitung gemessen und eine zweite Leitung – jene, die beim nächsten Wechsel gemessen wird – gespült (Anzeige durch rote und grüne LED's). Die jeweiligen Mess- bzw. Spülzeiten können über Zeitrelais eingestellt werden. Das Spülgas wird über die Spül-Membranpumpe aus dem Container gefördert und an die Umgebung abgegeben. Das zu messende Gas wird über ein Ventil (zur Einstellung des Volumenstroms ca. 40-60 l/h) in den Messgaskühler geleitet. Hier wird durch Absenken der Temperatur der Wasserdampf im Gas auskondensiert und somit das Gas für die Messung konditioniert. Die Temperatur im Messgaskühler wird durch einen Temperaturschalter überwacht. Funktioniert die Kühlung nicht, werden die Membranpumpen verriegelt und dadurch die Messkarte vor Feuchtigkeit geschützt.

Nach der Membranpumpe befindet sich ein Flowmeter, an dem der Gasvolumenstrom abgelesen werden kann. Anschließend wird das gekühlte Gas über die Messkarte geleitet. Diese detektiert mittels Infrarotmessung den CO₂-Anteil und liefert ein proportionales 4-20 mA Signal für die Messdatenerfassung. Der Messbereich der Karte liegt zwischen 0 und 50 v% CO₂. Das Messgas wird danach aus dem Container geleitet und an die Umgebung abgegeben.

Kalibrierung:

Mit Hilfe von zwei Referenzmessungen (Prüfgas und Umgebungsluft) kann die Messkarte kalibriert werden. Dazu wird die Prüfgasflasche an eine Messgasleitung angeschlossen und der Vordruck über die Flaschenarmatur auf Null bar eingestellt. Zur Offset-Bestimmung wird eine Leitung zur Umgebung hin geöffnet. Die Umrechnung des ausgegebenen 4-20 mA Signals auf Volumsprozent CO₂ erfolgt über einen Rechenkanal des Datenerfassungsgerätes. Durch die Computersoftware kann die Umrechnungsgleichung in das Gerät eingespielt werden.

Die Umrechnungsgleichung lautet:

$$x_{CO_2} = a * \frac{(I - I_0)}{(b - 4)} \quad (9)$$



Wobei:

x_{CO_2} ... CO₂-Gehalt in v% Messung

I ... mA-Signal Messung

I_0 ... Offsetwert in mA, Messergebnis Referenzmessung Umgebungsluft

a ... CO₂-Anteil im Prüfgas in v%

b ... ausgegebenes mA-Signal bei Messung mit Prüfgas

4.2.7.6 Regelkreise

Kühlwasserregelung:

Die Regelung der Kühlwassermengen für die Wärmetauscher (WT 1.1, WT 1.2, WT 2.2, WT 3.2) erfolgt über thermostatische Ventile vom Typ AVTA 15 der Firma Danfoss. Diese Regelarmaturen verfügen über einen Temperaturfühler, der durch ein Kapillarrohr mit dem Ventil verbunden ist, und funktionieren ohne Hilfsenergie. Als Führungsgröße dient die Temperatur des zu kühlenden Mediums (zB WT 1.2 → Gas, WT 1.1 → Waschflüssigkeit) und als Regelgröße der Volumenstrom des Kühlwassers. Über ein Handrad an der Armatur kann auf die gewünschte Medientemperatur eingestellt werden. Durch selbständige Veränderung des Ventilhubes wird dieser Wert konstant gehalten. Weitere Daten können Tabelle 11 entnommen werden.

Tabelle 11: Daten Kühlwasserregelung

Bezeichnung	Einbauort	Typ	Temperaturbereich Kühlwasser	Max. Fühler- temperatur	Nenn- druck
V 1.2	WT 1.1	Danfoss AVTA 15 1/2"	10 - 80 °C	130 °C	16 bar
V 1.3	WT 1.2	Danfoss AVTA 15 1/2"	10 - 80 °C	130 °C	16 bar
V 2.2	WT 2.2	Danfoss AVTA 15 1/2"	10 - 80 °C	130 °C	16 bar
V 3.3	WT 3.2	Danfoss AVTA 15 1/2"	10 - 80 °C	130 °C	16 bar

Um Druckschwankungen im Desorber – aufgrund schlagartiger Kondensation des Wasserdampfs im WT 3.2 – vorzubeugen, wurde hier die Kühlwasserversorgung über eine „Einspritzschaltung“ realisiert (Abbildung 58 und Abbildung 59). Dabei kann mit Hilfe einer Umwälzpumpe das Kühlwasser teilweise zirkuliert (Kühlwasserrücklauf aus WT 3.2 wird in die Vorlaufleitung zurückgeführt) und frisches Wasser nur bei Bedarf „eingespritzt“ werden. Dadurch wird die Kühlwassertemperatur angehoben und das Regelverhalten gedämpft.

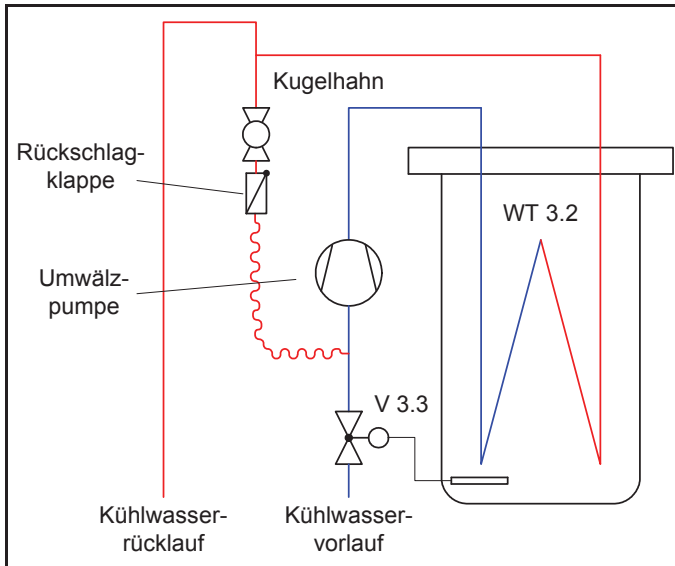


Abbildung 58: „Einspritzschaltung“ WT 3.2

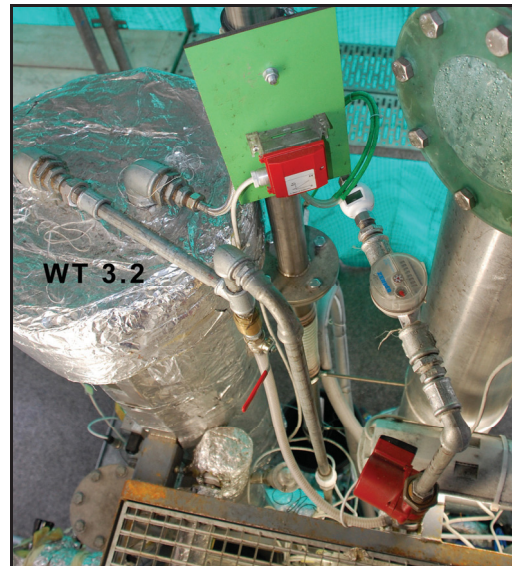


Abbildung 59: Foto KW-Versorgung WT 3.2

Sonstige Regelungen:

Die Regelung der weiteren Regelkreise werden über Prozessregler vom Typ KS 90-1 der Firma PMA realisiert. Zusätzlich zu den Regelausgängen besitzen diese Geräte auch Schaltausgänge, die zur Grenzwertüberwachung eingesetzt werden.

Stellgrad V 2.6 über Füllstand T2

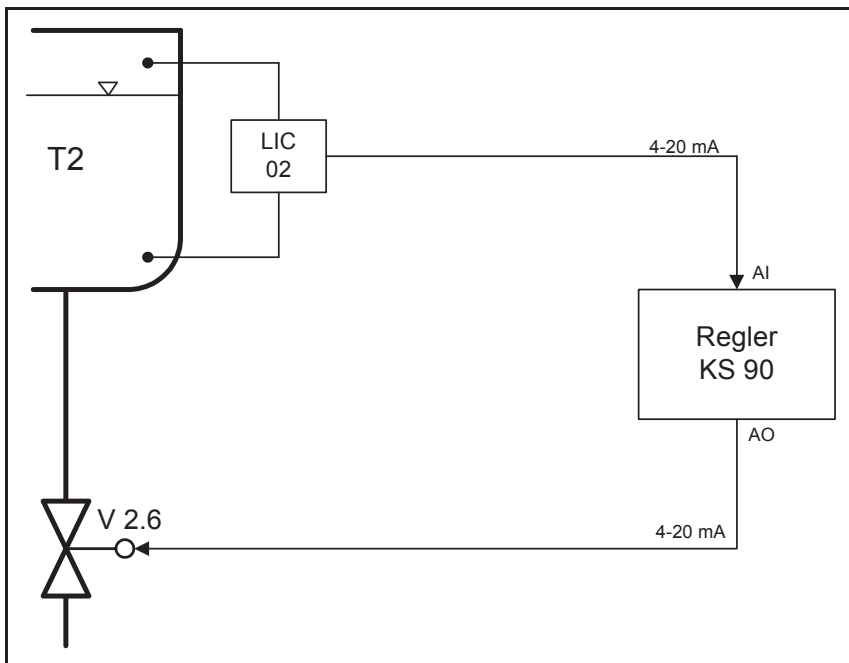
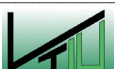


Abbildung 60: Stellgrad V 2.6 über Füllstand T2

Der Sollwert für den Füllstand im Sumpftank T2 wird direkt am Regelgerät eingegeben. Durch Messung des Istwerts und Veränderung des Ventilhubes (V 2.6) hält der Regler den Flüssigkeitsspiegel im Tank konstant auf den eingestellten Wert.



Der maximale und minimale Flüssigkeitsstand (LA+, LA-) im Tank T2 wird getrennt von der Regelung mit Hilfe von Füllstandgrenzschaaltern überwacht.

Stellgrad V 2.1 über Durchfluss FIR 03

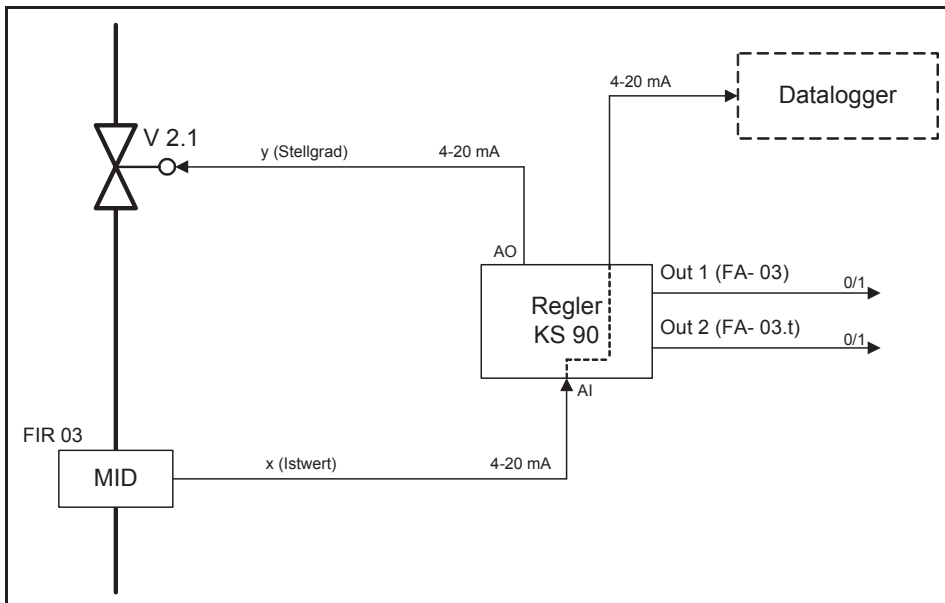


Abbildung 61: Stellgrad V 2.1 über Durchfluss FIR 03

In diesem Fall wird am Regelgerät der Sollwert für den Durchfluss eingegeben. Durch die Messung des Istwerts und durch Änderung des Ventilhubes (V 2.1) wird der gewünschte Volumenstrom konstant gehalten. Die beiden Schaltausgänge des Regler werden zur Überwachung der minimalen Durchflussmenge verwendet (FA- 03 und FA- 03.t). Beim Grenzwert FA- 03.t wird das Alarmschaltsignal zeitverzögert weitergegeben um nur langfristige Unterschreitungen anzuzeigen.

Leistungsregelung Hz 3.1 über Messung der Feedtemperatur TIRC 3.1

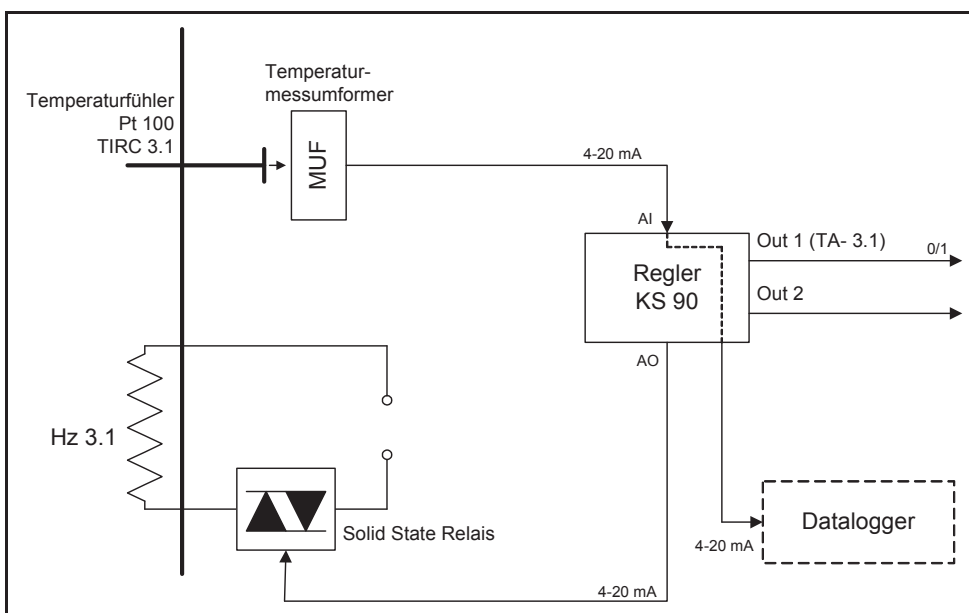


Abbildung 62: Leistungsregelung Hz 3.1 über Messung der Feedtemperatur TIRC 3.1

Auch hier wird am Regelgerät der Sollwert – diesmal für die Desorberfeedtemperatur TIRC 3.1 – vorgegeben. Über die Messung des Istwertes und die Änderung der Heizleistung am Heizregister Hz 3.1 kann die Temperatur auf dem gewünschten Wert gehalten werden. Zur Überwachung der minimal zulässigen Temperatur (TA- 3.1) wird hier ein Schaltausgang am Regelgerät verwendet. Die maximal zulässige Temperatur (TA+ 3.1) wird über ein externes Schaltgerät überwacht.

Leistungsregelung Hz 3.2 über Durchflussmenge FIR 02

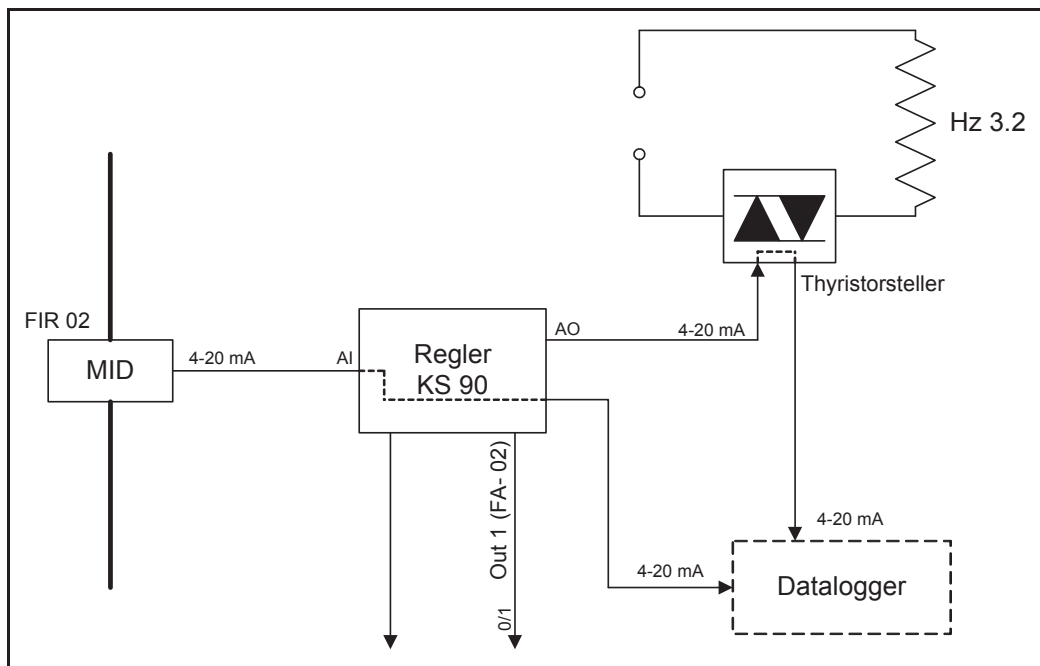


Abbildung 63: Leistungsregelung Hz 3.2 über Durchflussmenge FIR 02

Hierbei wird das Regelgerät als Folgeregler eingesetzt. Die Heizleistung im Sumpf des Desorbers (Hz 3.2) wird proportional zum Desorberfeedvolumenstrom (FIR 02) geführt. Weiters wird ein Schaltausgang zur Überwachung der minimalen Durchflussmenge (FA- 02) verwendet. Im Handbetrieb kann die Stellgröße für die Sumpfheizung auch manuell eingegeben werden.

4.2.8 Konzept der Störungsüberwachung

Relevante Überwachungsgeräte der Anlage wurden in vier verschiedenen Störungsgruppen G1 - G4 zusammengefasst (Abbildung 64), wobei die erste Gruppe übergeordnete Störungen (die gesamte Anlage betreffend) beinhaltet. Die Gruppen zwei, drei und vier sind nach den Anlagenteilen Vorwäscher, Absorber und Desorber aufgeteilt. In den Gruppen G2 – G4 wird weiters je nach Relevanz zwischen Störungen mit hoher und niedriger Priorität unterschieden. Störungen mit hoher Priorität lösen immer die gleichen gruppenspezifischen Schaltvorgänge aus, während jene mit niedriger Priorität lediglich zu einer Anzeige am Schaltschrank führen. Zusätzlich sind sicherheits- und prozesstechnisch sinnvolle Verriegelungen vorgesehen, um das Gefahrenpotential durch falsche Schaltvorgänge zu minimieren. Die Störungen werden gruppenweise am Schaltschrank quittiert, bleiben jedoch solange aufrecht, bis die auslösende Schaltursache behoben ist.

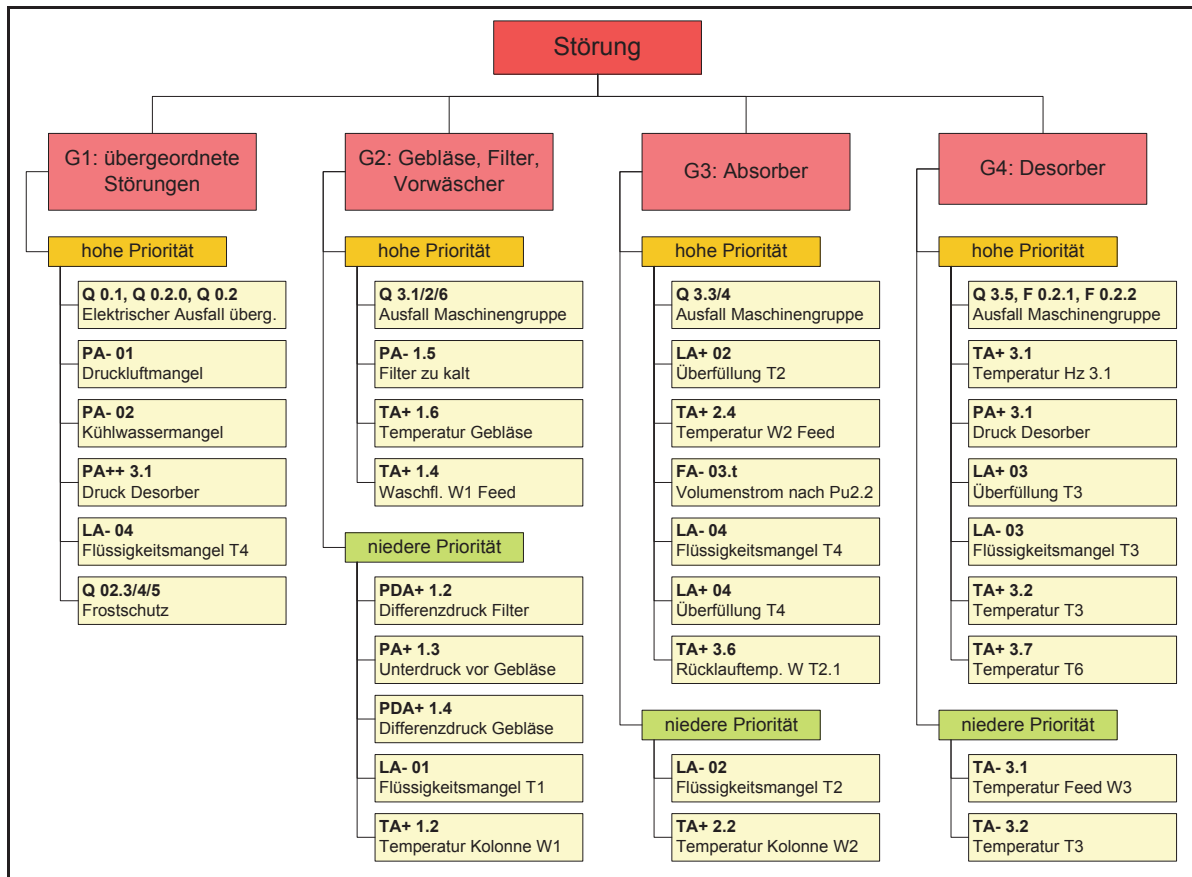


Abbildung 64: Strukturierung der Störungsverwaltung

Die folgenden Tabellen (Tabelle 12 bis Tabelle 15) zeigen neben den Einzelstörungen der jeweiligen Gruppen auch die Aktionen, die bei einer Störung hoher Priorität ausgeführt werden. Weiters sind die zusätzlichen Verriegelungen, die durch Einzelstörungen ausgelöst werden, ersichtlich.

Tabelle 12: Störungsgruppe G1

Nr.	R&I-, Schaltplanbezeichnung	Beschreibung
1	PA- 01	Druckluftmangel
2	PA- 02	Kühlwassermangel
3	[+01]: Q 0.1, Q 0.2.0; [+02]: Q 0.2	El. Übergeordnet (Phasenausfall,...)
4	PA++ 3.1	Druck im Desorber zu hoch
5	LA- 04	Flüssigkeitsmangel T4
6	Q 02.3/4/5	Frostschutz
Aktionen:	K 11.b.s	Schaltorgan Summenstörung G1
	V 01	Trennklappe schließt
	VD 1	Gebläse aus
	Hz 3.1	Feedvorwärmer aus
	Hz 3.2	Sumpfheizung T3 aus

In der Gruppe 1 haben alle Störungen hohe Priorität und lösen bei Auftreten die schaltende Summenstörung mit den beschriebenen Aktionen aus.

Tabelle 13: Störungsgruppe G2

hohe Priorität			niedrige Priorität	direkte Verriegelungen
Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Bezeichnung	
1	Q 3.1, Q 3.2, Q 3.6	Ausfall Maschinengruppe (MSS VD 01, Pu 1.2, Hz 1.1)		
2		Differenzdruck am Filter zu hoch	PDA+ 1.2	
3	TA- 1.5	Filter zu kalt		
4		saugseitiger Unterdruck Gebläse zu hoch	PA+ 1.3	
5	TA+ 1.6	Temperatur Gebläse zu hoch		Begleitheizung F1, Gasleitungen
6		Druckdifferenz über Gebläse zu hoch	PDA+ 1.4	
7		Flüssigkeitsmangel T1	LA- 01	verriegelt direkt Hz 1.1 u. Pu 1.2
8		W1 T _{max} Kolonne	TA+ 1.2	
9	TA+ 1.4	Temperatur Waschflüssigkeit W1 Feed zu hoch		verriegelt direkt Hz 1.1
Aktionen:		K 10.b.s	Schaltorgan Summenstörung G2	
1	V 01	Trennklappe schließt		
2	VD 1	Gebläse aus		
3	Pu 1.2	Umlaufpumpe Waschmedium aus		

Tabelle 14: Störungsgruppe G3

hohe Priorität			niedrige Priorität	direkte Verriegelungen
Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Bezeichnung	
1	Q 3.3, Q 3.4	Ausfall Maschinengruppe (Motorschutzschalter Pu 2.1, Pu 2.2)		
2	LA+ 02	Überfüllung T2		
3		Flüssigkeitsmangel T2	LA- 02	Verriegelung Pu 2.1
4		W2 T _{max} Kolonne	TA+ 2.2	
5	TA+ 2.4	Temperatur Absorptionsmedium Feed W2 zu hoch		
6	FA- 03.t	Durchlaufmenge nach Pu 2.2 zu gering (verkabelt, jedoch nicht aktiv)		
7	LA- 04	Flüssigkeitsmangel T4		
8	LA+ 04	Überfüllung T4		Verriegelung Pu 2.1, Pu 3.1
9	TA+ 3.6	Rücklauftemperatur WT 2.1 zu hoch		Verriegelung Pu 3.1
Aktionen:		K 12.b.s	Schaltorgan Summenstörung G3	
1	Pu 2.2	Pumpe aus		
2	V 2.7	Pneumatikventil Feed W2 zu		

Tabelle 15: Störungsgruppe G4

hohe Priorität			niedrige Priorität	direkte Verriegelungen
Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Bezeichnung	
1	Q 3.5, [+01]: F 0.2.1, F 0.2.2	Ausfall Maschinengruppe (MSS Pu 3.1, Sicherung Hz 3.1 und Hz 3.2)		
2	TA+ 3.1	T _{max} Heizregister Hz 3.1		verriegelt Hz 3.1
3		T _{min} Feed W3	TA- 3.1	
4	PA+ 3.1	Druck im Desorber zu hoch		verriegelt Hz 3.2 u. Hz 3.1
5		T _{min} in T3	TA- 3.2	
6	LA+ 03	Überfüllung T3		Pu 2.1 und Pu 2.2 aus
7	LA- 03	Flüssigkeitsmangel T3		verriegelt Hz 3.2 u. Hz 3.1
8	TA+ 3.2	Temperatur in T3 zu hoch		verriegelt Hz 3.2
9	TA+ 3.7	Temperatur nach WT3.2 zu hoch, Dampfdurchbruch in T6		
Aktionen:		K 13.b.s	Schaltorgan Summenstörung G4	
1	Hz 3.2	Heizregister in T3 aus		
2	Hz 3.1	Feedvorwärmer aus		

4.2.9 Anlagenschnittstellen

Das Prozessgas (Rauchgas) ist über den Kunststoff-Spiralschlauch (DN50) der Zuleitung an die Anlage anzuschließen.

Die Kühlwasserleitungen sind auf dem Gestell verrohrt (Rohrleitung 3/4“). Die Versorgungsleitung ist am zentralen Anschlusspunkt im Bereich des Wärmetauschers WT 2.1 anzuschließen. Zum Betrieb ist ausreichend filtriertes Nutzwasser mit mindestens 2 barü Vor- druck ausreichend. Die Temperatur im Fließzustand sollte 15 °C nicht überschreiten. Bei Freiluftaufstellung ist die Zuleitung vor Frosteinwirkung zu schützen und ggf. eine Begleithei- zung vorzusehen.

Zur Ableitung der Kühlwässer ist eine Sammelinstallation mit einem zentralen Übergabe- punkt (Bereich Wärmetauscher WT 2.1) auf dem Aufbau vorgesehen – Rohrdimension DN 50 Polokal.

Der Druckluftanschluss der Versuchsanlage befindet sich im Bereich des Filters. Es ist ge- trocknete Druckluft mit mind. 6 bar erforderlich; Zuleitung über einen Pneumatikschlauch mit einem Durchmesser von mind. 6 mm.

Der Anspeißepunkt für die Stromversorgung befindet sich im Container am Schaltschrank [+01]. Daten: Nennstrom 58 A, empfohlener Querschnitt 16 mm², Vorsicherung 63 A

4.2.10 Beschreibung der Steuerungsanlage

Im Container befinden sich zwei Schaltschränke ([+01] und [+02]). Wobei die Anspeißung im Schaltschrank [+01] erfolgt, der als Energieverteiler (Anspeißung Schrank [+02], Container- versorgung und Laststromverteilung Heizungen) dient. Der Schrank [+02] beinhaltet die Laststrombahnen der restlichen Verbraucher sowie die Steuerstromverteilung und die Stör- schaltung.

Die gesamte Steuerungsanlage ist in einer Schützsteuerung ausgeführt. Diese wird mit Gleichspannung von 24 VDC betätigt. Die Aktivierung von Verbrauchern erfolgt durch No- ckeneinschalter in der Schaltschranktür [+02] und die Betriebsmeldung wird durch LED's angezeigt. Die Störungsanzeige erfolgt durch eine Sammelstörschaltung mit zusätzlicher Anzeige der gespeicherten Einzelstörungen. Die Sammelstörungen können über potential- freie Kontakte an die Betriebswarte des Kraftwerks weitergeleitet werden.

4.2.10.1 Schutzmaßnahmen

In der Schaltung zur Verteilung und Steuerung sowie im Gerüst des Versuchsaufbaues sind folgende Schutzmaßnahmen umgesetzt worden:

- Überstromschutzeinrichtungen
[+01]: NH-Sicherungsschalter F0 63 A
Hauptsicherungen für Abgänge F 0.1.1 und F 0.1.2 (Schmelzsicherungen) je 16 A
[+02]: NH-Sicherungsschalter F1 32 A



- Gegen zu hohe Berührungsspannung:
Erweiterter Potentialausgleich: Gestell, Gasleitungen, Flüssigkeitsleitungen, Apparate
- Gegen Fehlerströme ab Verteilung:
Q 0.2.0, FI-Schutzschalter mit 100 mA Fehlerstrom, Type G bis -25 °C, für Heizungen
Q1, FI-Schutzschalter mit 30 mA Fehlerstrom, Type G bis -25 °C, für Schrank [+02]
FI-Schutzschalter mit 30 mA Fehlerstrom, Containerstromversorgung
- Gegen Überlast der Antriebe:
Einstellbare Motorschutzschalter, direkt auf Laststrom und betreffende Steuerspannung wirkend
- Gegen Kurzschlüsse in einphasigen Abgängen:
Leitungsschutzschalter L+N, allpolig abschaltend
- NOTAUS, Hauptschalter an den Schaltschränken

Die Verdrahtung im Schaltschrank ist nach einem verbindlichen Farbsystem ausgeführt (Abbildung 65).

Farbsystem im Schaltschrank und bei zugehörigen, entfernaren Schaltgruppen

ist verbindlich im Schaltschrank einzuhalten und auch bei Anschlußleitungen besonders bei 24 VDC L+ (=blau) erstrebenswert.

Lastströme L1, L2, L3 = SCHWARZ

Neutralleiter N = DUNKELBLAU ohne Nullungsverbindung im Schrank (zu PEN)

Schutzleiter PE = GRÜN-GELB

Steuerspannung

L+ für Steuerung = HELLBLAU

L+ für Betriebsmeldung = HELLBLAU

L+ für Störungsverarbeitung = LILA

L+ bei Verriegelungen und Verblockungen = HELLGRÜN

L- für alle gemeinsam = HELLBLAU-Weiss

Potentialfreie und galvanisch isolierte Signale, Fremdspannung = HELLORANGE

Analogsignale = WEISS

Davon positive Leitung = Kragen rot

Davon negative Leitung = Kragen grau

Versorgungsleitungen Meßtechnik/Transmitter:

Versorgung L+ = HELLBLAU und Versorgung L- = BRAUN (2L Drucktransmitter)

Versorgung L+ = SCHWARZ und Versorgung L- = BRAUN (2 L Temperaturtransmitter)

Versorgung L+ = SCHWARZ und Versorgung L- = BLAU (2 L Differenzdrucktransmitter)

Abbildung 65: Farbsystem zur Verdrahtung im Schaltschrank



4.2.10.2 Verteilung

Die Anspeisung im Schaltschrank [+01] erfolgt über eine NH-Sicherungskombination F 0 mit 63 A, und einen auf die drei Außenleiter wirkenden Hauptschalter S 0 an der linken Außen-seite des Schaltschranks. Danach wird der Strom über die Sicherungen F 0.1.1 und F 0.1.2 sowie über den Fehlerstromschutzschalter Q 0.2.0 verteilt. Der Abgang Q 0.2.0 wird im Schaltschrank [+01] weiter auf die verschiedenen Heizungen aufgetrennt. (Abbildung 66)

Im Schaltschrank [+02] (Abgang F 0.1.1 von Schrank [+01]) erfolgt die Anspeißung ebenfalls über eine NH-Sicherungskombination F1 32A, einen Hauptschalter S1 an der Schaltschrank-tür und einen Fehlerstromschutzschalter Q1. Anschließend wird der Arbeitsstrom weiter auf einphasige (Abbildung 67) und dreiphasige (Abbildung 68) Verbraucher verteilt.

Die einphasigen Verbraucher sind mit Leitungsschutzschaltern (F 1.1 bis F 1.8 und F 2.1 bis F 2.3) gegen Kurzschluss sowie gegen Überlastung geschützt. Ein Netzteil mit 24 VDC Sekundärspannung und 10 A Nennstrom stellt den Steuerstrom zur Verfügung.

Die Verteilung der Steuerspannung erfolgt ebenfalls mit einer Absicherung durch Leitungsschutzschalter (F 1.1.1 bis F 1.1.7) auf der 24 VDC-Seite, jedoch ist hier nur L+ geschaltet.

Die dreiphasigen Abgänge sind mit Motorschutzschaltern (Q 3.1 bis Q 3.6) zur Überwachung von Kurzschluss, Überlast und Phasenausfall abgesichert.

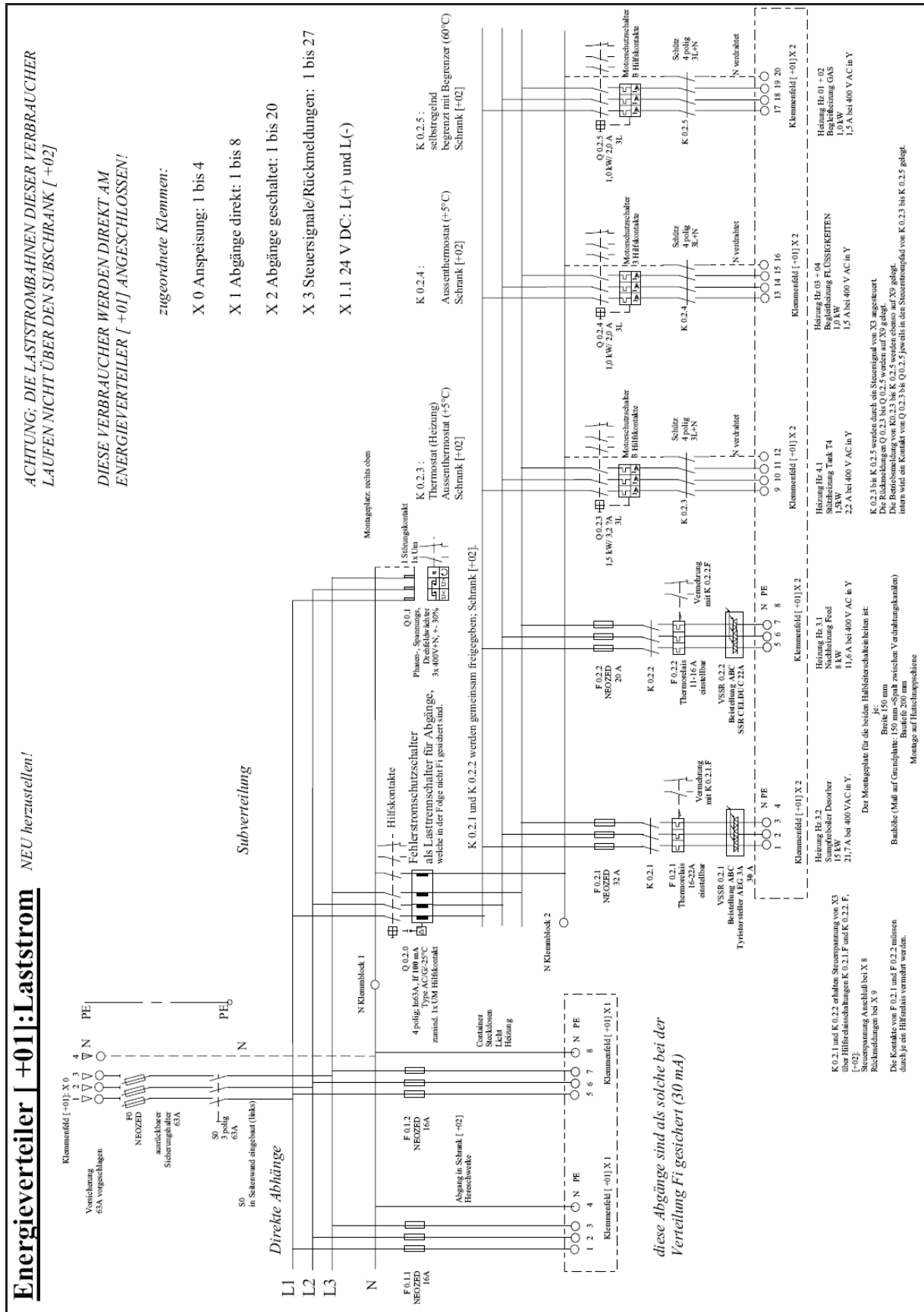


Abbildung 66: Schaltplan Energieverteilung Schaltschrank [+01]



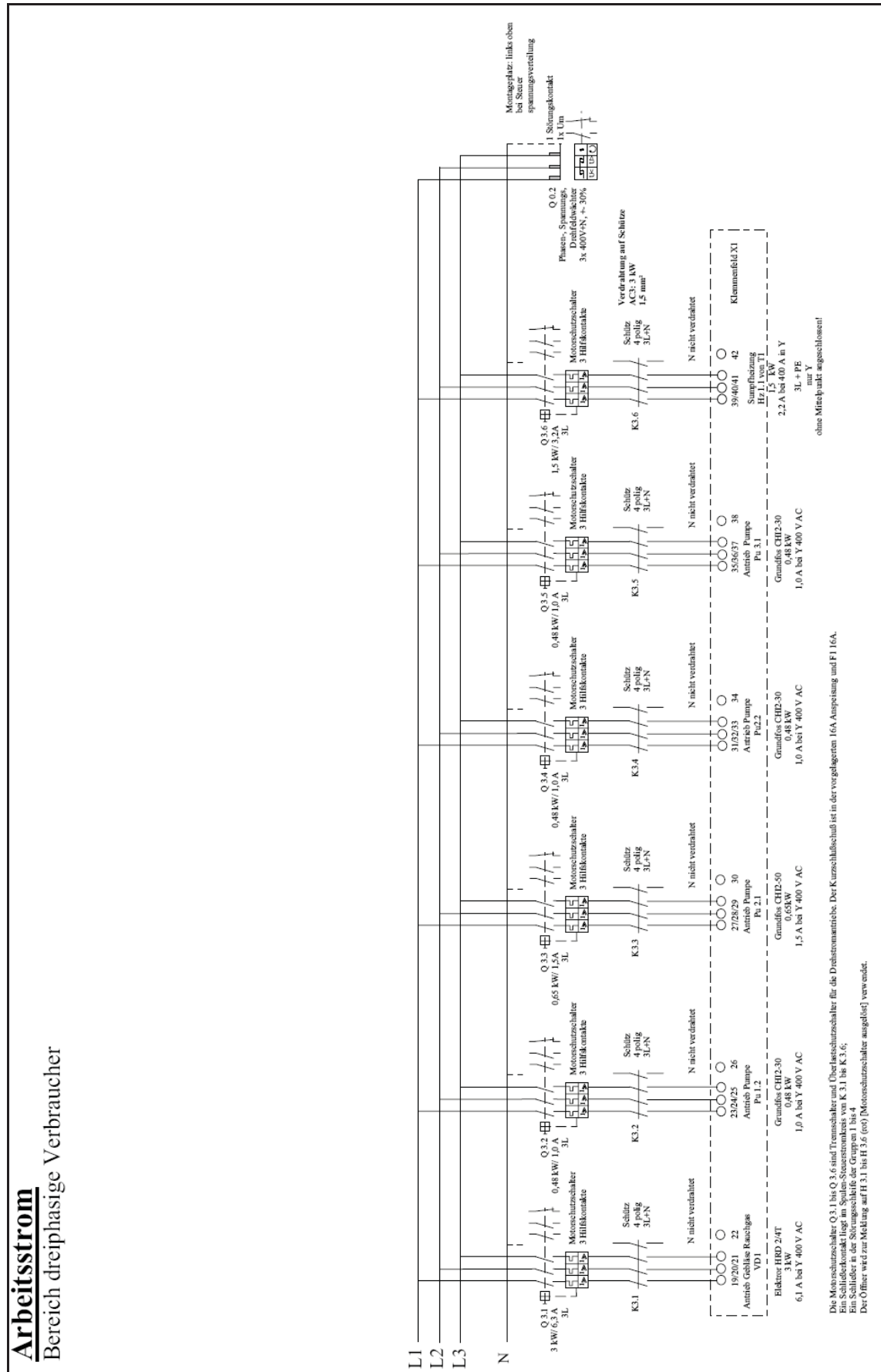


Abbildung 68: Schaltplan Energieverteilung Schaltschrank [+02] dreiphasige Verbraucher



4.2.10.3 Ansteuerung

Die Steuerung der einzelnen Verbraucher erfolgt durch eine einheitliche Grundsystematik. Verbraucher werden durch Nockeneinschalter in der Tür des Schaltschranks eingeschaltet (S 7.1 bis S 7.7, S 2.1 bis S 2.3 sowie S 3.1 bis S 3.6). Der Steuerstrom wird dann auf eine Remoteklemme zur Einschleifung von Verkopplungen, Abschaltungen und sonstigen Prozesseingriffen aufgelegt (Abbildung 69 und Abbildung 70). Anschließend folgt die Spule des jeweiligen Laststromschützes. Bei motorischen Antrieben (Schutzschalterabgänge) mit Überwachung gegen Ausfall ist vor der Spule noch zusätzlich ein Hilfskontakt des zugehörigen Schutzschalters eingeschleift, um doppelte Sicherheit zur Abschaltung zu gewährleisten (Laststrom im Schutzschalter und auch Steuerstrom vor Schütz).

Die Betriebsmeldung erfolgt durch einen Hilfskontakt vom Laststromschütz auf LED's. Bei Schutzschalterabgängen ist eine zweifarbige LED mit einer Störungsanzeige (Rot) vorhanden, d.h. die Betriebsmeldeleuchte wechselt bei einem Ausfall von Grün auf Rot.

Verbraucher, die direkt vom Schaltschrank [+01] abgehen (Heizungen), werden vom Schaltschrank [+02] aus ferngesteuert und liefern Betriebsmeldungen an diesen zurück (Abbildung 71).

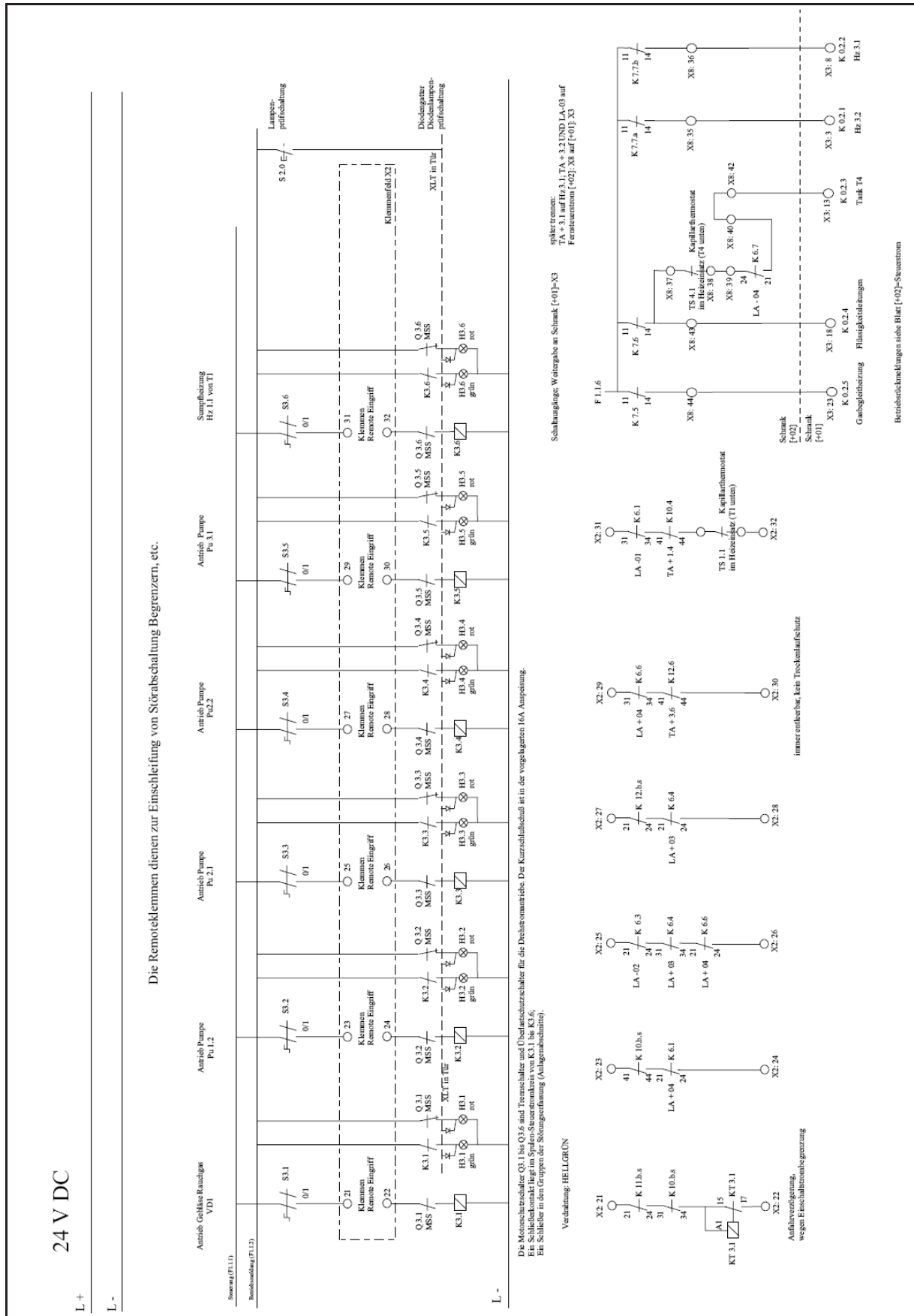


Abbildung 70: Schaltplan Steuerstrom Ansteuerung 2



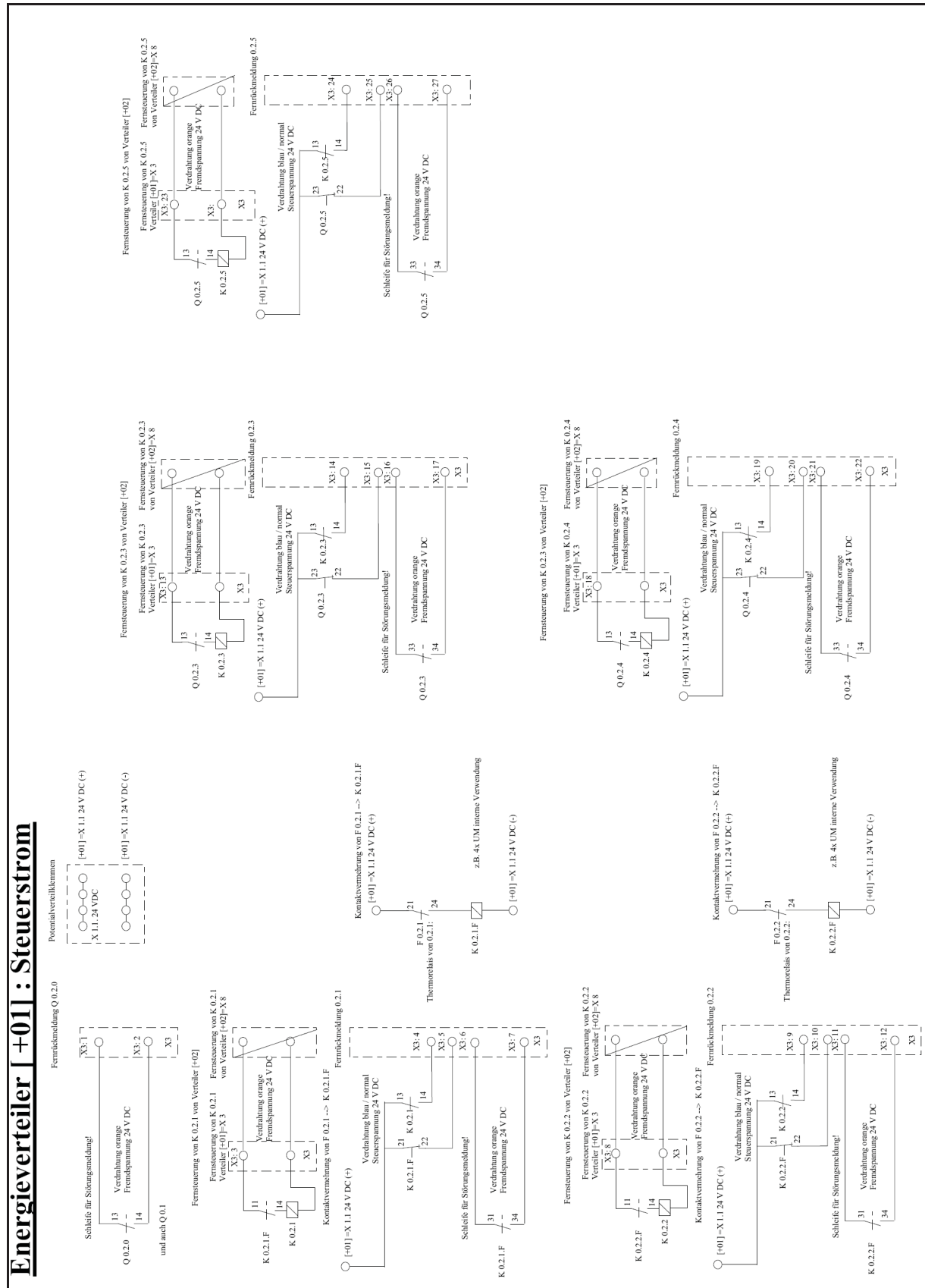


Abbildung 71: Schaltplan Steuerstrom Energieverteiler [+01]



4.2.10.4 Störungsmeldung

Zur Überwachung von auftretenden Störungen wurde eine spezielle Störmeldesaltung eingebaut, die mit Ruhestrom und Selbsthaltung, d.h. Störungsspeicherung und Zusammenfassung zu einem Sammelalarm, arbeitet (Abbildung 72 bis Abbildung 75).

Dazu wird das betreffende Alarmschaltglied im Ruhestromprinzip – also mit Haltestrom – in den Spulenkreis über einen Selbsthaltekontakt eingeschliffen. Im Fall einer Unterbrechung – also Störungsauslösung – fällt das betreffende Relais ab und löst über eine Verkettung von Schließkontakten ein Sammelstörrelais aus (d.h. dieses fällt auch ab).

Als Reset und zur Quittierung ist ein Diodengatter mit einem Taster auf alle Spulenanschlüsse gelegt. Hilfskontakte mit Öffnern zeigen eine allfällige Einzelstörung an bis diese quittiert wird.

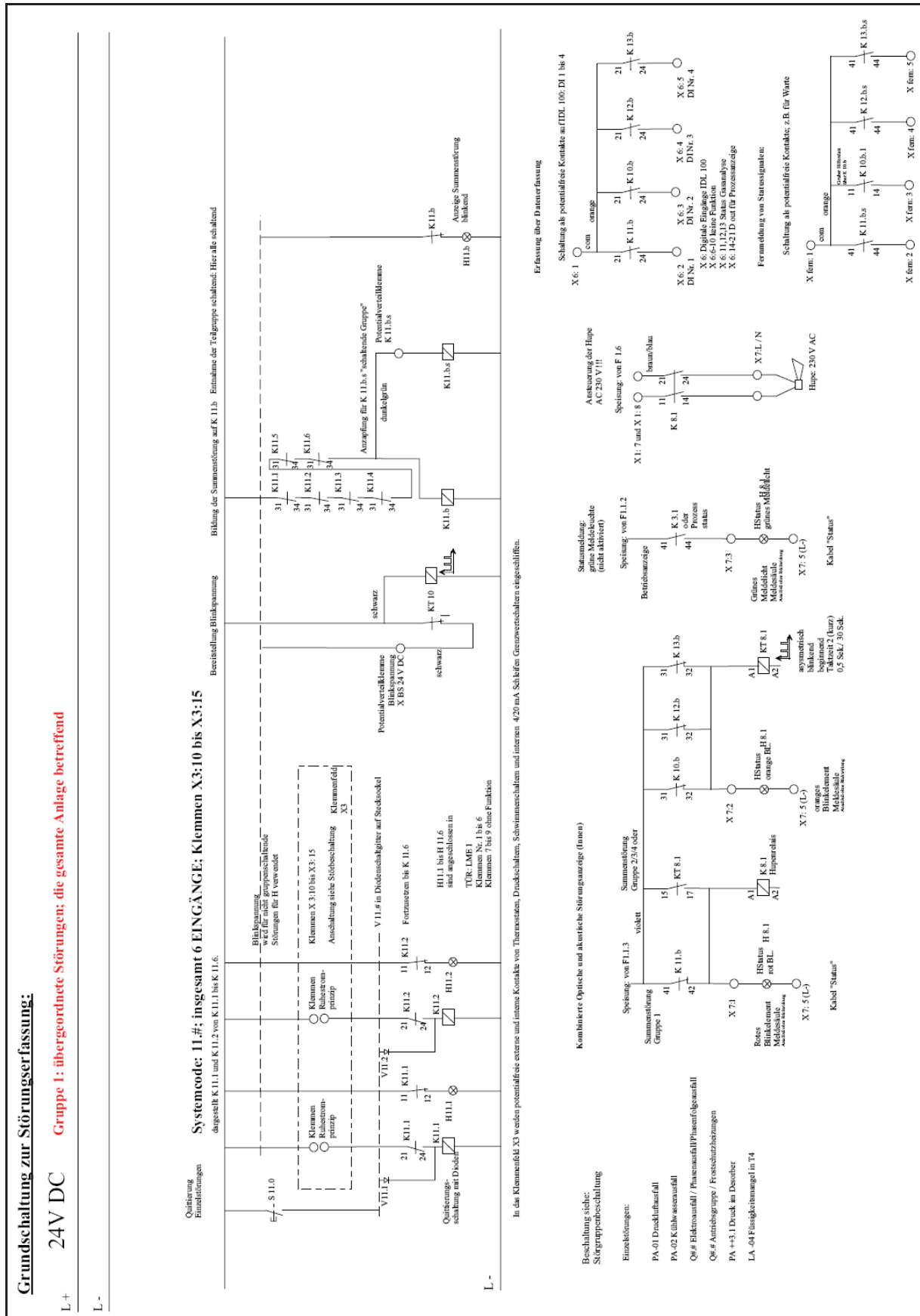


Abbildung 72: Schaltplan Störungserfassung G1



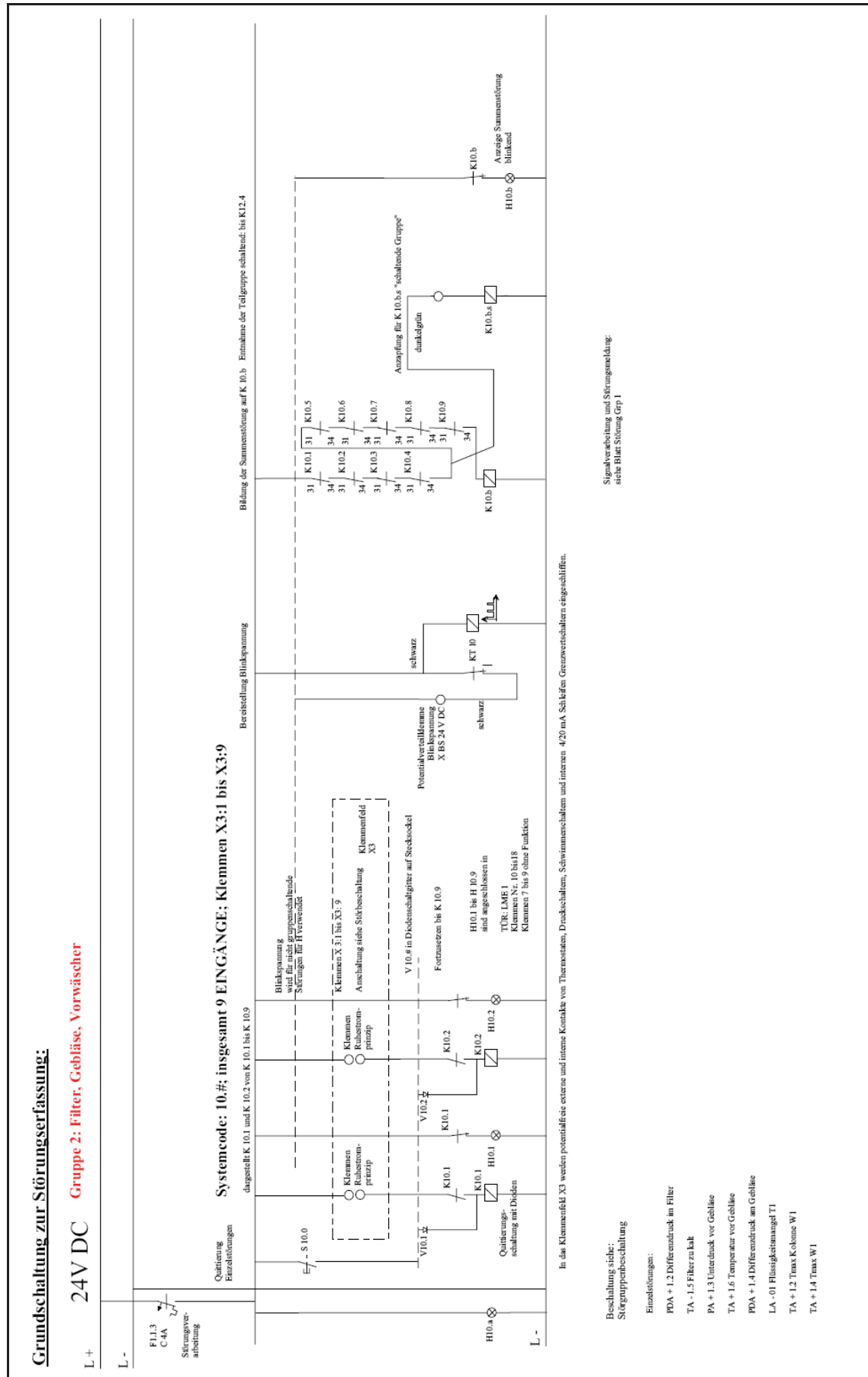


Abbildung 73: Schaltplan Störungserfassung G2



4.2.11 Analogsignalverwaltung

Istwertsignale werden bereits Vorort über Transmitter mit galvanischer Trennung in analoge 4-20 mA-Signale umgewandelt und in Analogsammlern zusammengeführt. Über Sammelkabel werden die Signale auf eine Rangierklemme in den Schaltschrank geleitet. Dort können sie nach Bedarf auf Regelgeräte und/oder auf die Messdatenerfassung geschaltet werden. Abbildung 76 zeigt den Signalfluss der Analogsignale. Eine Auflistung der Analog- und Schaltsignale inklusive Kabel- und Klemmenbezeichnung befindet sich im Anhang.

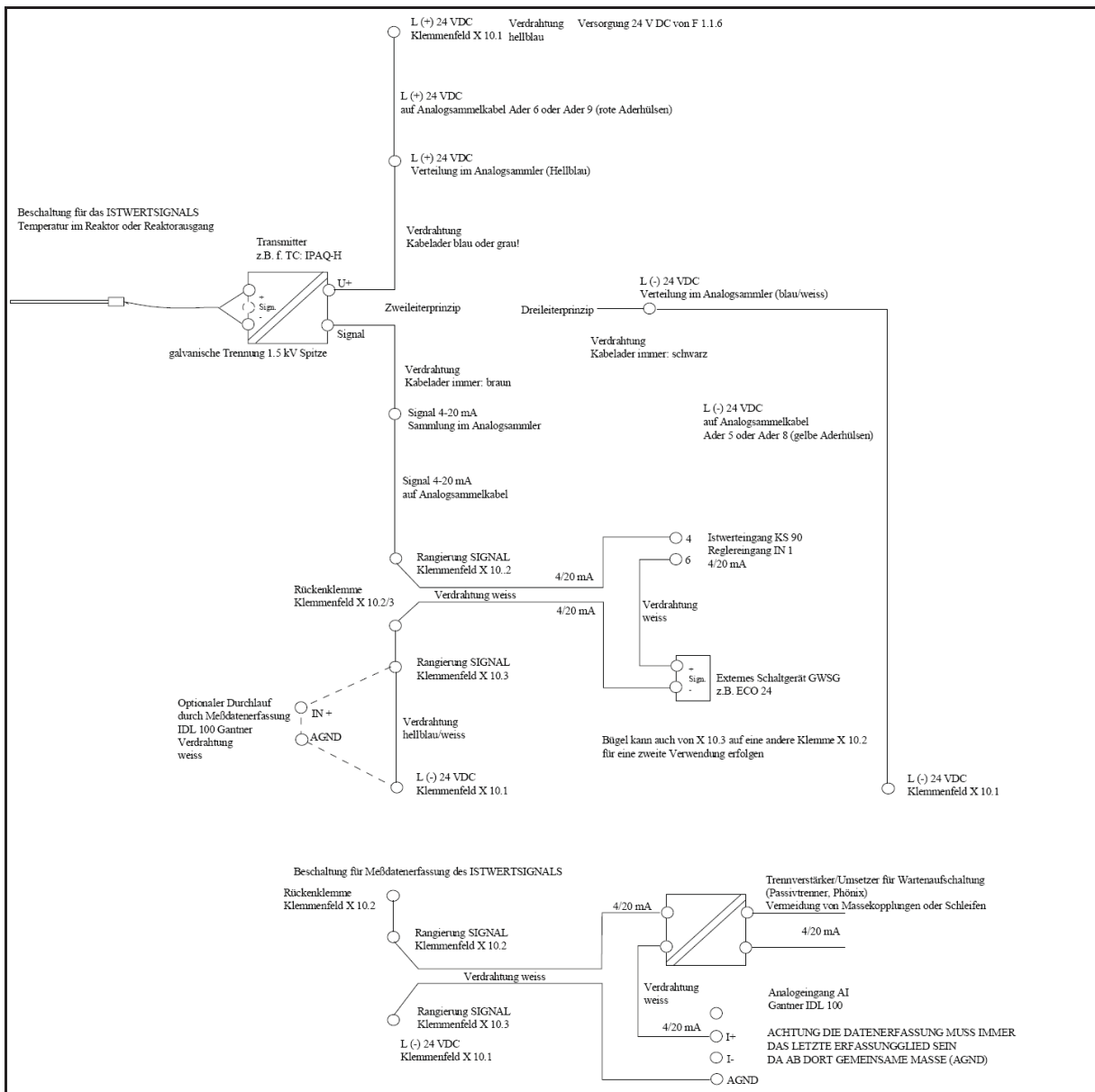


Abbildung 76: Signalfluss und Verdrahtung Analogsignale

4.2.12 Messdatenerfassung

Die Messdatenerfassung erfolgt über drei Datenlogger vom Typ IDL 100 der Firma Gantner Electronic GmbH, welche im Schaltschrank montiert sind. Diese Geräte verfügen jeweils über acht analoge Eingänge und sechs digitale Ein-/Ausgänge (konfigurierbar). Die Belegungen der Ein- und Ausgänge kann Tabelle 16 bis Tabelle 18 entnommen werden. Weiters können beliebig viele Rechenkanäle angelegt werden, die unter anderem für die Umrechnung der Messsignale in Temperatur-, Druck- und Durchflusseinheiten dienen. Die Konfiguration der Geräte (Signaltyp, Umrechnungsgleichungen, etc.) kann wahlweise von Hand über ein Bedienfeld oder vom PC aus durchgeführt werden.

Tabelle 16: Kanalbelegung Datenlogger Adresse 81

Analog			Digital		
Kanal	Bezeichnung	Messstelle	Kanal	Bezeichnung	Richtung
A01	TIR 1.3	W1 Kopf	D01	Status G1 (Störung)	Eingang
A02	TIR 2.1	W2 Sumpf	D02	Status G2 (Störung)	Eingang
A03	TIR 3.5	W3 Kopf	D03	Status G3 (Störung)	Eingang
A04	TIR 2.3	W2 Kopf	D04	Status G4 (Störung)	Eingang
A05	TIR 2.4	W2 Feed	D05	Status Desorber Temp.	Ausgang
A06	TIR 2.5	nach WT 2.1 (reich)	D06	Status Regenerationstemp.	Ausgang
A07	TIR 3.2	T3			
A08	TIR 3.4	vor WT 2.1 (arm)			

Tabelle 17: Kanalbelegung Datenlogger Adresse 82

Analog			Digital		
Kanal	Bezeichnung	Messstelle	Kanal	Bezeichnung	Messstelle
A01	FIR 02	Absoptionsfl. aus T2	D01	Status CO ₂ Messung Messst. 1	Eingang
A02	FIR 03	Absoptionsfl. aus T4	D02	Status CO ₂ Messung Messst. 2	Eingang
A03	FIR 04	Messblende, nach W1	D03	Status Gasmenge	Ausgang
A04	FIR 05	Messblende, nach W2	D04	Status Druck Desorber	Ausgang
A05	PIR 1.1	W1 Kopf	D05	Status Differenz Gasvolumenstr.	Ausgang
A06	PIR 3.1	T3	D06	Status $V_{\text{gas}}/V_{\text{liquid}}$	Ausgang
A07	CO ₂	Gasanalyse			
A08	Stellgrad HZ 3.2	Regelausgang KS90(2)			

Die digitalen Ausgänge werden für Statusanzeigen genutzt. Dabei handelt es sich um LED's am Schaltschrank, die bei Verlassen des eingestellten Grenzwertbereiches für die betrachtete Größe (Desorbertemperatur, Regenerationstemperatur, Gasmenge usw.) rot leuchten. Dadurch kann auf einen Blick erkannt werden, ob die Anlage im gewünschten Bereich arbeitet.

Tabelle 18: Kanalbelegung Datenlogger Adresse 83

Analog		
Kanal	Bezeichnung	Messstelle
A01	TIR 2.2	W2 Mitte
A02	POIR 2.2	W2
A03	TIR 3.7	WT 3.2
A04	TIR 3.3	W3 Mitte
A05	TIRC 3.1	W3 Feed
A06	Stellgrad HZ 3.1	Regelausgang KS90(1)
A07	TIR 3.6	nach WT 2.1 (arm)
A08	TA - 1.5	Filter F1

Alle Daten werden über eine RS485 Kommunikationsschnittstelle auf einen Rechner im Container übertragen. Dort können mit Hilfe der Datenerfassungs- und Auswertungssoftware e.console die Messwerte online oder auch offline visualisiert werden (Abbildung 77). Weiters dient die Software zum periodischen Archivieren und zum Exportieren (zB für Excel) der Messdaten.



Abbildung 77: Datenerfassungssoftware e.console

4.3 Inbetriebnahme

Die Versuchsanlage wurde auf dem Betriebsgelände des EVN Kraftwerkes Dürnrohr im Freien auf befestigtem Untergrund aufgestellt. Da die Anlage nach dem Post-Combustion-Verfahren arbeitet und hierbei die CO₂-Abscheidung den letzten Schritt in der Abgasaufbereitung darstellt, liegt der genaue Aufstellungsort an der Außenwand des Gebäudes der Rauchgasentschwefelungsanlage (REA) des Kohlekraftwerkes (siehe Abbildung 78).

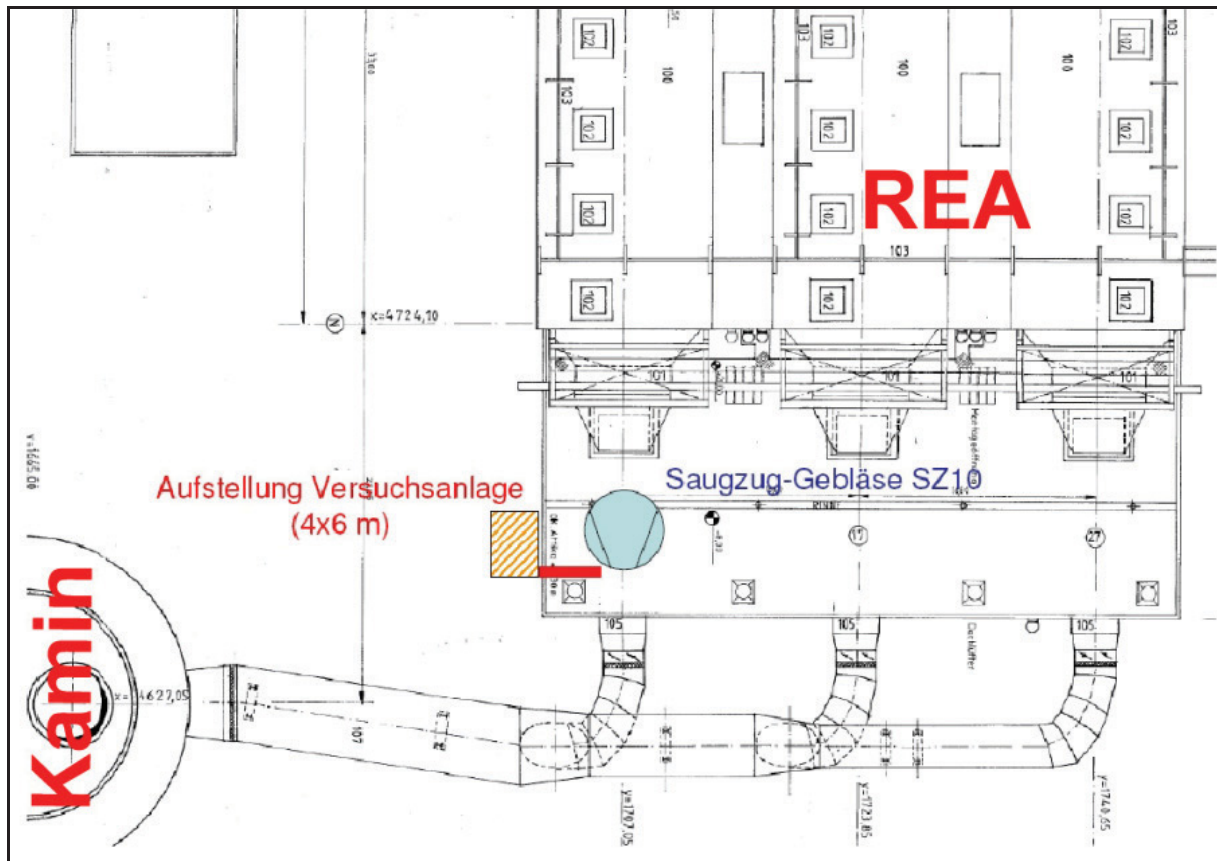


Abbildung 78: Lageplan zum Aufstellungsort der Versuchsanlage am Kraftwerk Dürnrohr

Das Rauchgas wurde nach dem Saugzuggebläse des Kraftwerkes abgezweigt und über einen Kunststoffspiralschlauch in die Versuchsanlage übernommen. Der elektrische Anschluss wurde vom Personal des Kraftwerkes hergestellt. Druckluft und Kühlwasser konnten ebenfalls über Schläuche aus Anschlussstellen im REA-Gebäude übernommen werden. Zur Ableitung des Kühlwassers wurde ein Polokal-Rohr zum nächstgelegenen Kanalgitter verlegt. Um die Anlage vor Regen zu schützen, wurde sie vom Personal des Kraftwerkes überdacht (Abbildung 79).



Abbildung 79: Foto der Versuchsanlage am Aufstellungsort in Dürnröhr

Die bereits nach dem Einschalten der Steuerungsanlage aufgetretenen, kleinen Störungen konnten schnell behoben werden. Für erste Funktions- und Dichtigkeitsprüfungen wurde die Anlage zunächst mit Wasser befüllt. Auch wurde bei den ersten Versuchen Luft anstelle von Rauchgas in die Anlage geleitet. Durch Einblasen von Druckluft in den Desorber wurde hierbei das abgeschiedene CO_2 simuliert. Erst durch ein Inertgas kann im Desorber Druck aufgebaut und Temperaturen über $100\text{ }^\circ\text{C}$ erreicht werden.

Nach dem Ausmerzen einiger „Kinderkrankheiten“ und undichter Stellen konnte erstmals ein stabiler Betriebspunkt bei ca. $115\text{ }^\circ\text{C}$ Desorbtemperatur gefahren werden. Weitere Testläufe mit Wasser dienen dem Kennenlernen der Anlage.

Nach einer Woche Funktionsprüfung stellten wir auf MEA als Absorptionsmittel um. Mit Hilfe einer Waage wurde eine 30 gewichtsprozentige MEA-Lösung mit deionisiertem Wasser hergestellt. Das Absorptionsmittel wurde nach Vollfüllung des Puffertanks T4 (ca. 90 l) durch Betätigen der Pumpe 2.2 weiter in den Desorbertank befördert und anschließend durch Aktivierung der Pumpe 3.1 die Anlage im Teilbetrieb (siehe Kapitel 4.3.1) versetzt. Das restliche Absorptionsmittel (Vollfüllung der Anlage 120 l) konnte anschließend in den Puffertank T4 geleert werden. Der Vorwäscher wurde mit einer gesättigten NaHCO_3 Lösung befüllt und die CO_2 -Messkarte kalibriert (siehe Kapitel 4.2.7.5). Nun konnte zum ersten Mal Rauchgas durch die Anlage gefördert werden.

Auch mit MEA konnte am ersten Tag schon ein stabiler Betriebspunkt gefahren werden, wobei jedoch der CO_2 -Abscheidegrad mit der Zeit geringer wurde. Dies deutete auf eine schlechte Regeneration hin, wodurch bei den nächsten Versuchen die Desorbtemperatur erhöht wurde. Allgemein mussten erst einige Erfahrungen bezüglich der Bedienung und der optimalen Betriebsweise der Anlage gesammelt werden. Jedoch konnte nach weiteren Testläufen der Abscheidegrad über einen stabilen Betriebspunkt hinweg konstant auf ca. 85 % gehalten werden. Abbildung 80 zeigt den CO_2 -Konzentrationsverlauf eines Versuches. Die rosafarbene Linie gibt den Mittelwert der CO_2 -Konzentration vor und die gelbe Linie den Mittelwert nach der Abscheidung an.

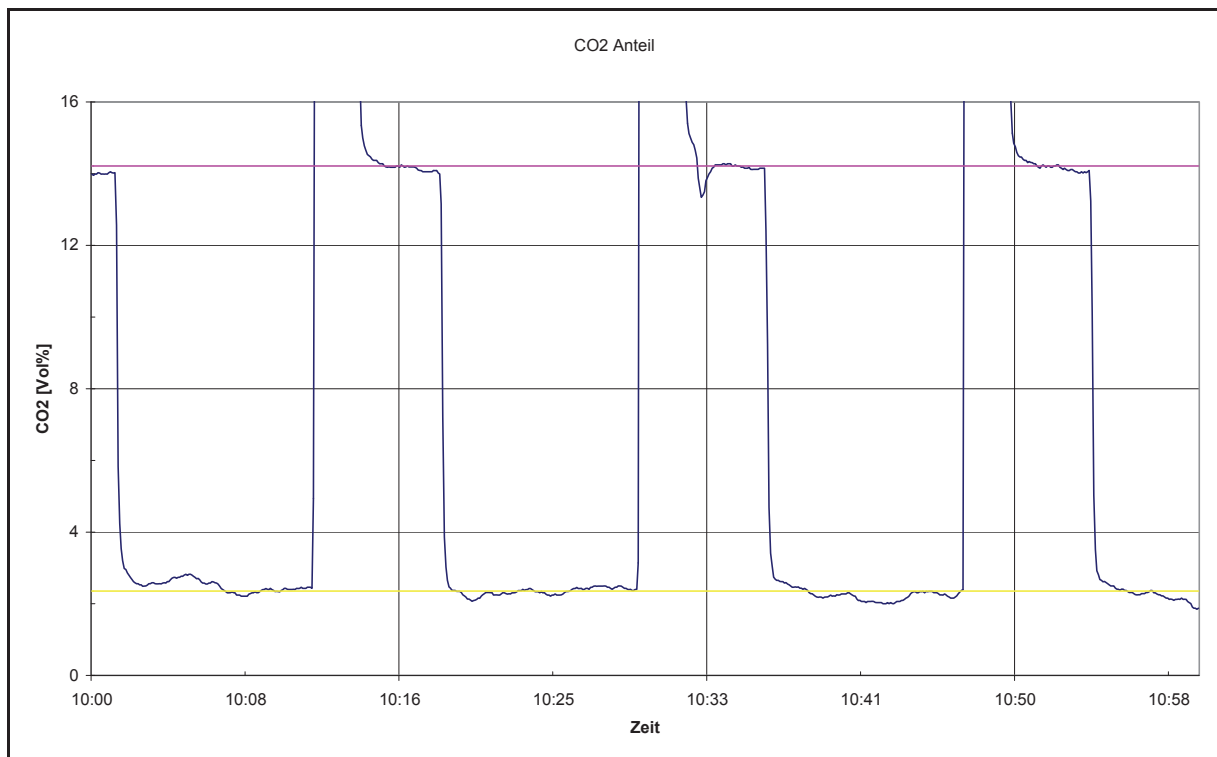


Abbildung 80: Versuchsauswertung Verlauf der CO_2 -Konzentration

Neben kleineren Pannen und Störungen traten bei den ersten Versuchen auch folgende Probleme im Betrieb auf:

- Vordruckventil V 03 (siehe Kapitel 4.2.4) unterdimensioniert:
Das Vordruckventil zur Einstellung des Druckes im Desober konnte die abgeschiedenen Mengen an CO₂ nicht abführen. Dadurch stiegen der Druck und damit die Temperatur im Desorberteil immer weiter an, wodurch kein stabiler Betriebspunkt gehalten werden konnte. Das Problem wurde durch den Einbau eines neuen Ventils behoben.
- Verdampfung des regenerierten Absorptionsmittels vor WT 2.2:
Die Pumpe 3.1 erzeugte saugseitig einen Unterdruck, wodurch das vom Ableiter T5 kommende regenerierte Absorptionsmittel teilweise verdampfte. Durch diese Verdampfung arbeitet der Wärmetauscher 2.1 nicht optimal, und ein Großteil der erforderlichen Energie, um das beladene Medium auf Desorptionstemperatur zu bringen, muss somit durch die Heizung Hz 3.1 aufgebracht werden. Um dieses Problem in den Griff zu bekommen, wurde die Pumpe 3.1 druckseitig durch den Einbau einer Drosselblende (Innendurchmesser 5 mm) und durch Verstellung des Ventils V 3.2 gedrosselt.
- Die CO₂-Konzentration des abgeschiedenen CO₂-Starkgases kann mit der eingebauten Messkarte nicht bestimmt werden, da diese nur für eine Maximalkonzentration von 60 % CO₂ ausgelegt ist.

4.3.1 Arbeitsanleitung zur Bedienung der Anlage

Allgemeines:

Änderungen an den Betriebsparametern (Heizleistung, Durchfluss, Druck usw.) sollten mit Bedacht und nicht sprunghaft vorgenommen werden. Bei nicht stabilen Betriebspunkten sollte die Anlage nicht unbeaufsichtigt gelassen werden.

Definierte Anlagenbetriebszustände:

- **Frostschutzbetrieb** (kleiner Absorptionsmittelkreis)

Im Frostschutzbetrieb wird das Absorptionsmedium mit Hilfe der Pumpe 3.1 im kleinen Kreis über den Bypasskugelhahn V 3.1 zirkuliert. Der Ableiter T5 wird über den Bypasskugelhahn V 3.5 umgangen. Die Heizung Hz 3.1 regelt auf einen Sollwert von ca. 40 °C, und die Sumpfheizung Hz 3.2 läuft auf Automatikbetrieb (Stellgrad proportional zum Durchfluss FIR 02 = 0). Der Absorber ist aufgrund der in diesem Bereich fehlenden Frostschutzheizung komplett entleert, und die Entleerungskugelhähne sind geschlossen. Alle pneumatisch und elektrisch betriebenen Ventile sind geschlossen. Der Puffertank T4 ist auf beiden Seiten abgesperrt und wird über den eingebauten Heizstab warm gehalten (Frostschutzheizung T4 ein). Der Vorwäscher W1 ist in Betrieb – Hz 1.1 und Pu 1.2 sind eingeschaltet. Die Kühlwasserleitungen und die dazugehörigen Wärmetauscher (WT 1.1, WT 1.2, WT 2.2, WT 3.2) sind entleert und geöffnet.

- **Teilbetrieb** (mittlerer Absorptionsmittelkreis)

Der Teilbetrieb stellt die Zwischenstufe zwischen dem Frostschutzbetrieb und dem Vollbetrieb dar und dient dazu, das Absorptionsmedium beim Hochfahren zu homogenisieren oder bei möglichen Störungen rund um den Absorber das Medium warm zu halten.

Bei dieser Fahrweise wird das Absorptionsmittel entweder über den pneumatischen Bypasskugelhahn V 2.8 oder über den Bypasskugelhahn V 2.5 im Kreis gepumpt und somit der Absorber umgangen (V 2.7 ist geschlossen) und nicht durchströmt. Im Gegensatz zum Frostschutzbetrieb ist zusätzlich zur Pumpe Pu 3.1 die Pumpe Pu 2.2 in Betrieb, und der Puffertank T4 wird durchströmt. Die Pumpe Pu 2.1 ist nicht in Betrieb, und das Stellventil V 2.6 ist geschlossen.

- **Vollbetrieb** (großer Absorptionsmittelkreis)

Dies ist der einzige Betriebszustand in dem Rauchgas durch die Anlage geleitet wird. Alle Bypasskugelhähne (V 2.8, V 2.5, V 3.1) sind geschlossen und alle Pumpen (Pu 1.2, Pu 2.1, Pu 2.2, Pu 3.1) in Betrieb. Sonstige Einstellungen (Heizleistungen, Ventilstellungen, etc.) sind dem gewünschten Betriebspunkt entsprechend vorzunehmen.

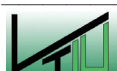
Zeichenerklärung für die folgenden Arbeitsanweisungen:



Im Container am Schaltschrank vorzunehmen












In der Versuchsanlage vorzunehmen











 Im Kraftwerksgebäude vorzunehmen



Anleitung zum Hochfahren der Anlage aus dem Frostschutzbetrieb




- Inbetriebnahme des mittleren Kreises (über V 2.8): um Temperatur, Konzentration und Beladung des Mediums zu homogenisieren
 - Pneumatikkugelhahn V 2.8 auf 
 - Kugelhahn V 2.10 auf 
 - Stellventil V 2.1 über KS90 auf ca. 30 % Stellgrad öffnen (entspricht ca. Durchfluss 2 l/min) 
 - Pu 2.2 ein 
 - V 4.1 Zulaufkugelhahn T4 auf 
 - Bypasskugelhahn 3.1 zu 



- Heizleistung erhöhen:
 - Hz 3.1 auf ca. 80 °C 
 - Hz 3.2 Handbetrieb auf Y = 20 % 
 - Begleitheizung Hz 0.0 für Rauchgaszuleitung ein 






- Herstellen der Kühlwasserversorgung:
 - Entleerungen, Entlüftungen und Entnahmekugelhahn der Kühlwasserleitungen schließen 
 - Kontrolle, ob Pressluftanschluss-Kugelhahn von WT 2.3 geschlossen ist 
 - Kühlwasserversorgungsschlauch anschließen 
 - Öffnen des werksseitigen Hauptkugelhahns 








- Kühlwasserseitiges Fluten des Kondensators WT 2.3:
 - Kugelhahn in der KW-Steigleitung öffnen 
 - Kapillarthermostatventil in Richtung „1“ drehen bis sich ein Durchfluss einstellt (Kontrolle am Rücklaufschlauch) 
 - Kapillarthermostatventil wieder auf einen Wert von ca. „2,8“ (Erfahrungswert) zurückstellen 
 - Umwälzpumpe ein 

- Sobald eine Temperatur von größer 80 °C erreicht ist, kann der Absorber flüssigkeitsseitig in Betrieb genommen werden.
 - Pneumatikkugelhahn V 2.8 zu 
 - Pneumatikkugelhahn V 2.7 auf 

- Pu 2.1 ein (ist mit LA-02 verriegelt) 
- Füllstandssollwert für T2 mit KS90 auf ca. 22 mm regeln 
- Sobald der Füllstand größer ca.19 mm ist, kann die Störung LA-02 quittiert werden 






- Heizleistung erhöhen:
 - Hz 3.1 auf ca. 100 °C 
 - Hz 3.2 Handbetrieb auf Y = 25 % 



- Sobald die 100 °C im Sumpf erreicht sind, kann Rauchgas durch die Anlage gefahren werden:
 - Werksseitiger Kugelhahn auf 
 - Pneumatische Klappe V 01 auf 
 - Gebläse VD 1 ein 
 - Filterabreinigung ein 
 - Ableiterbypass-Kugelhahn V3.5 zu 



- Einstellen des gewünschten Betriebspunktes:
 - Einstellung der gewünschten Rauchgasmenge über Handklappe V 02 
 - Volumenstrom Absorptionsmedium (über Stellgrad V 2.1) 
 - Heizleistung Hz 3.1 
 - Heizleistung Hz 3.2 
 - Temperatur Flüssigkeit Absorbereintritt TIR 2.4 über das Kapillarthermostatventil V2.2 
 - Temperatur Gas Absorbereintritt TIR 1.3 über das Kapillarthermostatventil V 1.3 am Kopf der Vorwäscherkolonne 
 - Desorberdruck über Abströmventil V03 

Achtung: Es dauert einige Zeit bis die Anlage konstant läuft und sich ein stabiler Betriebspunkt einstellt. Vor dem ersten Messpunkt sollte das Absorptionsmedium mindestens einmal umgewälzt werden, damit sichergestellt ist, dass die in der Anlage befindliche Luft zur Gänze ausgetrieben ist, die Temperaturen konstant sind und damit auch die Kapillarthermostatventile gleichmäßig arbeiten. Bis dahin ist es erforderlich einige Nachjustierungen an den Einstellungen vorzunehmen.




Anleitung zum Niederfahren in den Frostschutzbetrieb (aus dem Vollbetrieb)









- Rauchgaszufuhr unterbinden:
 - Gebläse VD 01 aus 
 - Pneumatikklappe V 01 zu 
 - Werksseitiger Kugelhahn zu 
 - Begleitheizung Hz 0.0 für Rauchgaszuleitung aus 
 - Filterabreinigung aus 




- Drosseln der Heizleistung:
 - Hz 3.1 auf ca. 40 °C 
 - Hz 3.2 Handbetrieb auf Y = 0 % 


- Umstellung auf den kleinen Kreis
 - Bypasskugelhahn V 3.1 auf 
 - V 4.1 Zulaufkugelhahn T4 zu 


- Ca. 1-2 min warten, damit sichergestellt ist, dass sich genug Absorptionsmittel im kleinen Kreis befindet.








- Absorber auskoppeln:
 - Pu 2.2 aus 
 - Stellventil V 2.1 auf Y = 0 % 
 - Pneumatikkugelhahn V 2.7 zu 

- Absorber entleeren:
 - Stellventil V 2.6 Handbetrieb Y > 50 % 
 - Sobald Störung LA- 02 anliegt wird die Pumpe Pu 2.1 verriegelt und kann ausgeschaltet werden 
 - Absorbentank T2 über Entleerungskugelhahn komplett entleeren 
 - Levelanzeigeschlauch entleeren 
 - LIC 02 absperren und entleeren 
 - Saugleitung Pu 2.1 entleeren 
 - Feedleitung W2 entleeren 
 - Entleertes Medium in T4 füllen 






- Puffertank T4
 - Flanschdeckel verschrauben 
 - T4 Ablaufkugelhahn V 2.10 zu 
 - Puffertankheizung Hz 4.1 auf ca. 40 °C stellen 






- V 3.5 Ableiterbypass T3 zur Hälfte auf 




- Kontrolle über Schaugläser in T3 ob Medium zirkuliert 









- Kühlwasserversorgung abstellen:
 - Schließen des werksseitigen Hauptkugelhahns 
 - Entnahmekugelhahn öffnen um Druck abzubauen 
 - Kühlwasserversorgungsschlauch abschließen und in das Kraftwerksgebäude zurückschieben  
 - Entlüftungskugelhähne am Kopfkondensator WT 1.2 öffnen 
 - Pressluftkugelhahn zum Ausblasen von WT 3.2 langsam öffnen und Kugelhahn in der KW-Vorlauf-Steigleitung schließen, damit die Pressluft über den WT strömt – sobald WT 3.2 entleert ist, Pressluftkugelhahn wieder schließen 
 - WT 2.2 über die Entleerung in der KW-Versorgungsleitung entleeren 




Anleitung zur Komplettenleerung der Versuchsanlage (aus dem Vollbetrieb)




- Rauchgaszufuhr unterbinden:
 - Gebläse VD 01 aus 
 - Pneumatikklappe V 01 zu 
 - Werksseitiger Kugelhahn zu 
 - Begleitheizung Hz 0.0 für Rauchgaszuleitung aus 
 - Filterabreinigung aus 


- Abschalten der Heizungen
 - Hz 3.1 und Hz 3.2 aus 
 - Begleitheizung Gas aus 
 - Frostschutzheizung und Hz 4.1 aus 
 - Hz 3.1 auf ca. 40 °C 
 - Hz 3.2 Handbetrieb auf Y = 0 % 









- Absorber auskoppeln:
 - Pu 2.2 aus 
 - Stellventil V 2.1 auf Y = 0 % 
 - Pneumatikkugelhahn V 2.7 zu 








- Absorber entleeren:
 - Stellventil V 2.6 Handbetrieb Y > 50 % 
 - Sobald Störung LA- 02 anliegt wird die Pumpe Pu 2.1 verriegelt und kann ausgeschaltet werden 
 - Absorbentank T2 über Entleerungskugelhahn komplett entleeren 
 - Levelanzeigeschlauch entleeren 
 - LIC 02 absperren und entleeren 
 - Saugleitung Pu 2.1 entleeren 
 - Feedleitung W2 entleeren 
 - Entleertes Medium in Transportbehälter füllen 







- Desorber und Puffertank T4 entleeren
 - T4 Ablaufkugelhahn V 2.10 zu 
 - Puffertankheizung Hz 4.1 auf 0 °C stellen 
 - Beginnen T4 zu entleeren 

 - V 3.5 Ableiterbypass T3 öffnen 
 - Wanne T3 über V 3.4 in T4 pumpen (Es wäre ebenfalls möglich T3 den Entleerungskugelhahn nach dem Ableiter zu entleeren, jedoch Vorsicht: Medium sehr heiß) 
 - Sobald T3 leer Pu 3.1 aus 

 - T4 komplett entleeren 

 - Feedleitung W3 (mit Hz 3.1) über V2.5 (Probenahmestelle) und über Entleerung vor WT 2.1 entleeren 
 - Ableiter entleeren 
 - Saugleitung Pu 3.1 entleeren 
 - Kondensatrücklaufleitung von WT 3.2 in T3 entleeren 
 - Bypass-Levelanzeige T3 entleeren 
 - Levelanzeigeschlauch T4 entleeren 
 - Saugleitung Pu 2.2 (von T4 entleeren) 
 - Pumpen entleeren 

- Kühlwasserversorgung abstellen:
 - Schließen des werksseitigen Hauptkugelhahns 
 - Entnahmekugelhahn öffnen um Druck abzubauen 
 - Kühlwasserversorgungsschlauch abschließen und in das Kraftwerksgebäude zurückschieben  
 - Entlüftungskugelhähne am Kopfkondensator WT 1.2 öffnen 
 - Pressluftkugelhahn zum Ausblasen von WT 3.2 langsam öffnen und Kugelhahn in der KW-Vorlauf-Steigleitung schließen, damit die Pressluft über den WT strömt – sobald WT 3.2 entleert ist, Pressluftkugelhahn wieder schließen 
 - WT 2.2 über die Entleerung in der KW-Versorgungsleitung entleeren 

- Vorwäscher:
 - Pu 1.2 aus 
 - Hz 1.1 aus 
 - T1 über Entleerungskugelhahn entleeren 
 - Levelanzeigeschlauch entleeren 
 - Saugleitung Pu 1.2 entleeren 
 - Feedleitung W1 über Entleerungskugelhahn nach WT 1.1 entleeren 

5 Zusammenfassung

Spätestens seit dem letzten Synthesebericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) ist man sich unter Experten einig, dass die steigende atmosphärische CO₂-Konzentration aufgrund der Nutzung fossiler Energieträger eine der Hauptursachen für die globale Erwärmung darstellt. Um die Auswirkungen des Klimawandels auf ein beherrschbares Maß zu begrenzen, muss der CO₂-Ausstoß so schnell wie möglich verringert werden.

Zur Erreichung dieses Ziels werden verschiedene Möglichkeiten wie Wirkungsgradverbesserung, Ausbau erneuerbarer Energien und der Atomenergie und CCS in Betracht gezogen. CCS steht für „Carbon Capture and Storage“ und dient als Sammelbegriff für Techniken zur Abtrennung und anschließender Speicherung von Kohlendioxid aus Kraftwerksabgasen.

Aufgrund der hohen Abhängigkeit von fossilen Energieträgern ist es in den nächsten Jahrzehnten kaum möglich, die Nutzung dieser Brennstoffe im erforderlichen Ausmaß zu verringern. Durch den steigenden Energiebedarf in Schwellenländern wie China, Indien und Brasilien geht man davon aus, dass der Verbrauch an fossilen Ressourcen sogar erheblich zunehmen wird. Deshalb wird CCS von vielen Fachleuten als eine Brückentechnologie angesehen, um Zeit für eine grundlegende Energiewende zu gewinnen.

Bei der Abscheidung von CO₂ aus Kraftwerksabgasen unterscheidet man zwischen drei prinzipiellen Möglichkeiten:

- Verfahren zur Abscheidung nach der Verbrennung (Post-combustion capture)
- Verfahren zur Abscheidung vor der Verbrennung (Pre-combustion capture)
- Verbrennung mit Reinsauerstoff (Oxyfuel-combustion)

Von diesen drei Optionen greift das Post-Combustion-Verfahren am wenigsten in den Kraftwerksprozess ein und eignet sich daher am besten zur Nachrüstung in bestehenden Anlagen. Bei dieser Technologie wird das CO₂ durch chemische Absorption aus dem Abgas entfernt. Obwohl diese Technik in anderen Industriezweigen schon länger verwendet wird, ist der Einsatz in großen Kraftwerken noch in der Entwicklungsphase. Vor allem der hohe Energiebedarf der Abtrennung - der stark vom eingesetzten Absorptionsmittel abhängig ist - steht im Zentrum derzeitiger Forschungsarbeiten.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Post-Combustion-Versuchsanlage errichtet, die es ermöglicht, neue Absorptionsmittel unter realen Bedingungen am Kraftwerk zu testen. Abbildung 81 zeigt ein Foto der fertigen Pilotanlage.



Abbildung 81: Außenansicht der Versuchsanlage

Die gesamte Anlage – bestehend aus einem Kleincontainer und den Anlagenbauteilen – ist auf einem transportablen Rahmen montiert, um den Einsatz an verschiedenen Standorten zu ermöglichen. Der Kleincontainer dient der Unterbringung der Schaltanlage, der Mess- und Regeltechnik sowie der Datenerfassung. Die Abmessungen betragen in etwa 6 m Länge, 2,5 m Breite und 2,5 m Höhe (Containerhöhe, Kolonnenhöhe ca. 4 m).

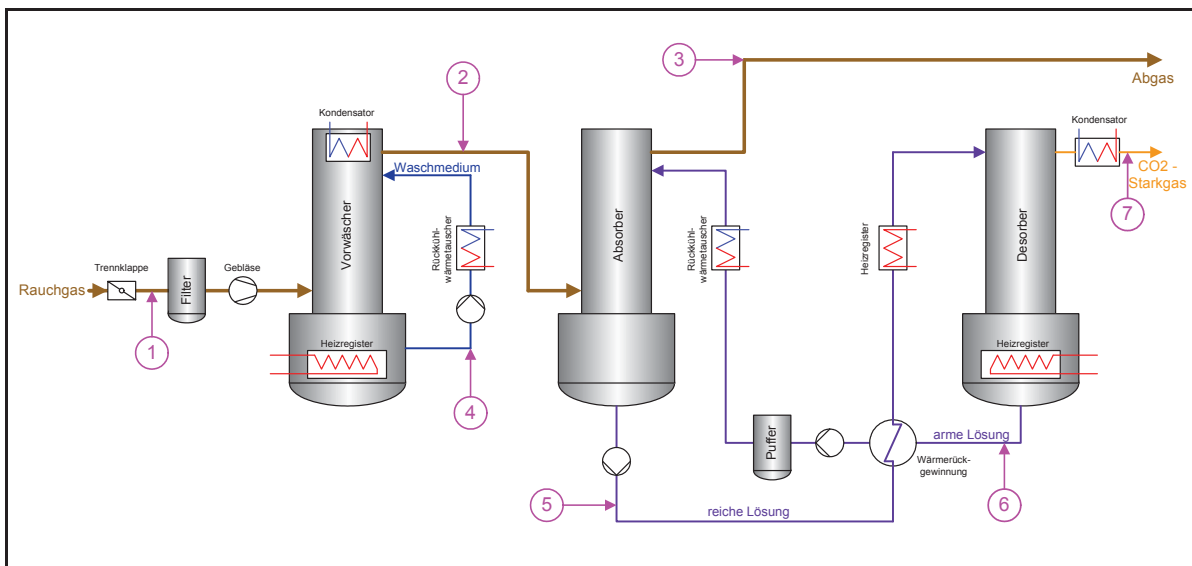


Abbildung 82: Grundschemata der Versuchsanlage

Abbildung 82 stellt ein vereinfachtes Schema der Versuchsanlage dar. Das zu behandelnde Prozess- bzw. Rauchgas wird mit Hilfe einer pneumatischen Klappe vom Kraftwerk übernommen und durch einen Kartridgefilter geführt.

Dieser dient dazu, eventuell enthaltenen Reststaub und Waschmittelzusatzstoffe (Aerosole, Salze) weitgehend abzutrennen.

Ein Gebläse fördert anschließend das Rauchgas weiter in den Vorwäscher. In diesem erfolgen eine Restentschwefelung, die vor allem bei Verwendung von MEA als Absorptionsmittel aufgrund der Querreaktion mit SO_2 notwendig ist, und die Einstellung der Rauchgastemperatur, um geeignete Bedingungen für den anschließenden Absorptionsprozess zu schaffen. Der Vorwäscher besteht aus einem Sumpfbehälter und einer einstufigen Füllkörperkolonne, die vom Rauchgas von unten nach oben durchströmt wird. Das Waschmittel wird am Kopf der Kolonne mit einem Flüssigkeitsverteiler aufgegeben, rieselt durch die Füllkörperschüttung, absorbiert dabei das im Rauchgas enthaltene SO_x . Durch den Rückkühlwärmetauscher im Kopf der Kolonne und die Beheizung des Sumpfes ist eine Einstellung der Gasaustrittstemperatur von 30 - 60 °C möglich.

Das Rauchgas verlässt den Vorwäscher am Kopf der Kolonne und tritt in den Absorptionsreaktor ein. Die Kontaktierung der Absorptionsflüssigkeit (MEA, ionische Flüssigkeiten) mit dem Abgas erfolgt ebenfalls einstufig in einer Füllkörperkolonne. Die Absorptionsflüssigkeit wird am Kopf der Kolonne aufgegeben, rieselt durch die Füllkörperschüttung und wird aus dem Sumpf zur Desorption weiter gefördert. Das Abgas strömt durch die Füllkörperschichten aufwärts und gibt dabei CO_2 an das chemisch wirkende Absorptionsmittel ab. Das Gas verlässt am Kopf der Kolonne den Bereich der Stoffübertragung und wird über eine Mengenummessung abgegeben.

Die Absorptionsflüssigkeit wird in einem zweistufigen Prozess auf die Austreibungstemperatur erwärmt. In der ersten Stufe erfolgt eine Wärmeübertragung von der heißen Absorptionslösung auf die beladene kalte Absorptionsflüssigkeit. Die restliche Erwärmung bis zur erforderlichen Temperatur erfolgt über ein elektrisches Durchflusshheizregister.

Die nun heiße Absorptionslösung von 70 - 110 °C wird am Kopf der Desorberkolonne aufgegeben. Der Desorber wird im unter der Kolonne angebrachten Sumpftank beheizt und erzeugt so den erforderlichen Dampf, um das chemisch gebundene CO_2 auszutreiben. Anschließend wird der Wasserdampf-Kondensator kondensiert und das CO_2 über ein Druckventil an die Umgebung abgegeben.

Das regenerierte Absorptionsmittel wird durch einen der Wärmerückgewinnung dienenden Wärmeübertrager mit dem kalten Absorptionsmittel abgekühlt. Danach wird das Absorptionsmedium zur Entkopplung des Absorptions- und Desorptionskolonnenbetriebs in einem Puffergefäß zwischengespeichert. Um die gewünschte Temperatur in der Absorptionskolonne zu erzielen, erfolgt die restliche Abkühlung durch einen Wärmeübertrager.

Die Versuchsanlage wurde auf dem Betriebsgelände des EVN Kraftwerkes Dürnröhr im Freien auf befestigtem Untergrund aufgestellt und in Betrieb genommen. Erste Versuche waren mit Anlaufschwierigkeiten verbunden, welche allerdings rasch behoben werden konnten. Nach dem Kennenlernen der Anlage konnten bereits vielversprechende Abscheideleistungen erzielt werden.



6 Verzeichnisse

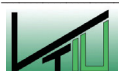
6.1 Literatur

- [1] MADRY, THOMAS: *Klimawandel und Energiesysteme*. URL http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/wsa2.pdf. - abgerufen 2012-01-30. — Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
- [2] LENNY BERNSTEIN ; PACHAURI, RAJENDRA K: *Klimaänderung 2007: Synthesebericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPPC)*. Berlin, 2008 — ISBN 9783000253973
- [3] AHMED F., GHONIEM: Needs, resources and climate change: Clean and efficient conversion technologies. In: *Progress in Energy and Combustion Science* Bd. 37 (2011), Nr. 1, S. 15–51
- [4] SIEGMUND, ALEXANDER: Der Klimawandel – Eine aktuelle Bilanz globaler Prozesse und ihrer regionalen Folgen. In: *uwf UmweltWirtschaftsForum* Bd. 16 (2008), Nr. 1, S. 3–11
- [5] KUTTLER, WILHELM: Climate change in urban areas, Part 1, Effects. In: *Environmental Sciences Europe* Bd. 23 (2011), Nr. 1, S. 11
- [6] ALLISON, IAN ; CLIMATE CHANGE RESEARCH CENTRE. ; THE UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES. ; CCRC. ; UNSW.: *The Copenhagen diagnosis: Updating the world on the latest climate change*. Sydney, 2009 — ISBN 9780980731613
- [7] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: *Key World Energy Statistic 2011*. URL <http://www.iea.org/publications/index.asp>. - abgerufen 2012-04-10
- [8] BP: *BP Statistical review of world energy June 2011*. URL <http://www.bp.com/sectionbodycopy.do?categoryId=7500&contentId=7068481>. - abgerufen 2012-04-10
- [9] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: *CO2 Emissions from fossil fuel combustion 2011*. URL <http://www.iea.org/publications/index.asp>. - abgerufen 2012-04-10
- [10] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: *World Energy Outlook 2011 - Zusammenfassung*. URL <http://www.iea.org/weo/>. - abgerufen 2012-04-11
- [11] IZ KLIMA: *CO2-Abscheidung und -Speicherung als Beitrag zum weltweiten Klimaschutz*. URL <http://www.iz-klima.de/materialien/publikationen/broschueren/>. - abgerufen 2012-01-24
- [12] *Homepage von Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies (CO2CRC)*. URL <http://www.co2crc.com.au/>. - abgerufen 2012-04-16

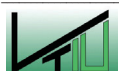
- [13] PRAETORIUS, BARBARA ; SCHUMACHER, KATJA: Greenhouse gas mitigation in a carbon constrained world: The role of carbon capture and storage. In: *Energy Policy* Bd. 37 (2009), Nr. 12, S. 5081–5093
- [14] WUPPERTAL INSTITUT FÜR KLIMA, UMWELT, ENERGIE GMBH: *RECCS plus - Regenerative Energien im Vergleich mit CO₂-Abtrennung und -Ablagerung (CCS)*. URL http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wiprojekt/RECCSplus_Endbericht.pdf. - abgerufen 2012-01-30
- [15] GIBBINS, JON ; CHALMERS, HANNAH: Carbon capture and storage. In: *Energy Policy* Bd. 36 (2008), Nr. 12, S. 4317–4322
- [16] METZ, BERT ; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. WORKING GROUP III.: *IPCC special report on carbon dioxide capture and storage*. Cambridge : Cambridge University Press for the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2005 — ISBN 0521685516
- [17] DRAXLER, JOSEF: *Skriptum zur Vorlesung Thermische Verfahrenstechnik*. Leoben : Montanuniversität Leoben, Institut für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes, 2002
- [18] MERSMANN, ALFONS ; KIND, MATTHIAS ; STICHLMAIR, JOHANN: *Thermische Verfahrenstechnik*: Grundlagen und Methoden. Berlin [u.a.] : Springer, 2005 — ISBN 3540236481
- [19] ROLKER, J. ; ARLT, W.: Abtrennung von Kohlendioxid aus Rauchgasen mittels Absorption. In: *Chemie Ingenieur Technik* Bd. 78 (2006), Nr. 4, S. 416–424
- [20] *Katalog: Hochdruckventilatoren der Firma Elektor airsystems GmbH*. URL http://www.elektor.de/fileadmin/user_upload/pdf/deutsch/Katalog_HRD_dt_engl.pdf. - abgerufen 2012-02-03
- [21] *Katalog: Mehrstufige, horizontale Kreiselpumpen der Firma Grundfos*. URL <http://www.grundfos.com/>. - abgerufen 2010-02-19
- [22] GROTE, KARL-HEINRICH ; FELDHUSEN, JÖRG: *Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau*. 22., neu bearb. u. erw. Aufl. Aufl. : Springer Berlin Heidelberg, 2007 — ISBN 3540497145

6.2 Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
ΔH	Reaktionsenthalpie
°C	Grad Celsius
a	Jahr
bar	Druckeinheit, 10 ⁵ Pascal



C	Kohlenstoff
ca.	cirka
CCS	Carbon Capture and Storage
CH ₄	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
DEA	Diethanolamin
DN	Nenndurchmesser
etc.	et cetera
ges.	Gesamt
ggf.	gegebenenfalls
h	Stunde
H ₂	Wasserstoff
H ₂ O	Wasser
H _{ij}	Henry Konstante
Hz	Herz
I	Stromstärke
IEA	Internationale Energieagentur
IGCC	Integrated Gasification Combined Cycle
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
J	Joule
kg	Kilogramm
l	Liter
m	Meter
M	Mega
m ²	Quadratmeter
MDEA	Methyldiethanolamin
MEA	Monoethanolamin
min ⁻¹	Umdrehungen pro Minute
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
N ₂	Stickstoff
N ₂ O	Lachgas
NaHCO ₃	Natriumhydrogencarbonat
Nm ³	Normkubikmeter
NO _x	Stickoxide
O ₂	Sauerstoff
O ₃	Ozon
p	Druck
Pa	Pascal
ppm	parts per million
R&I	Rohrleitung und Installation



SO ₂	Schwefeldioxid
SO _x	Schwefeloxide
t	Tonne
TEA	Triethanolamin
usw.	und so weiter
V	Volt
v.a.	vor allem
Vol%	Volumsprozent
W	Watt
w%	Gewichtsprozent
Y	Sternschaltung
zB	zum Beispiel

6.3 Tabellen

Tabelle 1: Eigenschaften und Veränderungen anthropogener Klimagase [1].....	4
Tabelle 2: Strombezeichnung.....	23
Tabelle 3: Daten Wärmeübertrager WT 1.1	38
Tabelle 4: Daten Wärmeübertrager WT 2.1	42
Tabelle 5: Daten Wärmeübertrager WT 2.2	47
Tabelle 6: Daten Einbauregister Wärmeübertrager WT 3.2	49
Tabelle 7: Nenndaten Füllkörper	51
Tabelle 8: Daten Flüssigkeitsverteiler	52
Tabelle 9: Daten Flüssigkeitspumpen [21]	53
Tabelle 10: Daten Gasdurchflussmessung	56
Tabelle 11: Daten Kühlwasserregelung	59
Tabelle 12: Störungsgruppe G1	63
Tabelle 13: Störungsgruppe G2	64
Tabelle 14: Störungsgruppe G3	64
Tabelle 15: Störungsgruppe G4	64
Tabelle 16: Kanalbelegung Datenlogger Adresse 81	81
Tabelle 17: Kanalbelegung Datenlogger Adresse 82.....	81
Tabelle 18: Kanalbelegung Datenlogger Adresse 83.....	82

6.4 Abbildungen

Abbildung 1: Strahlungsbilanz und Treibhauseffekt [3].....	3
--	---

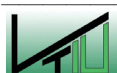


Abbildung 2: Verlauf der CO ₂ - und CH ₄ -Konzentration [6]	5
Abbildung 3: Anstieg der atmosphärischen CO ₂ - Konzentration und der globalen Durchschnitts-temperatur [3].....	5
Abbildung 4: Szenarien des globalen Temperaturverlaufs [2].....	6
Abbildung 5: Weltweiter Primärenergieverbrauch in Mio. Tonnen Öläquivalenten [7]	7
Abbildung 6: Anteile der Energieträger am Primärenergieverbrauch 2009 [7].....	7
Abbildung 7: Anteile der Energieträger an CO ₂ -.....	8
Abbildung 8: Anteile der versch. Sektoren an CO ₂ -Emissionen [9].....	8
Abbildung 9: Schematische Darstellung möglicher CCS-Konzepte [12]	11
Abbildung 10: Grundlegende Verfahren zur CO ₂ -Abscheidung bei Kraftwerken [15]	13
Abbildung 11: Anlagenschema eines Kohlekraftwerks mit Post-Combustion-Abscheidung [16]	14
Abbildung 12: Schematische Darstellung einer Absorptionsanlage mit Regeneration [17] ...	16
Abbildung 13: Eigenschaften verschiedener Aminarten [19].....	17
Abbildung 14: Füllkörper der ersten (oben), zweiten (Mitte) und dritten (unten) Generation [18]	19
Abbildung 15: Arbeitsdiagramm Absorption [18]	20
Abbildung 16: Arbeitsdiagramm Desorption [18].....	20
Abbildung 17: Aufstellung der Anlage	22
Abbildung 18: Grundschemata der Versuchsanlage	23
Abbildung 19: R&I Schema	25
Abbildung 20: Isometrisches Schema Rauchgasweg	27
Abbildung 21: R&I Rauchgasübernahme und -filter	28
Abbildung 22: Filterpatrone	29
Abbildung 23: Filtergehäuse.....	29
Abbildung 24: Nenndaten Gebläse [20]	31
Abbildung 25: Kennlinien Gebläse [20]	31
Abbildung 26: Skizze Vorwäscher.....	32
Abbildung 27: 3-D Ansicht Kopfkondensator.....	33
Abbildung 28: WT1.1 Plan.....	33
Abbildung 29: R&I W1 und W2 Rauchgas	34
Abbildung 30: Absorberkolonne	35

Abbildung 31: R&I Ausschnitt W1	37
Abbildung 32: Skizze T1.....	37
Abbildung 33: Foto WT 1.1.....	37
Abbildung 34: RI-Ausschnitt Absorptionsmittelkreislauf	39
Abbildung 35: Skizze T2.....	40
Abbildung 36: Foto T2	40
Abbildung 37: Foto WT 2.1.....	41
Abbildung 38: Foto Hz 3.1, Feed W2	41
Abbildung 39: Skizze Desorberkolonne	43
Abbildung 40: Einbauten T3.....	44
Abbildung 41: Hz 3.2	44
Abbildung 42: Desorber Sumpftank T3	45
Abbildung 43: LI 03 Foto	45
Abbildung 44: T4 Skizze.....	46
Abbildung 45: T4 Foto Montagezustand	46
Abbildung 46: R&I-Ausschnitt Wasserdampfabscheidung	49
Abbildung 47: Foto Wasser-.....	49
Abbildung 48: 3-D Abbildung WT 3.2.....	50
Abbildung 49: Einbauregister WT 3.2.....	50
Abbildung 50: Füllkörper W1 und W2.....	51
Abbildung 51: Füllkörper W3	51
Abbildung 52: Flüssigkeitsverteiler W2	52
Abbildung 53: Flüssigkeitsverteiler W3	52
Abbildung 54: Pumpenkennlinie Grundfoss CHI 2 [21].....	53
Abbildung 55: Pt100 mit ECO 24 als Grenzwertschalter.....	54
Abbildung 56: Schema der Messgasanalyse	57
Abbildung 57: Foto der Messgasanalysegruppe	57
Abbildung 58: „Einspritzschaltung“ WT 3.2	60
Abbildung 59: Foto KW-Versorgung WT 3.2	60
Abbildung 60: Stellgrad V 2.6 über Füllstand T2.....	60
Abbildung 61: Stellgrad V 2.1 über Durchfluss FIR 03.....	61

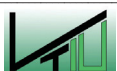


Abbildung 62: Leistungsregelung Hz 3.1 über Messung der Feedtemperatur TIRC 3.1.....	61
Abbildung 63: Leistungsregelung Hz 3.2 über Durchflussmenge FIR 02.....	62
Abbildung 64: Strukturierung der Störungsverwaltung.....	63
Abbildung 65: Farbsystem zur Verdrahtung im Schaltschrank	66
Abbildung 66: Schaltplan Energieverteilung Schaltschrank [+01].....	68
Abbildung 67: Schaltplan Energieverteilung Schaltschrank [+02] einphasige Verbraucher...	69
Abbildung 68: Schaltplan Energieverteilung Schaltschrank [+02] dreiphasige Verbraucher..	70
Abbildung 69: Schaltplan Steuerstrom Ansteuerung 1.....	72
Abbildung 70: Schaltplan Steuerstrom Ansteuerung 2.....	73
Abbildung 71: Schaltplan Steuerstrom Energieverteiler [+01].....	74
Abbildung 72: Schaltplan Störungserfassung G1.....	76
Abbildung 73: Schaltplan Störungserfassung G2.....	77
Abbildung 74: Schaltplan Störungserfassung G3.....	78
Abbildung 75: Schaltplan Störungserfassung G4.....	79
Abbildung 76: Signalfluss und Verdrahtung Analogsignale.....	80
Abbildung 77: Datenerfassungssoftware e.console	82
Abbildung 78: Lageplan zum Aufstellungsort der Versuchsanlage am Kraftwerk Dürnrohr...	83
Abbildung 79: Foto der Versuchsanlage am Aufstellungsort in Dürnrohr	84
Abbildung 80: Versuchsauswertung Verlauf der CO ₂ -Konzentration	85
Abbildung 81: Außenansicht der Versuchsanlage	95
Abbildung 82: Grundschemata der Versuchsanlage.....	95
Abbildung 83: Isometrisches Rohrschema Waschmedium W1.....	I
Abbildung 84: Isometrisches Rohrschema Desorber Feed.....	II
Abbildung 85: Isometrisches Rohrschema T3 nach T4.....	III
Abbildung 86: Isometrisches Rohrschema Absorber Feed.....	IV
Abbildung 87: Kettenbildung Störschaltung Gruppe 1	X
Abbildung 88: Kettenbildung Störschaltung Gruppe 2	XI
Abbildung 89: Kettenbildung Störschaltung Gruppe 3	XII
Abbildung 90: Kettenbildung Störschaltung Gruppe 4	XIII

Anhang

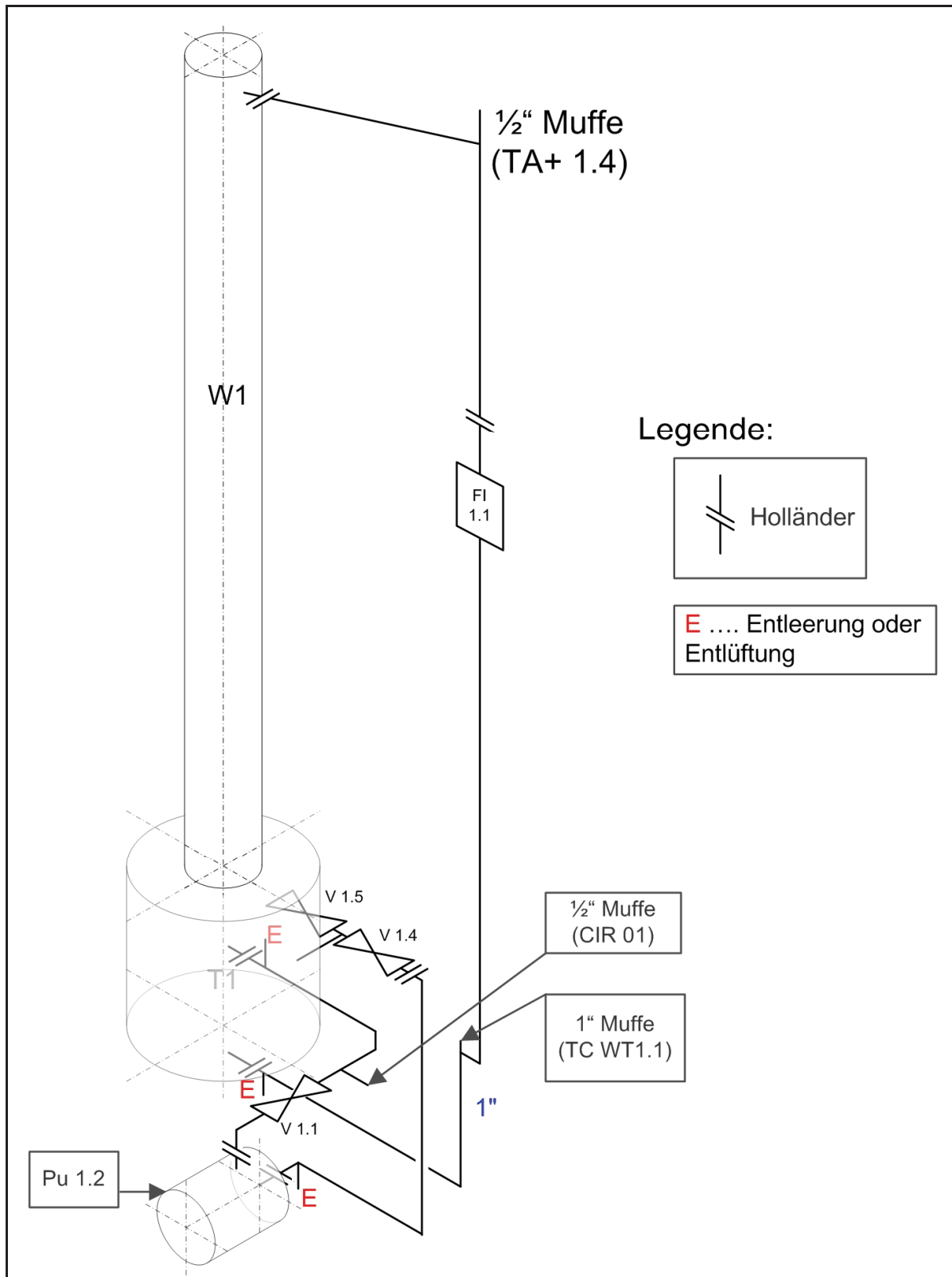


Abbildung 83: Isometrisches Rohrschema Waschmedium W1

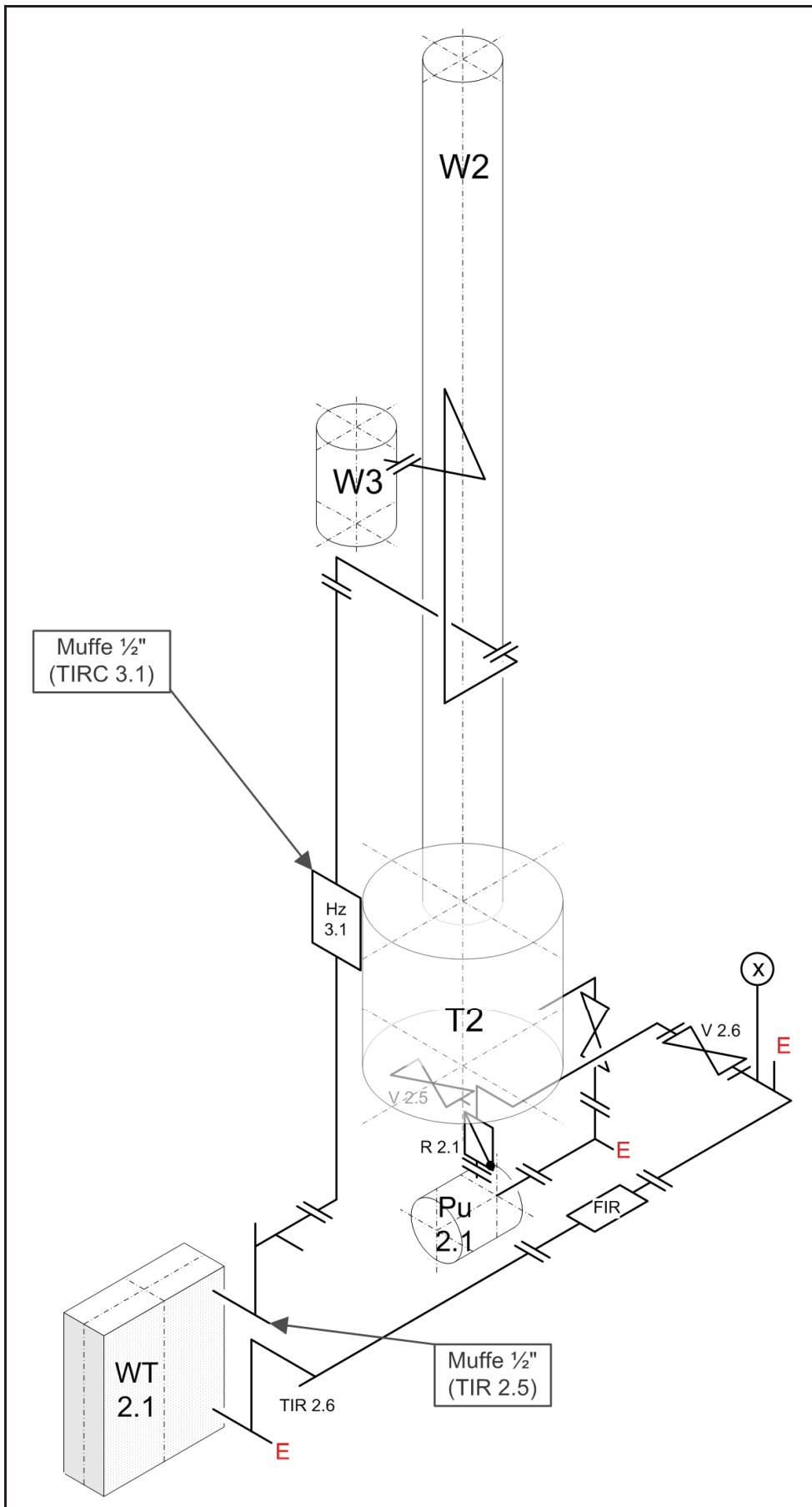


Abbildung 84: Isometrisches Rohrschema Desorber Feed

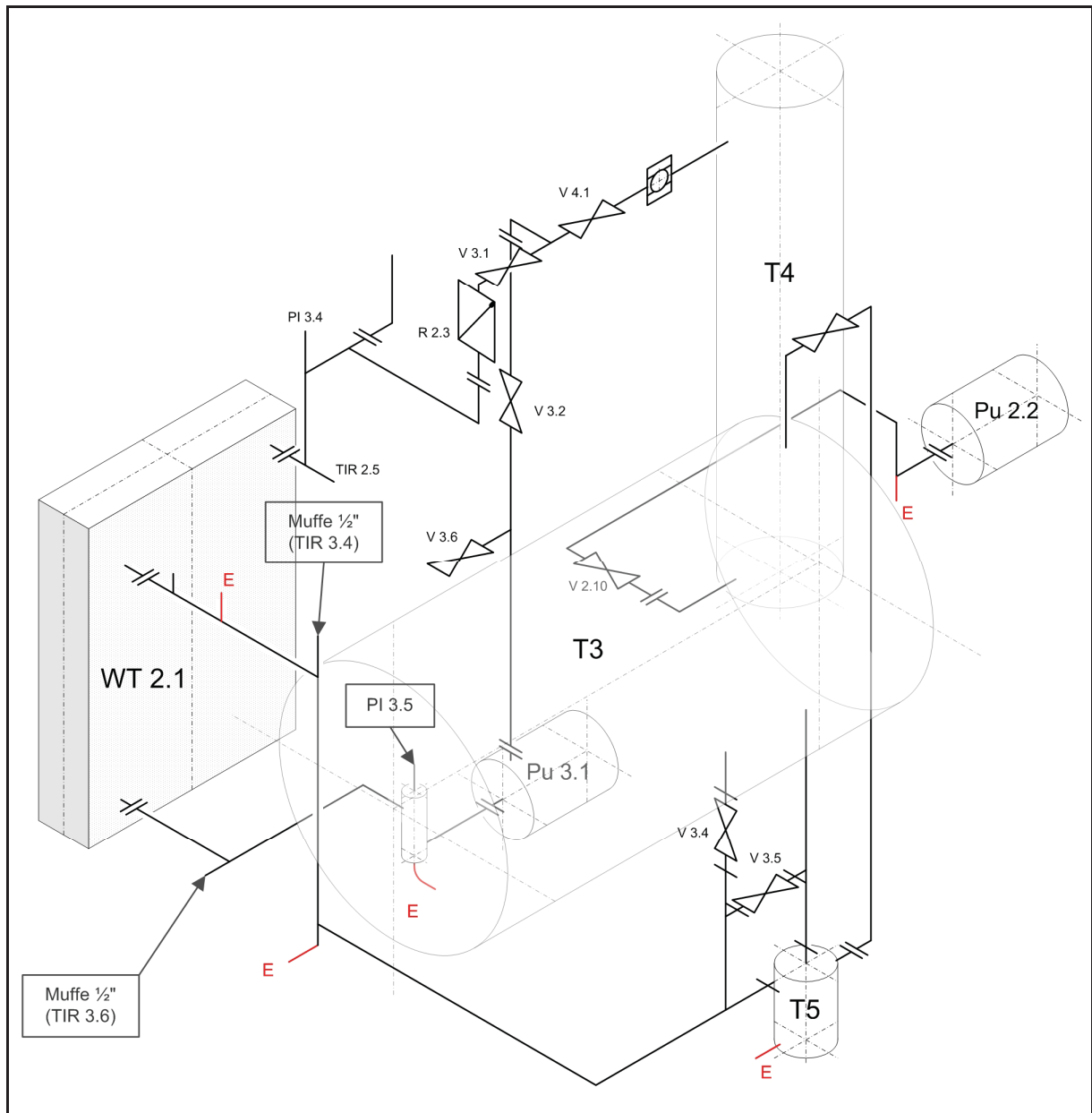


Abbildung 85: Isometrisches Rohrschema T3 nach T4

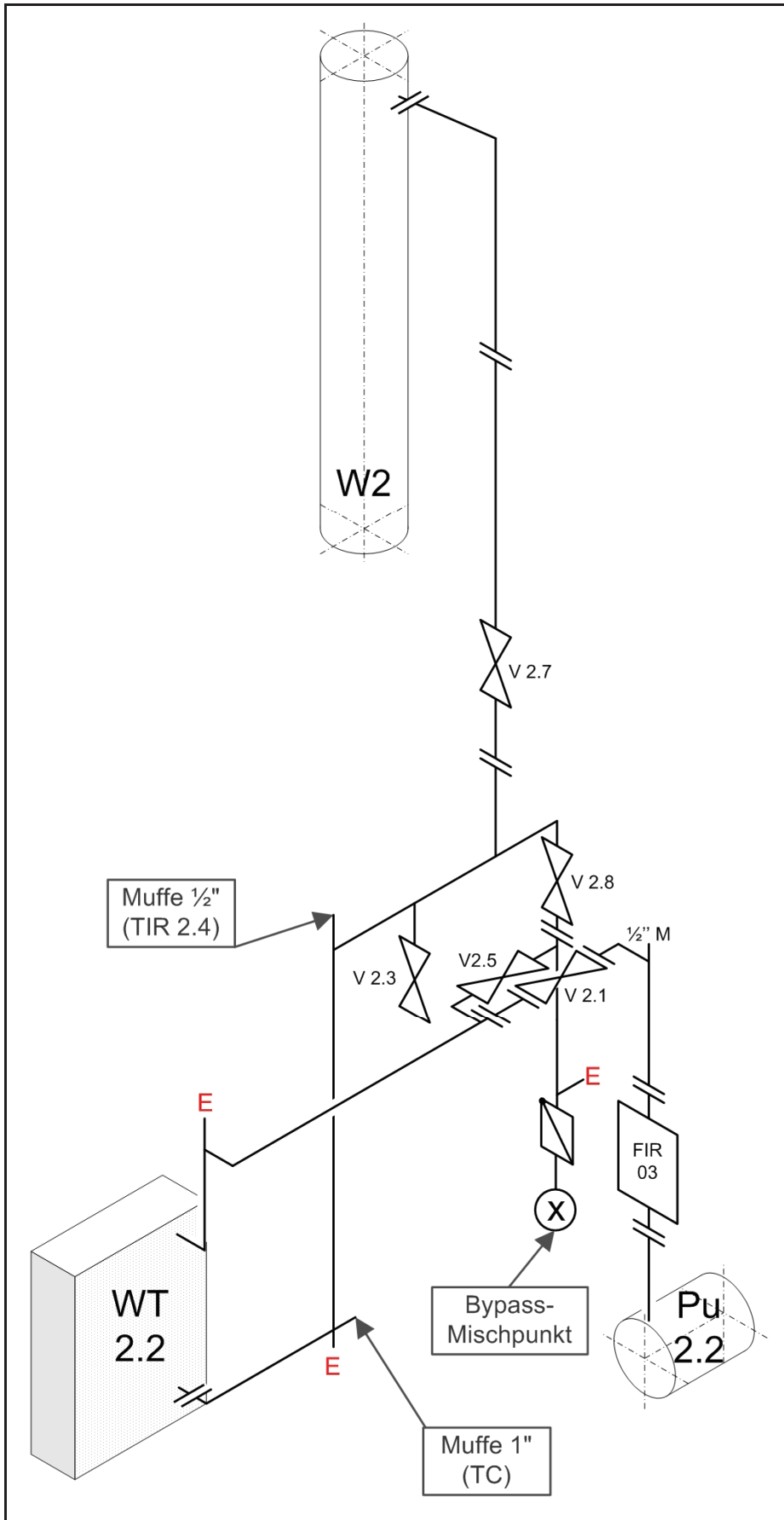


Abbildung 86: Isometrisches Rohrschema Absorber Feed

Armaturenliste

Bezeichnung	Art	Betätigung	Medium	Einbauort	Temp. Dim.	Ausführung	Anmerkungen	1. Anbieter	Type
Hauptgasleitung									
V 01	Klappe	pneumatisch	Gas	Anschluss	100	DN50 Fernbedienung auf/zu	Edelstahl Klappe	Stasto	Sylax P-149G011267-D-N
V 02	Klappe	manuell	Gas	nach Gebälse VD 01	100	DN50 "Wasserklappe"	Edelstahl Klappe	Stasto	Sylax 149G011267
V 03	Vordruckminderer	autom.	Gas	CO2 aus		1"	0-2 bar	Teschm	44-2300

Vorwäscher W1

V.1.1	Nadelventil	manuell	Wasser	Wäscher 1 Waschkreislauf 1	1/2"			Stasto	110VA - 1/2"
V.1.2	Temperaturregler	autom.	Wasser	Kühlkreislauf WT 1.1	1/2"	direkt temperaturgesteuert	10-80 °C	ÖAG	Danfoss AVTA 15
V.1.3	Temperaturregler	autom.	Wasser	Kühlkreislauf WT 1.2	1/2"	direkt temperaturgesteuert	10-80 °C	ÖAG	Danfoss AVTA 15
V.1.4	Kugelhahn	manuell	Wasser	Sumpfausslass T1 - Waschkreislauf 1	1/2"			Stasto	704000 - 1/2"
V.1.5	Kugelhahn	manuell	Wasser	Sumpfausslass T1 - Waschkreislauf 1	3/8"			Stasto	704000 - 3/8"
V.1.6	Kugelhahn	manuell	Wasser	Sumpfausslass T1	1"			Stasto	704000 - 1"
V.1.7	Nadelventil	manuell	Wasser	Bypass Leitfähigkeitsmessung T1	1/2"			Stasto	110VA - 1/2"

Absorber W2

V.2.1	Stellventil	autom.	Wasser	Wäscher 2 Waschkreislauf 2	DN 15	Motorantrieb	Edelstahl, PTFE-Dichtung, Kvs 0,4 m³/h	LDM	RV 231 EVH 1813 L6 16/140-15
V.2.2	Temperaturregler	autom.	Wasser	Kühlkreislauf WT 2.2	1/2"	direkt temperaturgesteuert	10-80 °C	ÖAG	Danfoss AVTA 15
V.2.3	Kugelhahn	manuell	Wasser	W2, Feed, für QR 06	3/8"			Stasto	704000 - 3/8"
V.2.4	Kugelhahn	manuell	Wasser	nach Pr.2.1 für QR02	3/8"			Stasto	704000 - 1/2"
V.2.5	Kugelhahn	manuell	Wasser	W2, Bypass	1/2"			Stasto	704000 - 3/8"
V.2.6	Stellventil	autom.	Wasser	Sumpfausslass T2	DN 15	Motorantrieb	Edelstahl, PTFE-Dichtung, Kvs 0,4 m³/h	LDM	RV 231 EVH 1813 L6 16/140-15
V.2.7	Kugelhahn	manuell/pneum.	Wasser	W2, Feed	1/2"			Stasto	8P0003-1/2"
V.2.8	Kugelhahn	manuell/pneum.	Wasser	W2, Bypass WT 2.2	1/2"			Stasto	8P0003-1/2"
V.2.9	Kugelhahn	manuell	Wasser	nach T2	1/2"			Stasto	704000 - 1/2"
V.2.10	Kugelhahn	manuell	Wasser	nach T4	1/2"			Stasto	704000 - 1/2"
R.2.1	Rückschlagklappe	manuell	Wasser	aus T2	1/2"		1.4301; Dichtung FKM, 0.25-16 bar	Stasto	30AVS-1/2"
R.2.2	Rückschlagklappe	manuell	Wasser	Bypass W2	1/2"		1.4301; Dichtung FKM, 0.25-16 bar	Stasto	30AVS-1/2"
R.2.3	Rückschlagklappe	manuell	Wasser	Bypass vor T4	1/2"		1.4301; Dichtung FKM, 0.25-16 bar	Stasto	30AVS-1/2"

Desorber W3

V.3.1	Kugelhahn	manuell	Wasser	zu W3 Redz	1/2"			Stasto	704000 - 1/2"
V.3.2	Nadelventil	manuell	Wasser	nach P03 1	1/2"			Stasto	110VA - 1/2"
V.3.3	Temperaturregler	autom.	Wasser	Kühlkreislauf WT 3.2	1/2"	direkt temperaturgesteuert	10-80 °C	ÖAG	Danfoss AVTA 15
V.3.4	Kugelhahn	manuell	Wasser	Sumpfausslass T3	DN20		FLANSCH, Edelstahl	Stasto	720000 - 20
V.3.5	Kugelhahn	manuell	Wasser	Sumpfausslass T3	DN20		FLANSCH, Edelstahl	Stasto	720000 - 20
V.3.6	Kugelhahn	manuell	Wasser	vor T4, für QR07	1/2"			Stasto	704000 - 1/2"
V.3.7	Kugelhahn	manuell	Dampf	T3	1/2"			Stasto	704000 - 1/2"
V.3.8	Sicherheitsventil	manuell	Dampf	T3	1"	Ansprechdruck 3 bar	Edelstahl	Stasto	10.1C-1" 3 baru
V.3.9	Kugelhahn	manuell	Wasser	Kondensatablauf WT 3.2	1/2"		Rückleitung in T3	Stasto	704000 - 1/2"
V.3.10	Kugelhahn	manuell	Talgas	nach T6	1/2"			Stasto	704000 - 1/2"
V.3.11	Kugelhahn	manuell	Dampf	Pendelleitung T5	1/2"			Stasto	704000 - 1/2"

Puffertank T4

V.4.1	Kugelhahn	manuell	Wasser	zu T4	1/2"			Stasto	704000 - 1/2"
-------	-----------	---------	--------	-------	------	--	--	--------	---------------

Pneumatik

V 31	5/3-Wege-Magnetventil	autom.	direkt ansteuerbar	Pneumatik-insel	1/4"	Mittelstellung gesperrt	für V 01	Stasto	AUS006
V 32	5/3-Wege-Magnetventil	autom.	direkt ansteuerbar	Pneumatik-insel	1/4"	Mittelstellung gesperrt	für V 2.7	Stasto	AUS006
V 33	5/3-Wege-Magnetventil	autom.	direkt ansteuerbar	Pneumatik-insel	1/4"	Mittelstellung gesperrt	für V2.8	Stasto	AUS006
V 34	Druckminderer	autom.	Wasser	Filterabreinigung	1/4"	0-8 bar	mit Manometer	Stasto	R-M14-08-R
V 35	Druckminderer	autom.	Wasser	Filterabreinigung	1/4"	0-8 bar	mit Manometer	Stasto	R-M14-08-R
V 36	2/2-Wegeventil	autom.	Wasser	Fillerabreinigung	3/4"		mit Takmagneisteuerung	Norren	
V 37	Kugelhahn	manuell	Wasser	Druckluftanschluss	3/8"			Stasto	704000 - 3/8"
V 38	Kugelhahn	manuell	Wasser	Fillerabreinigung	3/8"			Stasto	704000 - 3/8"
Wasserversorgung									
V 40	Druckminderer	manuell	Wasser	Kühlwasserversorgung	1/2"	1-6 bar			



MSR-Liste

Bezeichnung	Art / Gerät	Einbauort	Medium	Messbereich	1. Anbieter	Type
Temperatur						
TIR 1.1	PT100 Temperaturmessumformer	W1, Sumpf	Waschmedium	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TIR 1.2	PT100 Temperaturmessumformer	W1, Mitte	Gas	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TA+ 1.2	Grenzwertschaltgerät	W1, Mitte			PMA	ECO 24 + Relaismodule
TIR 1.3	PT100 Temperaturmessumformer	W1, Kopf	Gas	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TA+ 1.4	Kapillarthermostat	W1, Feed oder Gasleitung		0-100 °C	Jumo	ATH-2
TA- 1.5	PT100 Temperaturmessumformer	Filter F1	Gas	0-150°C	ICC-Partl	PT100
	Grenzwertschaltgerät	Filter F1			PMA	ECO 24 + Relaismodule
TA+ 1.6	Kapillarthermostat	vor Gebläse V1	Gas	0-100 °C	Jumo	ATH-2
TIR 2.1	PT100 Temperaturmessumformer	W2, Sumpf	Waschmedium	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TIR 2.2	PT100 Temperaturmessumformer	W2, Mitte	Gas	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TA+ 2.2	Grenzwertschaltgerät	W2, Mitte		0-150°C	PMA	ECO 24 + Relaismodule
TIR 2.3	PT100 Temperaturmessumformer	W2, Kopf	Gas	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TIR 2.4	PT100 Temperaturmessumformer	W2, Feed	Absorptionsmedium	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TA+ 2.4	Grenzwertschaltgerät	W2, Feed			PMA	ECO 24 + Relaismodule
TIR 2.5	PT100 Temperaturmessumformer	nach WT 2.1	Absorptionsmedium	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TIR 2.6	PT100 Temperaturmessumformer	aus T2 vor WT 2.1	Absorptionsmedium	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TIRC 3.1	PT100 Temperaturmessumformer	aus T2 vor WT 2.1	Absorptionsmedium	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TA- 3.1	Grenzwertschaltgerät	W3, FEED				KS90
TA+ 3.1	Grenzwertschaltgerät	W3, FEED				in Hz 3.1 integriert
TIR 3.2	PT100 Temperaturmessumformer	T3	Absorptionsmedium	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TA- 3.2	Grenzwertschaltgerät	T3	Absorptionsmedium		PMA	ECO 24 + Relaismodule
TA+ 3.2	Grenzwertschaltgerät	T3	Absorptionsmedium			in Hz 3.2 integriert
TIR 3.3	PT100 Temperaturmessumformer	W3, Mitte	Absorptionsmedium	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TA+ 3.3	Grenzwertschaltgerät	W3, Mitte			PMA	ECO 24 + Relaismodule
TIR 3.4	PT100 Temperaturmessumformer	vor WT 2.1	Absorptionsmedium	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TIR 3.5	PT100 Temperaturmessumformer	WT 3.2	Dampf	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TIR 3.6	PT100 Temperaturmessumformer	vor T4	Absorptionsmedium	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TA+ 3.6	Grenzwertschaltgerät	vor T4	Absorptionsmedium		PMA	ECO 24 + Relaismodule
TIR 3.7	PT100 Temperaturmessumformer	WT 3.2	Tailgas	0-150°C	ICC-Partl	PT100
TA+ 3.7	Kapillarthermostat	T6 nach WT 3.2	Tailgas	0-100 °C	Jumo	ATH-2
TA+ 0.0	Kapillarthermostat	RG-Zuleitung	Gas	0-100 °C		
TCS 0.1	Kapillarthermostat	Hz 0.1		0-100 °C		in Hz 0.1 integriert
TCS 0.2	Kapillarthermostat	Hz 0.2		0-100 °C		in Hz 0.2 integriert
TCS 0.3	Kapillarthermostat	Hz 0.3		0-100 °C		in Hz 0.3 integriert
TCS 0.4	Kapillarthermostat	Hz 0.4		0-100 °C		in Hz 0.4 integriert

Durchfluss

FIR 02	Durchflussmessung	aus T2	Absorptionsmedium		ABB	Miniflow DN10
FIR 03	Durchflussmessung	aus T4	Absorptionsmedium		ABB	Miniflow DN10
FIR 04	Durchflussmessung	W1, aus Kopf	Gas			Messblende
FIR 05	Durchflussmessung	W2, aus Kopf	Gas			Messblende
FI 06	Schwabekörper	W1, Feed	Absorptionsmedium	0-300 (500) l/h	Stasto	KM-17-4-PVC-1/2"

Füllstand

LI 01	Bypass-Levelanzeige	T 1				
LA- 01	Schwinggabel	T 1			Endress+Hauser	Liquiphant T FTL20
LI 02	Bypass-Levelanzeige	T 2				
LIC 02	Differenzdruckmessung	T 2				Setra 230
LA+ 02	Schwinggabel	T 2			Endress+Hauser	Liquiphant T FTL20
LA- 02	Schwinggabel	T 2			Endress+Hauser	Liquiphant T FTL20
LA- 03	Schwinggabel	T 3			Endress+Hauser	Liquiphant T FTL20
LA+03	Schwinggabel	T 3			Endress+Hauser	Liquiphant T FTL20
LI 03	Bypass-Levelanzeige	T 3			Kobold	Bypass level indicator
LA- 04	Schwinggabel	T 4			Endress+Hauser	Liquiphant T FTL20
LA+ 04	Schwinggabel	T4			Endress+Hauser	Liquiphant T FTL21



MSR-Liste

Bezeichnung	Art / Gerät	Einbauort	Medium	Messbereich	1. Anbieter	Type
Druck						
PA- 01	Druckschalter	Druckluftzuleitung	Luft	1 bis 6 bar	Stasto	901.91
PA- 02	Druckschalter	Frischwasserzuleitung	Wasser	4 bis 9 bar	Stasto	901.92
PDIR 04	Differenzdrucktransmitter	W1, aus Kopf	Gas	0-5 mbar	TGH	694
PDIR 05	Differenzdrucktransmitter	W2, aus Kopf	Gas	0-5 mbar	TGH	694
PIR 1.1	Relativdrucktransmitter	W1, aus Kopf	Gas	0-0,2 bar	TGH	691
PDA+ 1.2	Differenzdruckschalter	Filter F1	Gas	0-20 mbar	TGH	604
PA+ 1.3	Druckschalter	vor Gebläse V1	Gas	0-50 mbar	TGH	604
PDA+ 1.4	Differenzdruckschalter	Gebläse V1	Gas	0-50 mbar	TGH	604
PDIR 2.2	Differenzdrucktransmitter	W2	Gas	0-16 mbar	TGH	694
PIR 3.1	Relativdrucktransmitter	T3	Dampf	0-6bar	vorh.	511
PA+ 3.1	Druckschalter	T3	Dampf	0,5-6 bar	Schmachtl	DNS 6 - 201
PA++ 3.1	Druckschalter	T6	Gas	0,5-6 bar	Schmachtl	DNS 6 - 202
PDIR 3.2	Differenzdrucktransmitter	W3	Dampf	0-100 mbar	TGH	652
PI 3.3	Federmanometer	T3	Dampf	0-4 bar	Stasto	4031
PI 3.4	Federmanometer	nach WT 2.1	Absorptionsmedium	0-5 bar	Stasto	4031
PI 3.5	Federmanometer	nach WT 2.1	Absorptionsmedium	0-2,5 bar	Stasto	4030/2
PI 3.6	Federmanometer	nach T3	Absorptionsmedium	0-2,5 bar	Stasto	4030/3
Probenahme						
QR 01		aus T1, vor Pu1.2	Absorptionsmedium			
QR 02		aus T2	Absorptionsmedium			
QR 03	Restgehalt SO _x	aus W1	Gas			
QIR 04	CO ₂ Messung	W1, aus Kopf	Gas			
QIR 05	CO ₂ Messung	W2, aus Kopf	Gas			
QR 06		W2, Feed	Absorptionsmedium			
QR 07		nach Pu 3.1	Absorptionsmedium			
QR 08	CO ₂ Messung	nach V 03	Gas			

Analog- und Schaltsignale / Transmitterliste 28.01.2009

Bezeichnung	Messstelle	Internes Rangierkabel		Interne Rangierklemme		Externes Kabel		Externe Rangierklemme AS	Gerät	Verwendung	Datenerf.
		Nummer	Ader	Nummer	Ader	Nummer	Ader				
Analogsignale											
Temperatur											
01	TIR 1.1	W1, Sumpf			1		5.1	1		TIR 1.1	
02	TIR 1.2	W1, Mitte	6.1	3/4	2		5.1	2	ECO 24 + Relaismodule	TIR 1.2	TA+ 1.2
03	TIR 1.3	W1, Kopf			3		5.1	3		TIR 1.3	
04	TA- 1.5	Filter F1	6.1	1/2	4		5.1	4	ECO 24 + Relaismodule		TA- 1.5
05	TIR 2.1	W2, Sumpf			5		5.1	5		TIR 2.1	
06	TIR 2.2	W2, Mitte	6.1	5/6	6		5.1	6	ECO 24 + Relaismodule	TIR 2.2	TA+ 2.2
07	TIR 2.3	W2, Kopf			7		5.1	7		TIR 2.3	
08	TIR 2.4	W2, Feed	6.1	7/8	8		5.2	1	ECO 24 + Relaismodule	TIR 2.4	TA+ 2.4
09	TIR 2.5	nach WT 2.1			9		5.2	2		TIR 2.5	
10	TIRC 3.1	W3, FEED	6.3	5/6	10		5.2	3	KS90 (1)	TIRC 3.1	TA- 3.1
11	TIR 3.2	T3	6.2	3/4	11		5.2	4	ECO 24 + Relaismodule	TIR 3.2	TA- 3.2
12	TIR 3.3	W3, Mitte	6.2	1/2	12		5.2	5	ECO 24 + Relaismodule	TIR 3.3	TA+ 3.3
13	TIR 3.4	vor WT 2.1			13		5.2	6		TIR 3.4	
14	TIR 3.5	W 3, Kopf			14		5.2	7		TIR 3.5	
15	TIR 3.6	vor T4	6.2	5/6	15		5.3	1	ECO 24 + Relaismodule	TIR 3.6	TA+ 3.6
16	TIR 3.7	nach WT 3.2			16		5.3	2		TIR 3.7	
17	TIR 8.#	W2, Wechselmessstelle			17		5.3	3			
18	TIR 9.#	W3, Wechselmessstelle			18						
19	TIR 2.6	Zusatzmessstelle vor WT 2.1					OF	OF			
Durchfluss											
19	FIR 02	Waschmedium T2, aus	6.3	7/8	19		5.3	4	KS90 (2)	FIR 02, Leistungsreg.	FA-02.t
20	FIR 03	Waschmedium T4, aus	6.3	1/2	20		5.3	5	KS90 (3)	FIR 03	FA-03.t
Druck											
21	PDIR 04	Messblende W1, aus			21		5.3	6		FIR 04	
22	PDIR 05	Messblende W2, aus			22		5.3	7		FIR 05	
23	PIR 1.1	W1, aus Kopf			23		5.4	1		PIR 1.1	
24	PIR 2.1	reserve			24		5.4	2		PIR 2.1	
25	PDIR 2.2	W2			25		5.4	3		PDIR 2.2	
26	PIR 3.1	T3			26		5.4	4		PIR 3.1	
27	PDIR 3.2	W3			27		5.4	5		PDIR 3.2	
Füllstand											
28	LIC 02	T2	6.3	3/4	28		5.4	6	KS90 (4)	LIC 02	
29	CIR 01	Leitfähigkeit			29		5.4	7		CIR 01	

X 10:

X 10:

X 10:

Bezeichnung Stellgrade	Messstelle	Internes Rangierkabel		Interne Rangierklemme	Externes Kabel		Externe Rangierklemme AS	Gerät	Verwendung	Datenerf.
		Nummer	Adr		Nummer	Adr				
01	TIRC 3.1	7.1	5/6	1	4.1		KS90 (1)			Adr. 53.06
02	FIRC 02	7.1	3/4	2	4.1		KS90 (2)	Leistungsregelung		Adr. 52.08
03	FIRC 03	7.1	1/2	3			KS90 (3)			
04	LIC 02	7.1	7/8	4			KS90 (4)			

X5.1:

Relais-Ausgänge

01	TA+ 1.2	8.1	1/2	5				ECO (1) OUT 1		
02	TA+ 1.2	8.3	1/2					ECO (1) OUT 2		
03	TA+ 1.5	8.3	3/4					ECO (2) OUT 1		
04	TA+ 1.5	8.1	3/4	6				ECO (2) OUT 2		
05	TA+ 2.2	8.1	5/6	7				ECO (3) OUT 1		
06	TA+ 2.2	8.3	5/6					ECO (3) OUT 2		
07	TA+ 2.4	8.1	7/8	8				ECO (4) OUT 1		
08	TA+ 2.4	8.3	7/8					ECO (4) OUT 2		
09	TA+ 3.2	8.4	1/2					ECO (5) OUT 1		
10	TA+ 3.2	8.2	1/2	9				ECO (5) OUT 2		
11	TA+ 3.3	8.2	3/4	10				ECO (6) OUT 1		
12	TA+ 3.3	8.4	3/4					ECO (6) OUT 2		
13	TA+ 3.6	8.2	5/6	11				ECO (7) OUT 1		
14	TA+ 3.6	8.2	7/8	12				ECO (7) OUT 2		
15	TA+ 3.1	8.5	7/8					KS90 (1) OUT 1		
16	TA+ 3.1	8.5	5/6					KS90 (1) OUT 2		
17	FA-02.t	8.5	1/2					KS90 (2) OUT 1		
18	FA-03.t	8.5	3/4					KS90 (3) OUT 2		

Schaltbefehle direkt

X5.2:

01	TA+ 1.4	W1, Feed oder Gasleitung						ATH-2		TA+ 1.4
02	TA+ 1.6	vor Gebläse V1						ATH-2		TA+ 1.6
03	TA+ 3.1	W3, FEED						in Hz 3.1 integriert		TA+ 3.1
04	TA+ 3.2	T3						in Hz 3.2 integriert		TA+ 3.2
05	TA+ 3.7	nach WT 3.2						ATH-2		TA+ 3.7
06	PA- 01	Druckluftzuleitung								PA- 01
07	PA- 02	Frischwasserzuleitung								PA- 02
08	PDA+ 1.2	Filter F1								PDA+ 1.2
09	PA+ 1.3	vor Gebläse V1								PA+ 1.3
10	PDA+ 1.4	Gebläse V1								PDA+ 1.4
11	PA+ 3.1	T3								PA+ 3.1
12	PA++ 3.1	T6								PA++ 3.1
13	LA- 01	T1, Sumpf								
14	LA+ 02	T2, Sumpf								
15	LA- 02	T2, Sumpf								
16	LA+ 03	T3, Sumpf								
17	LA- 03	T3, Sumpf								
18	LA+ 04	T4,								
19	LA- 04	T4,								

Zuordnung	Ext.	KI
	9.2 1/2	8/9
	9.2 3/4	10/11
	9.2 5/6	12/13
	9.2 7/8	14/15

X7:

(+) 38 (-) 39



Gruppe 1: übergeordnete Störungen: die gesamte Anlage betreffend

Relaisgruppe K1.1 bis K1.6 : Eingangsklemmen X 3: 10 bis X 3:15

Kettenbildung:

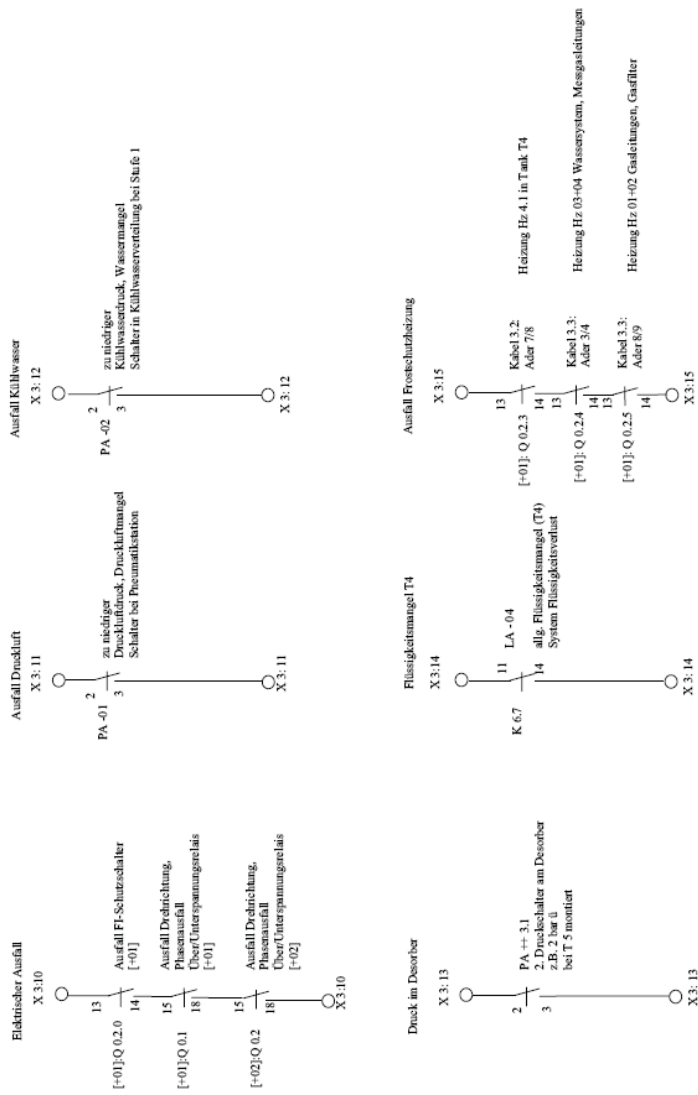


Abbildung 87: Kettenbildung Störschaltung Gruppe 1

Gruppe 2: Filter, Gebläse, Vorwäscher

Relaisgruppe K10.1 bis K10.9 : Eingangsklemmen X 3: 1 bis X 3:9 K 10.1 bis K 10.4 werden zu Schaltzwecken in Gruppe K 10.b.s verwendet

Kettenbildung:

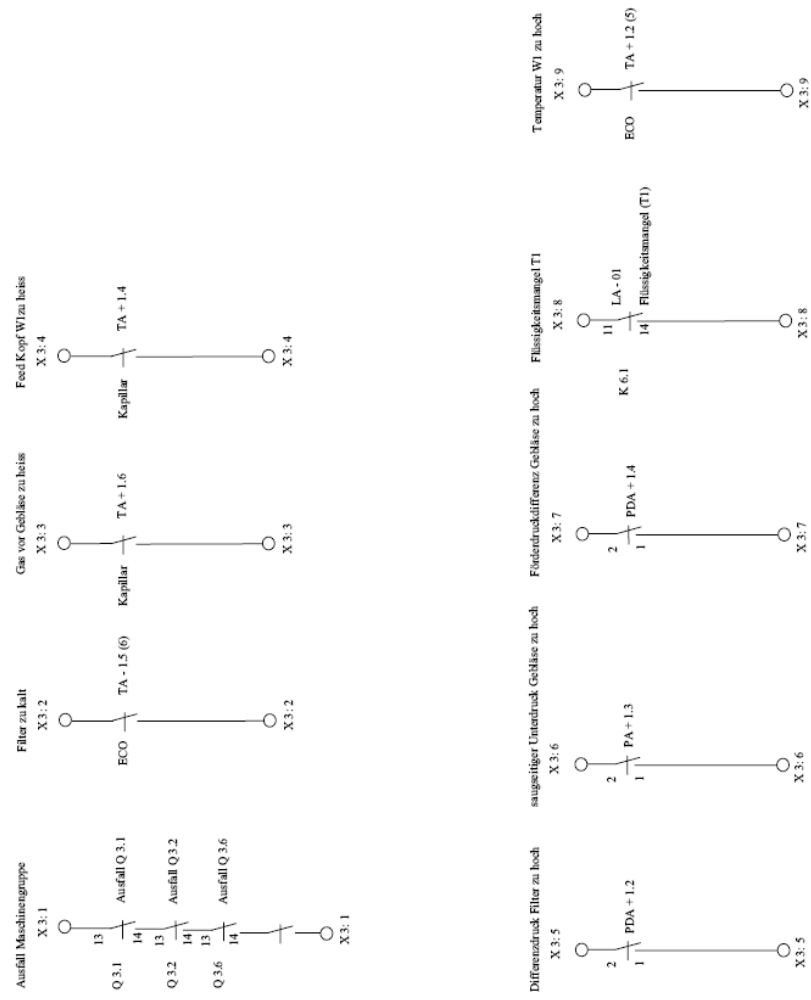


Abbildung 88: Kettenbildung Störschaltung Gruppe 2

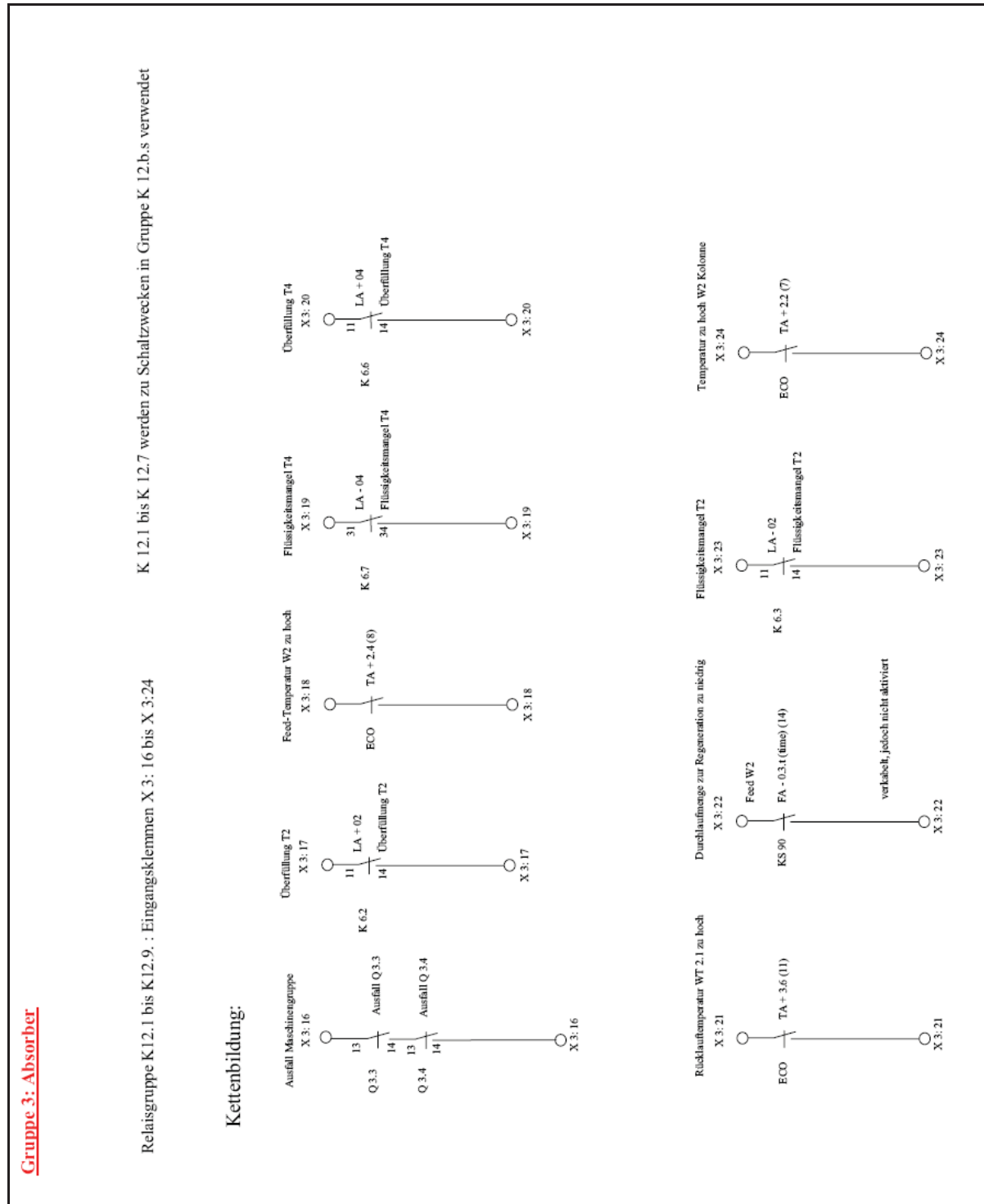


Abbildung 89: Kettenbildung Störschaltung Gruppe 3

Gruppe 4: Desorber

Relaisgruppe K 13.1 bis K 13.9 : Eingangsklemmen X 3: 25 bis X 3:33

K 13.1 bis K 13.7 werden zu Schaltzwecken in Gruppe K 13.b.s verwendet

Kettenbildung:

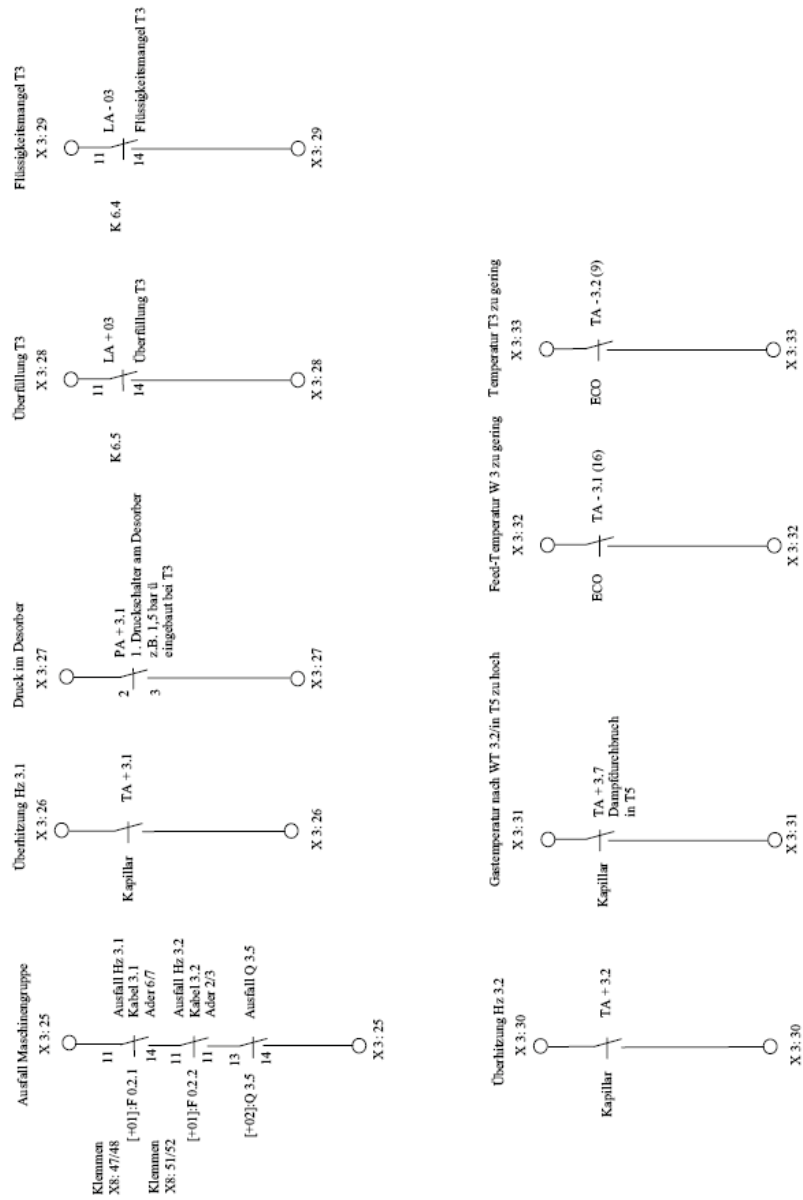


Abbildung 90: Kettenbildung Störschaltung Gruppe 4

