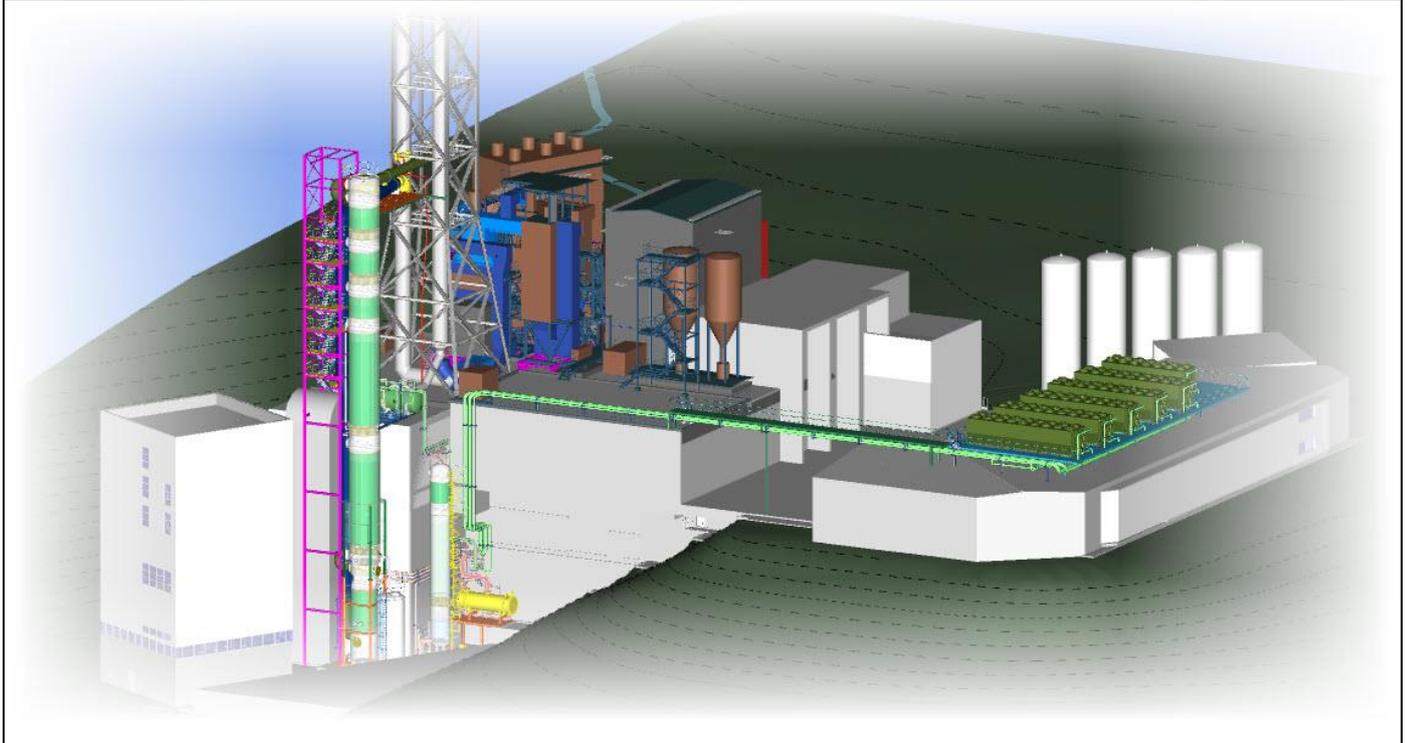


|   |        |   |   |
|---|--------|---|---|
| Projekt-Nr.   | G-9201 | Erstellt durch:   |   |
| CO <sub>2</sub> -Abscheidung und Behandlung<br>Kehrichtverwertungsanlage Horgen |        | Hitachi Zosen Inova AG<br>Hardturmstrasse 127<br>CH- 8005 Zürich<br>www.hz-inova.com<br>Tel. +41 44 277 11 11 |  |



|   |  |
|---|--|
|  <p><b>Entsorgung</b><br/>Zimmerberg</p> | <p><b>Entsorgung Zimmerberg</b><br/>Zugerstrasse 165<br/>8810 Horgen / Schweiz<br/>Tel. +41 44 718 24 24<br/>info@ezi.ch</p> |
|---|--|

| Rev     | Autor                   | Reviewer                | Approver                | Kurzbeschreibung der Änderung |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
|         | (Name, Date, Signature) | (Name, Date, Signature) | (Name, Date, Signature) |                               |
| 0.0     | Nermim Bilalli          | Romano Wild             | Kai Lieball             | Erstausgabe                   |
|         | 02.11.2023              | 07.11.2023              | 08.11.2023              |                               |
|         |                         |                         |                         |                               |
|         |                         |                         |                         |                               |
| DocType | JRE                     |                         | HZI Doc No_Rev          | 50192363_0.0                  |

## Bericht Detail-Engineering CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Behandlung

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung .....</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1      | Ausgangslage und Motivation .....                                 | 4         |
| 1.2      | Ziele und Methodik .....  | 5         |
| 1.3      | Umfang und Systemgrenze .....                                     | 5         |
| <b>2</b> | <b>Ergebnisse .....</b>   | <b>6</b>  |
| 2.1      | Zusammenfassung .....   | 6         |
| 2.2      | Ausblick .....  | 6         |
| <b>3</b> | <b>Grundlagen der CO2-Abscheidung mit Rauchgaswäschen .....</b>   | <b>8</b>  |
| 3.1      | Überblick der Technologien .....                                  | 8         |
| 3.2      | CO2-Abscheidung mit Aminwäsche .....                              | 8         |
| 3.3      | Amine .....   | 9         |
| <b>4</b> | <b>Angewandtes Verfahren .....</b>                                | <b>11</b> |
| 4.1      | Verfahrensüberblick und Systemgrenze .....                        | 11        |
| 4.2      | Rauchgasseitige Integration und CO2-Abscheidung .....             | 12        |
| 4.2.1    | Verfahrensfließbild .....   | 12        |
| 4.2.2    | Saugzug .....   | 14        |
| 4.2.3    | Rauchgasanschluss / Kamin / Emissionsmessung .....                | 14        |
| 4.2.4    | Rauchgaskühler .....  | 14        |
| 4.2.5    | Absorber .....  | 15        |
| 4.2.6    | Desorber / Reboiler .....   | 17        |
| 4.2.7    | Emissionsmessung CO2-Abscheidung .....                            | 18        |
| 4.3      | CO2-Behandlung .....  | 18        |
| 4.3.1    | Verfahrensfließbild .....   | 18        |
| 4.3.2    | Kompression und Trocknung .....                                   | 20        |
| 4.3.3    | Reinigung und Verflüssigung .....                                 | 20        |
| 4.3.4    | Lagerung und Transport .....                                      | 21        |
| 4.4      | Abwasserbehandlung .....  | 22        |
| 4.5      | Energieversorgung .....   | 22        |
| 4.6      | Kühlsystem .....  | 22        |
| <b>5</b> | <b>Prozessauslegung .....</b>                                     | <b>23</b> |
| 5.1      | Grundlagen und Annahmen .....                                     | 23        |
| 5.1.1    | Basisdaten .....  | 23        |
| 5.1.2    | Abgasdaten .....  | 23        |
| 5.1.3    | Auslegedaten Medienversorgung .....                               | 24        |
| 5.2      | CO2-Bilanz .....  | 24        |
| 5.3      | Wasserbilanz .....  | 25        |
| <b>6</b> | <b>Anlagentechnik .....</b>                                       | <b>26</b> |
| 6.1      | Kehrichtverwertungsanlage und Anbindung der CO2-Abscheidung ..... | 26        |
| 6.2      | CO2-Abscheidung und Behandlung .....                              | 27        |
| 6.2.1    | Layout CO2-Abscheidung und Behandlung .....                       | 27        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>7</b>  | <b>Bauliche Massnahmen .....</b>                 | <b>31</b> |
| 7.1       | Allgemein .....                                  | 31        |
| 7.2       | Fundamente.....                                  | 31        |
| <b>8</b>  | <b>Elektrische Integration .....</b>             | <b>32</b> |
| 8.1       | Allgemein .....                                  | 32        |
| 8.2       | Mittelspannung und Transformatoren .....         | 32        |
| 8.3       | Elektro – Hauptverteilung (NSHV) .....           | 32        |
| 8.4       | Elektro – Unterverteilung (UV) .....             | 32        |
| <b>9</b>  | <b>Risikobetrachtung.....</b>                    | <b>33</b> |
| 9.1       | Allgemein .....                                  | 33        |
| 9.2       | Amin .....                                       | 33        |
| 9.3       | CO2 .....  | 33        |
| 9.4       | Lärm .....                                       | 33        |
| <b>10</b> | <b>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....</b>      | <b>34</b> |
| <b>11</b> | <b>Ecktermine Ausführungsphase.....</b>          | <b>35</b> |
| <b>12</b> | <b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....</b> | <b>36</b> |
| <b>13</b> | <b>Quellenverzeichnis .....</b>                  | <b>37</b> |

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Motivation

Die Entsorgung Zimmerberg (EZI) betreibt eine Kehrrechtverwertungsanlage (KVA) in Horgen und entsorgt ca. 35'000 Tonnen Haushaltsabfälle pro Jahr für den Bezirk Horgen. Durch die Verbrennung der Abfälle versorgt EZI die Gemeinde Horgen mit Fernwärme und liefert Strom ans Netz.

Durch den grossen Umbau im Jahr 2015 wurde die KVA mit einer runderneueren Feuerung und einer neuen Abgasbehandlung ausgestattet, so dass über die verbesserte Feuerungsführung höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen als im Schweizerischen Durchschnitt erreicht werden können. Das aus der Kehrrechtverbrennung entstehende Abgas enthält ca. 10 Vol. % CO<sub>2</sub>. Dieses ist zu ca. 50% biogenen und 50% fossilen Ursprungs. Die aus der Verbrennung entstehende Schlacke wird zur Rückgewinnung von Metallen an die ZAV Recycling AG geliefert.

EZI stösst mit der Kehrrechtverwertungsanlage ca. 46'000 Tonnen CO<sub>2</sub> jährlich aus und möchte mit dem Bau einer CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage in naher Zukunft diese reduzieren. Nebst der starken Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen soll das aus dem Abgas abgeschiedene CO<sub>2</sub> verflüssigt und durch Speicherung in Zwischenbehältern wieder als Produkt verschiedenen Nutzungen (Lebensmittel, technisches Gas etc.) zugeführt werden.

Die KVA Horgen eignet sich besonders gut als Pilotanlage für eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung, weil die CO<sub>2</sub>-Menge überschaubar ist und keine unverhältnismässigen Investitionen für die Logistikinfrastuktur erforderlich sind. Der CO<sub>2</sub>-Markt könnte zudem die abgeschiedene CO<sub>2</sub>-Menge abnehmen, so dass das Projekt unabhängig vom Fortschritt der Einlagerungsmöglichkeiten realisiert werden kann. Der Vertrieb dieses Produktes erfolgt voraussichtlich über Schweizer Gashändler in der Schweiz.

Als kleinste Schweizer Kehrrechtverwertungsanlage (KVA) ist die KVA Horgen dafür prädestiniert eine Pilotanlage zu installieren, um für den Bau weiterer Anlagen Erfahrungen zu sammeln. Mit den bereits begonnenen Abklärungen soll dazu beigetragen werden, dass möglichst schnell eine Pilotanlage in Betrieb gehen kann. Finanziell wird die Entsorgung Zimmerberg nicht in der Lage sein das Pilotprojekt allein abzuwickeln. Es wird notwendig sein, dass ein Grossteil der Kosten von Dritten übernommen werden.

Standardlösungen für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung in KVA's sind auf dem Markt nicht erhältlich. Um die technische Umsetzbarkeit und wirtschaftliche Aussagen für den Einsatz einer CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Behandlung aus dem Abgas der Kehrrechtverbrennungslinie zu erhalten, wurde mit Hitachi Zosen Inova AG (HZI, Auftragnehmer) als Anlagenbauer von KVA's und CO<sub>2</sub>-Abscheideanlagen eine Kooperationsvereinbarung unterzeichnet, in welcher vereinbart wurde, dass HZI in einer Kooperationspartnerschaft mit EZI die Projektierung und Realisierung des Pilotprojektes übernimmt.

In der Kooperationsvereinbarung wurde eine phasenweise Umsetzung und Freigabe des Projekts vereinbart, welche sich grob in folgende 3 Projektphasen gliedert:

| Projektphase | Beschreibung      | Bemerkung  |
|--------------|-------------------|--|
| Phase 1      | Grobengineering   | abgeschlossen  |
| Phase 2      | Detailengineering | vorliegender Bericht   |
| Phase 3      | Ausführung        | Nach Freigabe der Baubewilligung sowie Sicherstellung der Finanzierung |

Im folgenden Bericht werden die Ergebnisse dieser Studie beschrieben.

## 1.2 Ziele und Methodik

Das Ziel der CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage ist es vermarktungsfähiges CO<sub>2</sub> aus dem Abgas einer Kehrrechtverwertungsanlage zu produzieren. Dabei ist besonders der Anteil an CO<sub>2</sub> im Rauchgas relevant, da dieser über den Massenstrom von reinem CO<sub>2</sub> entscheidet. Dies wiederum hat einen entscheidenden Einfluss auf die Grösse der Verflüssigungsanlage und die Lagertanks des flüssigen CO<sub>2</sub>.

Da es sich um eine Erweiterung einer bestehende Anlage handelt, ist das Ziel des Umbaus so viel wie möglich so zu lassen wie es aktuell ist. Das heisst, dass das Rauchgas erst im Kamin abgezogen wird und von dort zu der neuen Anlage geführt wird. Somit wird die ganze bestehende Rauchgasreinigung so belassen wie sie ist.

Dies hat den Vorteil, dass, sollte eine CO<sub>2</sub> Abscheidung aufgrund fehlender Abnahme oder hohem Wärmebedarfs seitens der Fernwärme nicht möglich sein, die Anlage wie bisher betrieben werden kann. Zum einen wird der Betrieb der KVA weitgehend unbeeinträchtigt fortgeführt, zum anderen wird das CO<sub>2</sub> abgeschieden und verflüssigt. Mit der Durchführung dieser Studie sollten folgende Ziele erreicht werden:

- Prozessfestlegung und Bestimmung der Anlagenkomponenten
- Prozessauslegung und Bilanzierung
- Planung und Integration der Systeme in die bestehende Anlage
- Kalkulation der Investitionskosten (CAPEX) einer solchen Anlage

## 1.3 Umfang und Systemgrenze

Das Verfahren der Aminwäsche erfordert eine durchdachte Integration in die KVA, um eine optimale Funktion der neuen Anlage zu gewährleisten sowie die Funktionstüchtigkeit der bestehenden Anlage nicht zu beeinträchtigen. Neben der Planung des Gesamtsystems werden auch der Anschluss an das Rauchgas, die Dampfversorgung für den Desorber und die elektrische Verbindung mit der KVA berücksichtigt.

Die Hauptschnittstellen werden wie folgt definiert

- Rauchgasentnahme nach EMI Messung im Kamin der Kehrrechtverwertungsanlage
- CO<sub>2</sub>-Abgabe: ab CO<sub>2</sub>-Tank inkl. LKW-Befüllstation

## 2 Ergebnisse

### 2.1 Zusammenfassung

Der Standort der KVA Horgen ist an der Zugerstrasse 165 in Horgen. Er befindet sich in Hanglage oberhalb des Zürichsees in Horgen. Der Platzbedarf der zusätzlichen Carbon Capture – Anlage wurde detailliert abgeklärt. Die Anlage kann weitgehend im bestehenden Perimeter der KVA integriert werden.

In dieser Studie wurden die Auswirkungen der Implementierung einer Amin basierten CO2 Abscheidung und Behandlung aus dem Abgas der Kehrriichtverwertungsanlage im Hinblick auf die technische Umsetzbarkeit, Platzbedarf und andere potenzielle Risiken untersucht.

Ausserdem wurden in einer wirtschaftlichen Betrachtung die notwendigen Investitionskosten einer solchen Anlage ermittelt.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Schlüsselkennzahlen des Gesamtsystems

| Beschreibung   | Wert       | Einheit           | Wert                   | Einheit              |
|--|------------|-------------------|------------------------|----------------------|
| Totale CO2 Abscheideleistung                           | 90         | %                 | 41'993                 | t/a                  |
| Verflüssigtes CO2 als Produkt in vorgegebener Qualität | 4.86       | t/h               | 39'852                 | t/a                  |
| Wärmebedarf  | 5,092      | MW <sub>th</sub>  | 41'755                 | MWh <sub>th</sub> /a |
| Kühlbedarf   | 9.76       | MW <sub>th</sub>  | 80'032                 | MWh <sub>th</sub> /a |
| Strombedarf  | 1.5        | MWh <sub>el</sub> | 12'300                 | MWh <sub>el</sub> /a |
| Investitionskosten                                     | 25'000'000 | CHF               | Genauigkeit von +/- 5% |                      |
| *Projektdauer ab Bestellung                            | 2 bis 3    | Jahre             |                        |                      |

\*Voraussetzung das sämtliche Genehmigungen vorhanden sind

### 2.2 Ausblick

Dieser Bericht ist Teil der Entwicklung einer ersten CO2-Abscheideanlage aus den Abgasen einer Kehrriichtverwertungsanlage (KVA) in der Schweiz. Die KVA-Horgen ist als Standort auf Grund ihrer moderaten Grösse prädestiniert und stellt für die KVA's der Schweiz die typischen Herausforderung bezüglich Platzbedarf und Energieeinbindung dar. Durch den Bau dieser CO2-Abscheidungsanlage kommt die Schweiz ihrem Ziel bis 2030 100'000 Tonnen CO2 aus Abgasen von Kehrriichtverwertungsanlagen abzuscheiden und einzulagern entscheidend näher.

Weitere Schritte die für einen Start der Realisierung des Planes nötig sind, betreffen hauptsächlich Genehmigung und Finanzierung. Die CO2-Abscheidungsanlage bei der KVA Horgen ist die erste grosstechnische Anlage der Schweiz, die auf Basis einer Absorption und Desorption in Amin beruht. Ähnliche Anlagen wurden in einer grossen Testanlage in Mongstad (Norwegen) sowie bei der Kehrriichtverwertungsanlage in Duiven (Holland) verwirklicht.

Wie in der Prozessbeschreibung erwähnt, beinhaltet die Anlage eine Nachwäsche der Abgase aus dem Absorber. Diese Reinigungsstufe wird Emissionen vom eingesetzten Amin und deren Abbauprodukte auf sehr tiefem Niveau sicherstellen. Aus der Fachliteratur ist allerdings bekannt, dass Amine Reaktionen mit Abgaskomponenten und mit Komponenten der Atmosphäre eingehen, die kanzerogene Stoffe entstehen lassen (Nitrosamine und Nitramine). In der vergleichbaren CO2-Abscheidetestanlage im Technology Center Mongstad in Norwegen, waren diese Emissionen bei analog zum erwarteten Betrieb in Horgen unter der Nachweisgrenze des Messgerätes.

Für eine Umweltgenehmigung ist im Falle von Horgen speziell aufgrund ihrer erstmaligen Anwendung eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) notwendig. Diese umfasst eine Prüfung aller Gefährdungen der Anlage. Eine wichtige Untersuchung dabei ist die Ausbreitung der Emissionen mit dem vorherrschenden Wind. Im Falle der Ausbreitung der Emissionen des Amins und deren Abbauprodukte ist es unerlässlich, die atmosphärischen Reaktionen in der Berechnung zu berücksichtigen, da diese die resultierenden Konzentrationen in der Umgebung entscheidend mindern. Des Weiteren ist die Deposition derselben Stoffe in Oberflächenwasser zu modellieren. Eine solche Modellierung benötigt eine Verfeinerung der Modelle, wie sie heute in Ausbreitungsrechnungen angewandt werden.

Neben der Genehmigung birgt die Finanzierung der Anlage eine Herausforderung. Die Erlöse aus dem Verkauf des CO2 decken nicht die Betriebs- und Finanzierungskosten der Anlage ab. Um eine finanziell akzeptable Lösung für KVA Horgen zu erhalten, sind Unterstützungsgelder notwendig. Eine Anfrage für Fördergelder von der Stiftung Klimaschutz und CO2-Kompensation KliK ist im Gange.

### 3 Grundlagen der CO<sub>2</sub>-Abscheidung mit Rauchgaswäschen

#### 3.1 Überblick der Technologien

Eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus dem Abgas kann mit verschiedenen Technologien erreicht werden. In der Abbildung 1 sind die wichtigsten Technologien dargestellt.

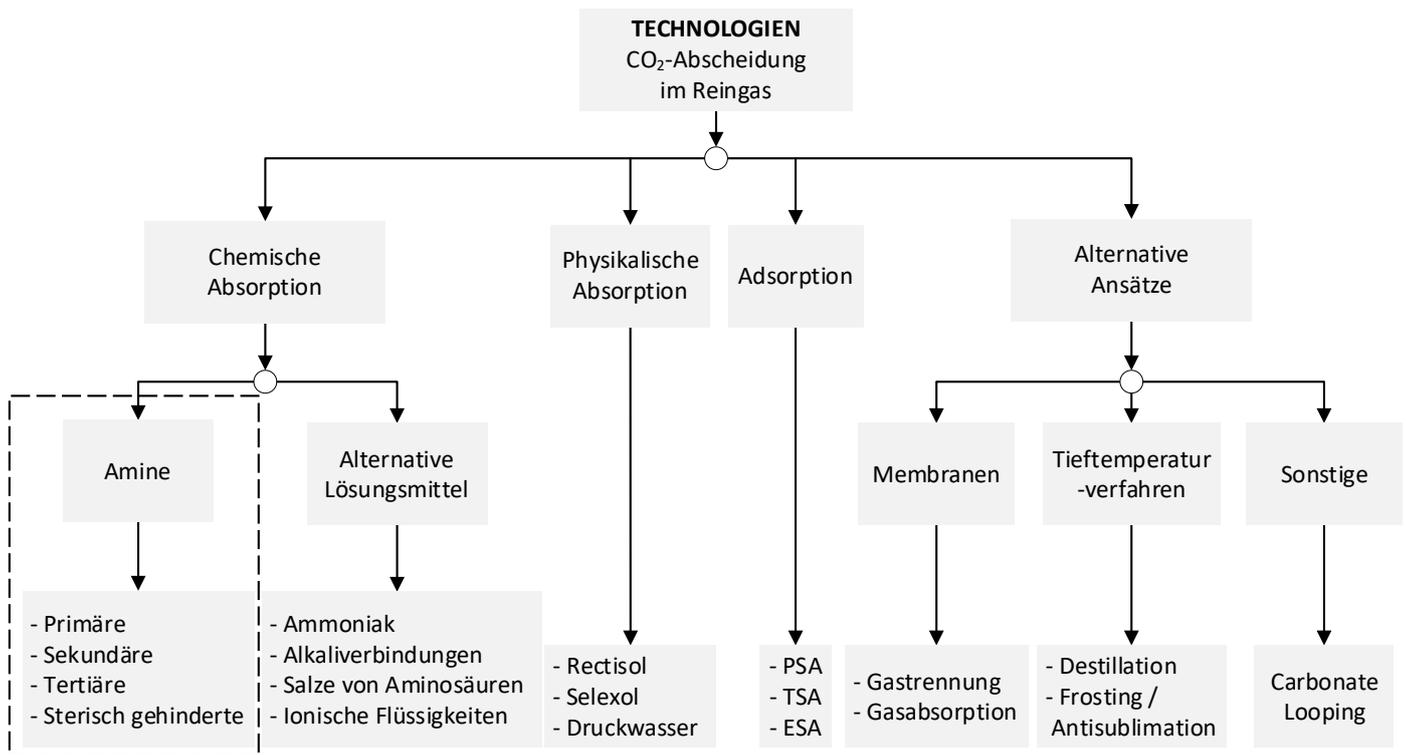


Abbildung 1: wichtigste Technologien für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung im Abgas (Oexmann, 2011)

Aufgrund des geringen CO<sub>2</sub>-Partialdruckes im Abgas von Kehrlichtverwertungsanlagen, sind Technologien, in denen hohe CO<sub>2</sub>-Partialdrücke als treibende Kraft benötigt werden, wie z.B. die Anwendung von physikalischer Lösungsmittel oder Gastrennungsmembrane für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung nicht effizient einsetzbar. Aus diesem Grund ist die Technologie mittels chemischen Lösungsmittel für diesen Einsatz am besten geeignet (Oexmann, 2011). Im weiteren Verlauf wird auf die anderen Technologien sowie alternative Lösungsmittel der chemischen Absorption nicht eingegangen.

#### 3.2 CO<sub>2</sub>-Abscheidung mit Aminwäsche

Die Aminwäsche ist eines der chemischen Absorptionsverfahren, welches für die Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Rauchgasen verwendet wird. Als Absorptionsmittel werden Alkanol Amine verwendet, die abgekürzt als Amine bezeichnet werden (Oexmann, 2011).

Die Amine werden in unterschiedlichen Konzentrationen als wässrige Lösungen eingesetzt, die auch als Waschlösungen oder Lösungsmittel bezeichnet werden. Da Amine alkalisch sind, können sie das leicht saure CO<sub>2</sub> an sich binden. Diese Bindung kann durch Zufuhr von Wärme rückgängig gemacht werden. Im Vergleich zu anderen Lösungsmitteln bieten Amine eine hohe CO<sub>2</sub> Kapazität bei niedrigen CO<sub>2</sub>-Partialdrücken welche in Abgasen von Verbrennungsprozessen vorzufinden sind (Oexmann, 2011).

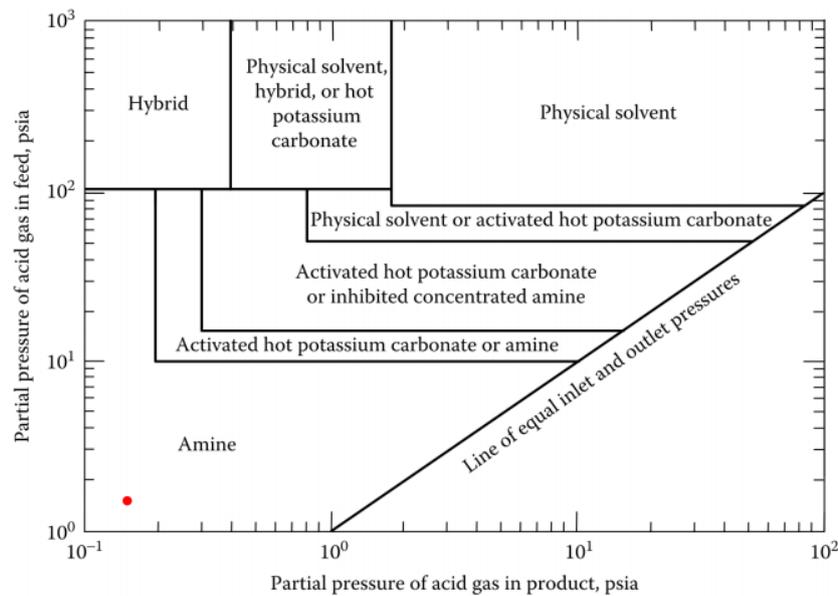


Abbildung 2: Überblick über Technologien zur Kohlenstoffabscheidung mit Angabe der typischen Betriebsbedingungen für das Rauchgas in Müllverbrennungsanlagen (roter Punkt in der unteren linken Ecke); (DOE/NETL, 2015)

### 3.3 Amine

Amine sind organische Substanzen mit einer funktionellen Gruppe (Aminogruppe), die Stickstoff als Schlüsselatom enthält. Strukturell gleichen Amine Ammoniak (NH<sub>3</sub>), in dem ein oder mehrere Wasserstoffatome durch organischen Gruppen ersetzt sind (SEPA, 2015). Primäre Amine treten auf, wenn eines der drei Wasserstoffatome im Ammoniak von einer organischen Gruppe ersetzt wird. Bei sekundären Aminen sind zwei, bei tertiären Aminen alle drei Wasserstoffatome durch organische Gruppen ersetzt (Oexmann, 2011).

Amine bieten eine hohe CO<sub>2</sub> Kapazität bei niedrigem CO<sub>2</sub>-Partialdruck. Viele verschiedene Amine können als Lösungsmittel für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung verwendet werden. Das Lösungsmittel besteht aus einer wässrigen Lösung mit primären (z.B. MEA), sekundären (z.B. DEA), tertiären (z.B. MDEA) oder sterisch gehinderten Aminen oder einer Mischung aus diesen (Oexmann, 2011).

Ein ideales Amin für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung in Rauchgaswäschen muss folgende Anforderungen erfüllen (Oexmann, 2011):

- Geringer Wärmebedarf für die Regeneration
- Hohe massenspezifische CO<sub>2</sub>-Beladung des Lösungsmittels
- Hohe Reaktionsrate
- Hohe Selektivität für die zu absorbierende Gaskomponente
- Niedriger Dampfdruck bei Absorptionstemperatur
- Geringe Viskosität
- kostengünstige Einsatzstoffe und hohe Verfügbarkeit
- geringe korrosive Eigenschaften
- geringe Degradation und geringe Neigung zum Schäumen
- nicht toxisch
- hoher Flammpunkt

Dabei ist ein geringer Wärmebedarf für die Regeneration und eine hohe potenzielle CO<sub>2</sub>-Beladung notwendig, um die Menge an Niederdruckdampf für die Regeneration zu reduzieren, während eine hohe Absorptionsrate notwendig ist, um mit realisierbaren Absorber- und Desorberhöhen hohe Beladungen möglichst nah am theoretischen Maximum (Gleichgewicht) zu erreichen.

# Bericht Detail-Engineering CO2 – Abscheidung und Behandlung

Anlage: EZI-Zimmerberg Horgen

DocNo\_Rev:

50192363\_0.0

Das heute am häufigsten eingesetzte Lösungsmittel ist Monoethanolamin (MEA), ein primäres Amin. MEA wird in verschiedenen kommerziellen Prozessen genutzt, wobei meist wässrige Lösungen mit 30 Gew% MEA zum Einsatz kommen. Oberhalb von 30 Gew.-% sind die MEA-Lösungen sehr viskos und korrosiv. Die Absorption findet bei Temperaturen um 40°C statt und die Regeneration des Lösungsmittels erfolgt bei 120-130°C. Positiv an MEA ist, dass es im Vergleich zu anderen Aminen hohe Reaktionsgeschwindigkeiten und damit hohe CO2-Absorptionsraten aufweist.

Auf der anderen Seite benötigt MEA eine relativ hohe Regenerationswärme (3.5-4 GJ/t CO2). Diese kann aber durch Prozessoptimierungen (z.B. Wärmerückgewinnung) deutlich reduziert werden (z.B. 2.8 GJ/t CO2 in Referenzen in Kohlekraftwerken), sodass die Prozesseffizienz einer Anlage betrieben mit MEA nicht weit derer von sogenannten Amin Lösungsmittel der "Second Generation" entfernt ist.

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass MEA trotz geringerer Energieeffizienz bei einem wirtschaftlichen Vergleich mit Aminwaschlösungen der "Second Generation" ähnlich gut abschneidet (Gibbins, 2021). Ein Hauptgrund dafür sind die erheblich niedrigeren Beschaffungskosten von MEA im Vergleich zu anderen Aminen. Auch die Verfügbarkeit von MEA ist aufgrund vielfältiger Anwendungsgebiete in der Industrie sicher gegeben.

Ausserdem wird davon ausgegangen, dass der Genehmigungsprozess aufgrund bereits vorhandener MEA basierter Pilot- und Referenzanlagen in Europa einfacher und schneller ist als bei anderen Amin basierten Lösungsmitteln. Aufgrund dieser Umstände wurde MEA (30%) als Lösungsmittel für die Auslegung der CO2 Abscheidung gewählt. Grundsätzlich ist die CO2 Abscheidung so ausgelegt, dass auch andere Amin-basierte Lösungsmittel mit geringen Anpassungen bzw. Betriebsoptimierungen ebenfalls eingesetzt werden könnten.

Eine Auflistung weiterer frei am Markt erhältlicher Amine, welche aus HZI Sicht für CO2 Abscheidung aus Abgasen geeignet sind, werden in der unteren Tabelle aufgeführt.

Tabelle 2: Auflistung offener Amin basierte Lösungsmittel für CO2-Abscheidung aus Abgasen

| Lösungsmittel         | Zusammensetzung   | Vorteile   | Nachteile  |
|-----------------------|---|--|--|
| MEA (30%)             | 30 wt% MEA<br>70 wt% H2O  | Höhere MEA Konzentration führen zu:<br>- Höheren CO2-Kapazitäten<br><br>Geringeren thermischen Energiebedarf   | Höhere MEA Konzentration führen zu:<br>- Höherer Viskosität (Handhabung, Pumpen, etc.)<br>- Korrosiveren Verhalten (Verschleiss, etc.)<br><br>Höherer Lösungsmittelpreis   |
| MDEA + PZ (Piperazin) | 42 wt% MDEA<br>9 wt% PZ<br>49 wt%H2O<br><br>Oder<br>29 wt% MDEA<br>22 wt% PZ<br>49 wt%H2O | - PZ wirkt als Beschleuniger für MDEA<br>- schnelle Kinetik<br>- geringe Volatilität<br><br>Thermische und oxidative Stabilität                                      | - Lösungsmittelrückgewinnung (Reclaimer) mühsam<br>- Lösungsmittelpreis<br><br>weniger Referenzen als bei MEA basierte CO2 Abscheidung aus Abgasen vorhanden--> Pilotanlagen   |
| CESAR-1 (AMP +PZ)     | 28 wt% AMP<br>17 wt% PZ<br>55 wt%H2O  | - Hohe CO2-Kapazitäten<br>- Schnelle Kinetik<br>- Geringe Volatilität<br>- Thermische und oxidative Stabilität<br><br>«Geringerer thermischer Energiebedarf als MEA» | - Lösungsmittelpreis<br>- Toxizität<br>- Lösungsmittelrückgewinnung (Reclaimer) schwierig<br>- Neigt zur Bildung von Nitrosaminen<br><br>Weniger Referenzen als bei MEA basierte CO2 Abscheidung aus Abgasen vorhanden--> Pilotanlagen |

## 4 Angewandtes Verfahren

### 4.1 Verfahrensüberblick und Systemgrenze

In einem ersten Schritt wird das Abgas am Kamin der Kehrichtverwertungsanlage Richtung CO<sub>2</sub>-Abscheidung umgelenkt und im Rauchgaskühler vorkonditioniert (Kühlung & Kondensation). Anschliessend wird das CO<sub>2</sub> aus dem Abgas von der Aminlösung in der Absorptionskolonne absorbiert. Das an CO<sub>2</sub> arme Abgas strömt nach der Absorptionskolonne über einen neuen Kamin in die Atmosphäre.

In einer weiteren Kolonne (Desorber) wird das absorbierte CO<sub>2</sub> aus der Aminlösung desorbiert. Das gewonnene CO<sub>2</sub> wird in der CO<sub>2</sub>-Behandlungsanlage gereinigt, verflüssigt, in die CO<sub>2</sub>-Speicherbehälter gefördert und steht für die Abfüllung bereit. Abbildung 3 gibt einen Verfahrensüberblick und zeigt die Systemgrenze auf.

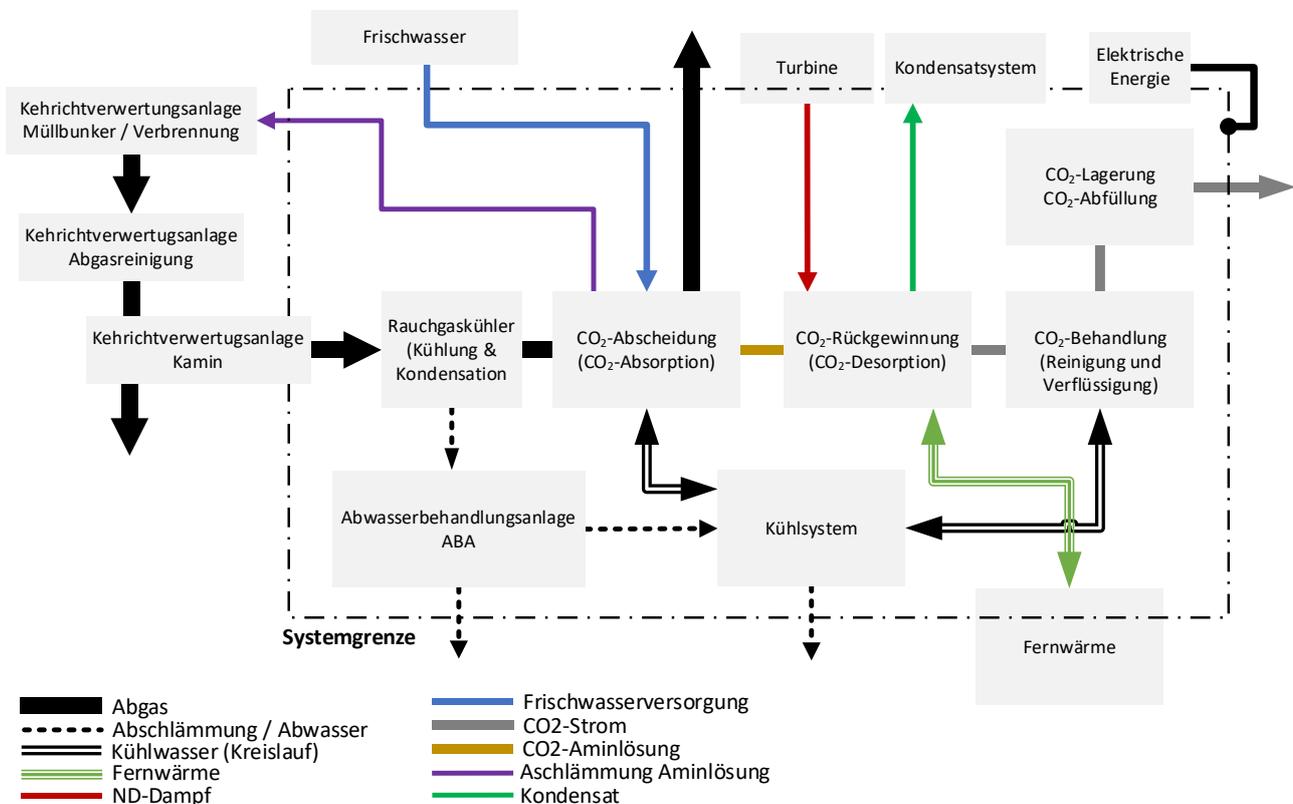


Abbildung 3: Überblick der betrachteten Teilsysteme sowie die Systemgrenze

Den benötigten Wärme- sowie Kühlbedarf stellt die Turbine und das Kühlsystem zur Verfügung. Die elektrische Energie für den gesamten Prozess wird von der Kehrichtverwertungsanlage zur Verfügung gestellt. Um möglichst viel von der Restwärme im System wieder zu verwenden, ist die CO<sub>2</sub>-Rückgewinnung mit dem Fernwärmesystem gekoppelt. Durch das Kühlen der Abgase und Auskondensieren des Wasserdampfes im Abgas, entsteht Kondensat welches in der Abwasserbehandlungsanlage (ABA) behandelt wird. Weiter wird Frischwasser benötigt, um den Wasserverlust im System auszugleichen. Durch die regelmässige Teilabschlammung der Aminlösung sowie Zufuhr von frischem Amin im Kreislauf, wird die Aminqualität und somit die CO<sub>2</sub>-Abscheideleistung aufrecht erhalten.

Für den Prozess werden Systeme der Kehrichtverwertungsanlage wie Feuerung, Dampferzeugung (Kessel), Abgasreinigung und Frischwasseraufbereitung nicht berücksichtigt. Die CO<sub>2</sub>-Abscheidungsanlage übernimmt den Abgasstrom wie von der Kehrichtverwertungsanlage zur Verfügung gestellt.

## 4.2 Rauchgasseitige Integration und CO<sub>2</sub>-Abscheidung

### 4.2.1 Verfahrensbild

Das Verfahrensbild der CO<sub>2</sub>-Abscheidung mittels chemischer Absorption ist in Abbildung 4 dargestellt. In der unteren Tabelle sind die Hauptkomponenten der CO<sub>2</sub>-Abscheidungsanlage aufgelistet welche im unteren Verfahrensbild zu finden sind.

Tabelle 3: Auflistung und Bezeichnung der Hauptkomponenten der CO<sub>2</sub>-Abscheidungsanlage gemäss Abbildung 5

| Nr.           | Bezeichnung   | Bemerkung  |
|---------------|---|--|
| 1,2,3         | Saugzug, Schalldämpfer, Stahlkamin                        | bestehend  |
| 4             | GFK-Kamin   | neue Kaminröhre für die CO <sub>2</sub> -Abscheidungsanlage  |
| 5             | Emissionsmessung  | bestehend  |
| 6, 7          | Sperrluftventilator, Sperrluftheizung                     |  |
| 8,9,10        | Quench, Rauchgaskühler, Absorber                          |  |
| 11,12         | Desorber, Reboiler  |  |
| 13            | Emissionsmessung nach CO <sub>2</sub> -Abscheidungsanlage |  |
| P1-P8         | Kreislaufpumpen   | P1 Quenchnummerpumpe<br>P2 Rauchgaskühler-Kondensationspumpe<br>P3 Lösungsmittelpumpe CO <sub>2</sub> -reich<br>P4 Umlaufpumpe Nachwaschstufe<br>P5 Umlaufpumpe saure Waschstufe<br>P6 Lösungsmittelpumpe CO <sub>2</sub> -arm<br>P7 Lösungsmittelpumpe Reboilerumlauf |
| PK1-PK8       | Packungsstufen  | Rauchgaskühler, Absorber, Desorber   |
| TF1, TF2      | Tropfenfänger   |  |
| FV            | Flüssigkeitsverteiler                                     |  |
| KB            | Kaminböden  |  |
| B1-B7         | Behälter  | B1 gemeinsamer Sumpf für Quench und PK1-Stufe<br>B2 Aminlösungsmittelsumpf<br>B3 Sumpf Nachwaschstufe<br>B4 Sumpf saure Waschstufe<br>B5 Desorbersumpf<br>B6, B7 Kondensatbehälter und CO <sub>2</sub> -Abscheider   |
| C1-C5, WTI    | Plattenwärmeübertrager Kühlkreislauf                      |  |
| FW1, FW2      | Plattenwärmeübertrager Fernwärme                          |  |
| WTI           | Amin-Amin-Plattenwärmeübertrager                          |  |
| KL1, KL2, KL3 | Doppelabsperrklappen                                      | Doppelabsperrklappen mit Sperrluftbeaufschlagung   |

# Bericht Detail-Engineering CO<sub>2</sub> - Abscheidung Horgen

Anlage: EZI Zimmerberg Horgen

DocNo\_Rev:

50192363\_0.0

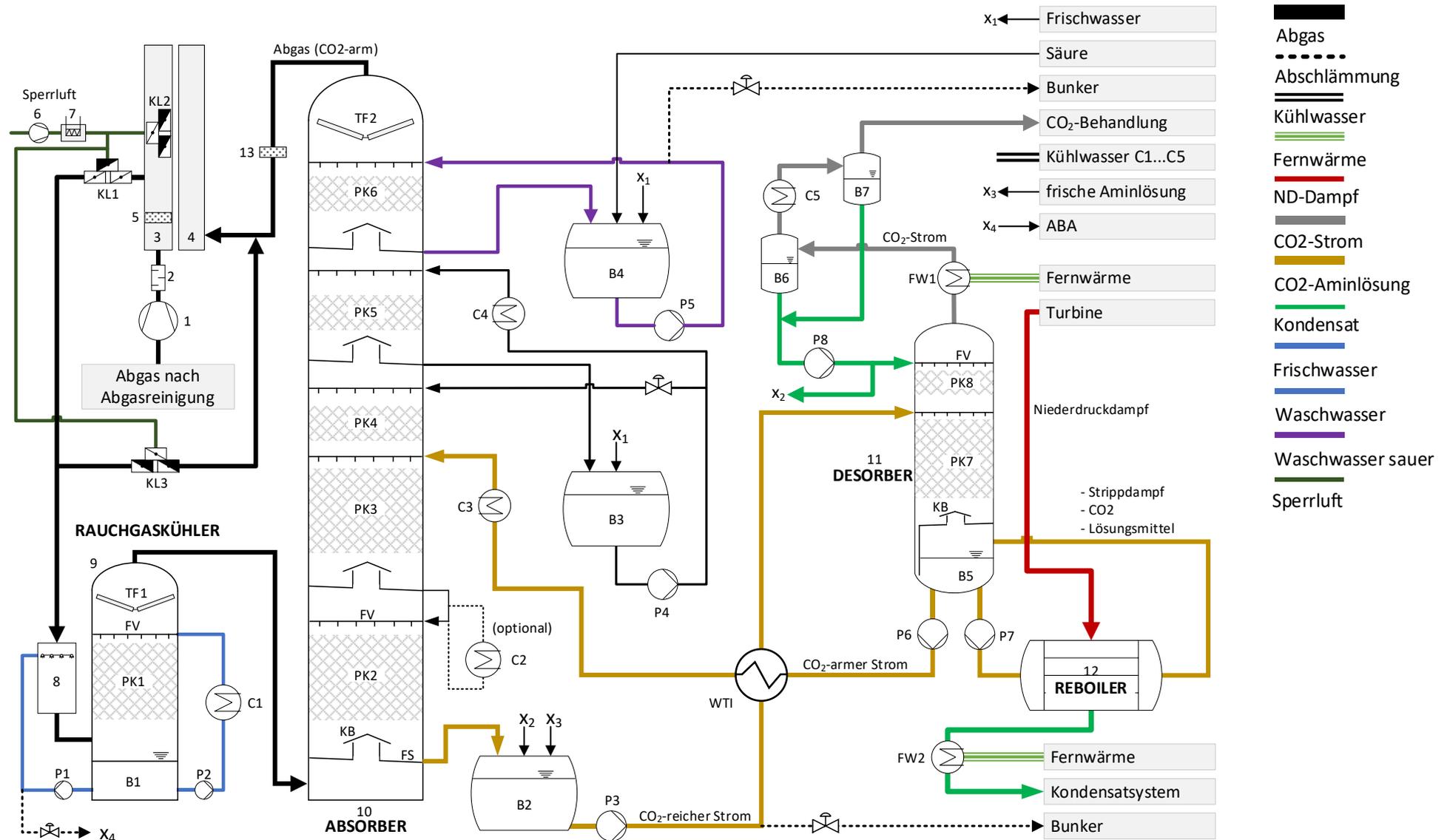


Abbildung 4: Verfahrensflussbild CO<sub>2</sub>-Abscheidanlage mittels Aminwäsche für die Kehrrichtverwertungsanlage in Horgen

## 4.2.2 Saugzug

Der Saugzug (1) einer Kehrlichverwertungsanlage hat die Aufgabe die aus der Verbrennung entstehenden Abgase durch die Anlage zu saugen und diese dann über den Kamin in die Atmosphäre zu fördern. Die Überprüfung des bestehenden Saugzuges hat gezeigt, dass für die neue CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage kein neuer Saugzug notwendig ist. Der bestehende Saugzug hat genug Reserven, um den zusätzlichen Druckverlust welcher durch die neuen Komponenten der CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage erzeugt wird zu überwinden.

Aufgrund der Anordnung des bestehenden Saugzuges, wird die gesamte CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage leicht im Überdruck betrieben. Dieser Überdruck hat einen positiven Effekt auf die CO<sub>2</sub>-Abscheideleistung im Absorber.

## 4.2.3 Rauchgasanschluss / Kamin / Emissionsmessung

Der Rauchgasanschluss für die CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage erfolgt im bestehenden Stahl-Kamin (3) nach der Emissionsmessung (5) der Kehrlichverwertungsanlage. Durch den gewählten Rauchgasanschlusspunkt wird die bestehende Rauchgasreinigung so belassen wie sie ist. Zum einen wird der Betrieb der KVA weitgehend unbeeinträchtigt fortgeführt, zum anderen wird das CO<sub>2</sub> abgeschieden und verflüssigt. Dies hat auch den Vorteil, dass, sollte eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung temporär nicht möglich sein, die Anlage wie bisher betrieben werden kann.

## 4.2.4 Rauchgaskühler

### 4.2.4.1 Allgemein

Der Rauchgaskühler (9) dient hauptsächlich dazu die Abgase vor Eintritt in den Absorber (10) auf eine bestimmte Temperatur zu kühlen. Nebst der Abgaskühlung übernimmt der Rauchgaskühler die Aufgabe saure gasförmige Verunreinigungen im Abgas weiter zu reduzieren welche die CO<sub>2</sub>-Abscheidung im Absorber stören und zur Bildung von wärmostabilen Salzen führen. Die abgeschiedenen sauren Verunreinigungen werden kontinuierlich Richtung Abwasserbehandlungsanlage ausgeschleust (X4). Der Rauchgaskühler ist aus einer Quenchstufe (8), einer Packungsstufe (PK1), einem Rinnenverteiler (FV) sowie einem Tropfenfänger (TF1) aufgebaut. Die Quench- und die Packungsstufe PK1 werden mit dem selben Wassertumpf (B1) betrieben.

### 4.2.4.2 Quench

Nach Umstellung der Absperrklappen am Anschlusspunkt im Kamin, werden die Abgase Richtung CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage umgeleitet. Im Quench (8) werden die Abgase im Gleichstrom durch Einspritzen von Wasser auf nahezu Kühlgrenztemperatur abgekühlt. Dabei wird das Kühlwasser im Überschuss mit sehr hoher Berieselungsdichte gefahren. Die Flüssigkeitsführung erfolgt im Kreislauf, in dem die überschüssige Waschflüssigkeit in den Sumpf (B1) geleitet wird und von dort über die Quenchpumpe (P1) wieder zurück in den Quench gelangt. Neben der Abkühlung der Abgase zum Schutze der nachfolgenden Waschstufen, erfolgt zusätzlich im Quench eine weitere Absorption der gasförmigen Schadstoffe wie HCl, SO<sub>2</sub> sowie Staub.

Im Sumpf (B1) wird das für die Abkühlung der Abgase verdampfte Wasser ständig durch Zuführung von Kondensat aus der Kondensationsstufe (Packungsstufe, PK1) ersetzt. Um eine Akkumulation von Verunreinigungen aus dem Abgas zu verhindern sowie das überschüssige Kondensat aus der Packungsstufe 1 (PK1) zu entfernen, wird mit Hilfe einer Flüssigkeitsstandkontrolle über die Druckleitung des Quenchkreislaufs kontinuierlich Abwasser (X4) Richtung Abwasserbehandlungsanlage ausgeschleust.

Um die Komponenten des Rauchgaskühlers bei Ausfall der Quenchpumpe vor hohen Abgastemperaturen zu schützen, sind zwei der drei Temperaturmessungen nach dem Quench Sicherheitsgerichtet ausgeführt. Bei Ausfall der Quenchpumpe werden die Absperrklappen (KL1, KL2) nach Erreichen einer bestimmten Temperatur umgestellt. Zudem läuft die Pumpe (P2) der Packungsstufe weiter und stellt sicher, dass während

der Klappenumstellung die Abgase weiterhin gekühlt werden. Die Verstopfung der Quenchkühen wird durch den Einbau von Reusenfilter (Grobabscheider) verhindert.

#### 4.2.4.3 Packungsstufe PK1 (Kondensationsstufe)

Nach dem Quench strömen die gekühlten und vorkonditionierten Abgase in den Rauchgaskühler. In der Packungsstufe PK1 werden die Abgase in einer Schicht von speziellen Füllkörpern auf ihre Kühlgrenztemperatur gekühlt, um die Absorption im Absorber zu verbessern. Die Abgase werden dabei im Gegenstrom zur Waschflüssigkeit durch die Packungsstufe geführt.

Durch die Abkühlung der Abgase kondensiert ein Grossteil des Wassers im Abgas aus. Dabei wird durch die Kondensation des Wasserdampfes Energie freigegeben, womit sich die zirkulierende Wassermenge erwärmt. Mittels Wasser-Wasser Wärmetauscher (C1) wird dem zirkulierendem Wasserstrom die Wärme entzogen und dem Kühlkreislauf gegeben.

Die Kondensation des Wasserdampfes in Kombination mit der grossen spezifischen Oberfläche der Füllkörper bewirkt eine weitere Reinigung des Abgases durch Bindung von Salzsäure (HCl), Flusssäure (HF), Feststoffpartikeln, Schwermetallen (insbesondere Hg) und salzartigen Stoffen in Form von Dampf und Aerosolen. Durch die Abscheidung von weiteren sauren Gaskomponenten in der Quench- und PK1-Stufe, stellt sich der pH-Wert der Waschflüssigkeit leicht sauer ein.

Durch die Ausrüstung der Pumpe (P2) mit Frequenzumformer, kann die Packungsstufe abhängig vom jeweiligen Lastfall mit mehr oder weniger Wasser beaufschlagt werden. Diese Massnahme führt zu weniger Druckverlust im Rauchgaskühler und deckt den Kühlbedarf effizient ab. Die Verstopfung des Wärmetauschers durch Grobteile wie z.B. abgebrochene Packungsstücke wird durch den Einbau von Reusenfilter (Grobabscheider) vor dem Wärmetauscher verhindert.

#### 4.2.4.4 Flüssigkeitsverteiler

Die Berieselung der Packungsstufe (PK1) erfolgt über einen Rinnenverteiler (FV). Rinnenverteiler haben gegenüber Eindüsen über Sprühdüsen einen deutlich geringeren Druckverlust und verursachen damit auch geringere Betriebskosten. Die Durchsatzmengen lassen sich zudem wesentlich besser regeln. Der weitere grosse Vorteil der Rinnenverteiler gegenüber Sprühdüsen ist die Vermeidung von Feintropfen. Das Washwasser wird über ein Hauptrohr eingeleitet und über die gesamte Querschnittsfläche auf das Packungsbett verteilt.

#### 4.2.4.5 Tropfenfänger

Die Tropfenfänger (TF1) haben die Aufgabe, die von Gasstrom mitgerissenen Wasserteilchen durch das Umlenken des Gasstromes abzuscheiden. Die Tropfenabscheider befinden sich nach der Packungsstufe 1 (PK1) und sind einlagig. Die Tropfenfänger am Austritt des Waschturmes minimieren die Anzahl salzhaltigen Wassertropfen welche den nachgeschalteten Absorber erreichen.

### 4.2.5 Absorber

#### 4.2.5.1 Allgemein

Der Absorber (10) ist als Füllkörperkolonne mit mehreren Packungsstufen (PK2-PK6), Flüssigkeitsverteiler (FV), Kaminböden (KB), Flüssigkeitssammler (FS) sowie einen Tropfenfänger (TF2) am Austritt der Kolonne ausgelegt. Die Aufgabe des Absorbers ist die Abscheidung des Kohlendioxids (CO<sub>2</sub>) aus dem Abgas durch chemische Absorption. Für den innigen Kontakt zwischen dem Abgas und Lösungsmittel sorgen die eingebauten Füllkörper, indem sie möglichst grosse Oberflächen auf einem bestimmten Volumen schaffen. Die Füllkörper der Packungsstufen können dabei entweder regellos geschüttete (random packing) oder strukturierte Packungen sein. Mit strukturierten Packungen können im Vergleich zu den regellos geschütteten Füllkörper grosse Oberflächen-Volumen-Verhältnisse bei deutlich geringeren Druckverlusten realisiert werden. Der niedrige Preis sowie einfache Montage hingegen sprechen für die regellos geschütteten Füllkörper.

## 4.2.5.2 Aminlösungsstufen PK2 & PK3

Nach der Vorkonditionierung der Abgase im Rauchgaskühler, strömt das gekühlte Abgas von unten in die Absorberkolonne ein. Nach Eintritt in die untere Absorberkammer, wird das Abgas mittels Kaminböden vorverteilt. Die Kaminböden haben die Aufgabe die strömenden Abgase vor Erreichung der Packungsstufe zu homogenisieren und das im Gegenstrom herabströmendes Lösungsmittel vom Abgas zu trennen.

Das gewählte Design mit Kaminböden bringt eine gute Vorverteilung der Gasströmung unterhalb der Packungsschicht und damit eine bessere Effizienz der Absorption. Während das Abgas die Packungsstufen PK2 & PK3 von unten durchströmt, rieselt das an Kohlendioxid arme Lösungsmittel im Gegenstrom durch die Packungen und reichert sich mit Kohlendioxid an. Die Absorption des Kohlendioxids findet demzufolge in den beiden Aminlösungsstufen PK2 & PK3 statt.

Aufgrund der exothermen Reaktion des Lösungsmittels mit dem Rauchgas, steigt die Temperatur über die Packungshöhe an, bevor sie aufgrund der eintretenden und gekühlten Lösungsmittels oberhalb der PK3 absinkt. Dabei entsteht über die Packungshöhe ein bauchiges Temperaturprofil. Eine Erhöhung der Absorption kann durch eine Zwischenkühlung des Lösungsmittels erreicht werden. Die Leistung für die Kühlung des Lösungsmittels wird durch das Kühlsystem über die Wärmetauscher C2 & C3 zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich zur Zwischenkühlung des Lösungsmittels ist eine Trennung der Packungsstufen PK2 & PK3 notwendig, um Kanalströmungen, verursacht durch hohe Packungsstufen, im Absorber zu vermeiden.

Das Lösungsmittel wird nach der Packungsstufe 3 (PK3) über die Flüssigkeitssammler gesammelt und der Packungsstufe 2 (PK2) über den Flüssigkeitsverteiler neu zugegeben. Das Abgas verlässt die PK2 und wird ebenfalls durch die Kaminböden nach der PK2 vor Erreichung der PK3 vorverteilt.

Aufgrund von Verunreinigungen im Abgas sowie System, degradiert das Lösungsmittel mit der Zeit. Damit die Lösungsmittelqualität möglichst konstant bleibt, wird ein Teil des Lösungsmittels kontinuierlich Richtung Bunker der Kehrlichtverwertungsanlage ausgeschleust. Die Menge des ausgeschleusten Lösungsmittels wird durch frische Nachspeisung (X3) ergänzt.

Das an Kohlendioxid reiche Lösungsmittel wird im unteren Flüssigkeitssammler der Absorberkolonne gesammelt und in einem externen Behälter zwischen gelagert. Eine Pumpe (P3) fördert das CO<sub>2</sub>-reiche Lösungsmittel Richtung Desorber (11).

## 4.2.5.3 Nachwaschstufen PK4 & PK5

In den Nachwaschstufen (PK4, PK5) des Absorbers wird das Aminlösungsmittel sowie deren Abbauprodukte aus dem Abgas weiter abgeschieden und über die Nachwaschstufe PK4 den Aminlösungsstufen direkt durch herunter rieseln zugeführt.

Durch eine zusätzliche Kühlung (C4) des Kreislaufwassers der PK5-Stufe, werden einerseits die Emissionen durch Auskondensieren des Wasserdampfes reduziert und der Wasserverlust aus den Aminlösungsstufen verringert. Das auskondensierte Wasser wird über die Packungsstufe PK4 zurück in die Aminlösungsstufen geleitet. Die Packungsstufe 5 (PK5) wird dabei mit Frischwasser versorgt.

## 4.2.5.4 Saure Waschstufe PK6

Um restliche Aminlösungsmittel- und Ammoniakspuren vor Austritt aus der Absorberkolonne abzubauen, wird durch Zugabe von Säure der pH-Wert der letzten Waschstufe leicht sauer auf ca. 6.0 gehalten. Damit auch hier keine Akkumulation von Schadstoffen stattfindet, wird ein Teil des Kreislaufwassers periodisch Richtung Bunker der Kehrlichtverwertungsanlage ausgeschleust. Die Nachspeisung der Waschstufe erfolgt mit Frischwasser.

Der am Austritt der Absorberkolonne eingebaute Tropfenfänger (TF2) reduziert weiter als letzte Stufe Emissionen in Form von Aerosolen.

### **Anmerkung:**

Die Notwendigkeit einer sauren Waschstufe hängt von den Abgasemissionsanforderungen ab, welche durch die Genehmigungsbehörde des jeweiligen Landes vorgegeben werden.

## 4.2.6 Desorber / Reboiler

### 4.2.6.1 Allgemein

Der Desorber (11) ist als Füllkörperkolonne mit zwei Packungsstufen (PK7-PK8), zwei Flüssigkeitsverteiler (FV), Kaminböden (KB), einen Flüssigkeitssammler (FS) sowie einen internen Sumpf (B5) ausgelegt. Die Aufgabe des Desorbers ist die Trennung des Kohlendioxids vom Lösungsmittel unter Wärmezufuhr. Aufgrund des höheren Prozessdruckes, ist der Desorber als Druckgerät klassifiziert.

Auch hier sorgen die eingebauten Füllkörper für den intensiven Kontakt zwischen dem Dampf und Lösungsmittel, indem sie möglichst grosse Oberflächen auf einem bestimmten Volumen schaffen. Die Füllkörper der Packungsstufen können dabei entweder regellos geschüttete (random packing) oder strukturierte Packungen sein.

Der Reboiler (12) ist als Rohrbündelwärmeübertrager ausgelegt und stellt den sogenannten Strippdampf für die Desorption des Kohlendioxids bereit welcher hauptsächlich aus Wasser und Kohlendioxid besteht.

### 4.2.6.2 Packungsstufen PK7, PK8

Das CO<sub>2</sub>-reiche Lösungsmittel wird durch eine Pumpe (P3) aus dem Aminlösungsmittelsumpf (B2) des Absorbers gesaugt, über ein Kreuzstromwärmeübertrager (WT1) durch das CO<sub>2</sub>-arme Lösungsmittel aufgewärmt und zur Packungsstufe PK7 des Desorbers gefördert. Der benötigte Volumenstrom an Lösungsmittel ist abhängig von der CO<sub>2</sub> Menge, die aus dem Abgas abgeschieden werden soll.

Das Lösungsmittel wird nach Eintritt im Desorber über einen Flüssigkeitsverteiler (Rinnenverteiler) auf das Packungsbett (PK7) homogen verteilt und rieselt nach unten durch die Packungsstufe. Von unten strömt im Gegenstrom zum Lösungsmittel der Strippdampf. Dieser Dampf wärmt das Lösungsmittel weiter auf und liefert die notwendige Energie zur Desorption des CO<sub>2</sub> (Desorptionswärme) aus dem Lösungsmittel. Das heisst ein Teil des Wasserdampfes kondensiert und fliesst mit dem Lösungsmittel nach unten während dem CO<sub>2</sub> in die Gasphase über geht und nach oben entweicht. Die Desorption findet im Überdruck (ca. 2 bar (a)) und erhöhter Temperatur (ca. 120-125°C) statt. Das weitgehend vom CO<sub>2</sub> befreite Lösungsmittel sammelt sich im Sumpf des Strippers. Um die Effizienz der Packungsstufe zu erhöhen, wird der Strippdampf mittels Kaminböden vorverteilt.

Das CO<sub>2</sub>-arme Lösungsmittel wird mit einer Pumpe (P6) aus dem Desorbersumpf (B5) abgesaugt, im Wärmeübertrager WT1 sowie C3 gekühlt und zum Absorber geführt. Der Prozesskreislauf ist somit geschlossen. In der Packungsstufe PK8 wird das nach oben strömende CO<sub>2</sub> mit dem herunter rieselndem Kondensat gewaschen und vom Lösungsmittel weiter befreit. Der CO<sub>2</sub>-Strom verlässt den Desorber über die Kopfkolonne.

Der CO<sub>2</sub>-Strom hat beim Austritt aus dem Desorbers eine hohe Temperatur und ist mit Wasserdampf gesättigt. Vor Eintritt in die CO<sub>2</sub>-Behandlungsanlage wird dieser in zwei Schritten gekühlt. Im ersten Schritt erfolgt die Kühlung direkt über den Rücklauf des Fernwärmestromes (FW1) wo Energie in das Fernwärmenetz eingespielen wird. Die Kühlleistung für den zweiten Kühlschritt stellt das Kühlsystem über den Wärmeübertrager (C5) zur Verfügung. Bei der Kühlung des CO<sub>2</sub>-Stromes kondensiert der Wasserdampf aus. Dieser wird in den Kondensatbehältern abgeschieden und der Packungsstufe PK8 zugeführt. Ein Grossteil des gekühlten Kondensates (X2) wird dem Aminlösungsmittelkreislaufes zurück gegeben.

### 4.2.6.3 Reboiler

Vom Desorbersumpf aus wird das Lösungsmittel mit Hilfe der Reboilerumlaufpumpe P7 in den Reboiler gepumpt. Durch Wärmezufuhr wird im Reboiler ein Teil des Wassers welches im Lösungsmittel enthalten ist verdampft. Das im Reboiler verdampfte Wasser (Strippdampf) liefert die notwendige Wärme für die CO<sub>2</sub>-Desorption in der Packungsstufe PK7 und hält die CO<sub>2</sub>-Konzentration im aufsteigendem Gasstrom tief genug, um das CO<sub>2</sub> aus dem Lösungsmittel zu desorbieren.

Für die Dampferzeugung wird Niederdruckdampf aus der Turbine der Kehrichverwertungsanlage verwendet. Das gesättigte heisse Kondensat am Austritt des Reboilers wird vor Einleitung in das Kondensatsystem

zuerst durch Abgabe der Wärme (FW2) in das Fernwärmenetz gekühlt und zurück zum Speisewassertank geleitet.

## 4.2.7 Emissionsmessung CO<sub>2</sub>-Abscheidung

Das CO<sub>2</sub>- arme Abgas verlässt den Absorber nach den Tropfenfänger (TF2) und wird über den neuen Kamin (4) in die Atmosphäre abgegeben.

Um behördliche Vorgaben bzgl. Emissionen im Abgas nachweisen zu können, wird eine zusätzliche Emissionsmessung vor dem neuen Kamin vorgesehen.

Die Emissionsmessung ist ausschliesslich eine Überwachungsfunktion für die Behörden und keine Regelfunktion in der CO<sub>2</sub> Abscheidung. Es wird davon ausgegangen, dass die folgenden kontinuierlichen Messungen für Temperatur, Druck, Durchfluss, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, TOC, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> durchgeführt werden müssen. Darüber hinaus werden Probenahmestellen für diskontinuierliche Messungen vorgesehen, da davon auszugehen ist, dass die Betreiber Nitrosamine und Amine im Rauchgas messen müssen und es dafür keine geeigneten kontinuierlichen Messungen gibt. Ob diese Annahmen korrekt sind muss ebenfalls mit den Genehmigungsbehörden geklärt werden.

## 4.3 CO<sub>2</sub>-Behandlung

### 4.3.1 Verfahrensfliessbild

In der folgenden Abbildung 5 werden anhand eines vereinfachten Verfahrensfliessbild die wichtigsten Komponenten der CO<sub>2</sub>-Behandlung dargestellt. Die CO<sub>2</sub>-Verflüssigung findet bei -56,6 °C und einem Druck von 4,2 bar(g) statt. Um Kondensationstemperaturen von ca. -23 °C zu erreichen, wird der Druck des Rohgases auf 17 bar(g) erhöht. Zusätzlich zur Druckerhöhung müssen vor der Verflüssigung Spurenstoffe aus dem Gas entfernt werden, damit die Produktqualität gewährleistet ist.

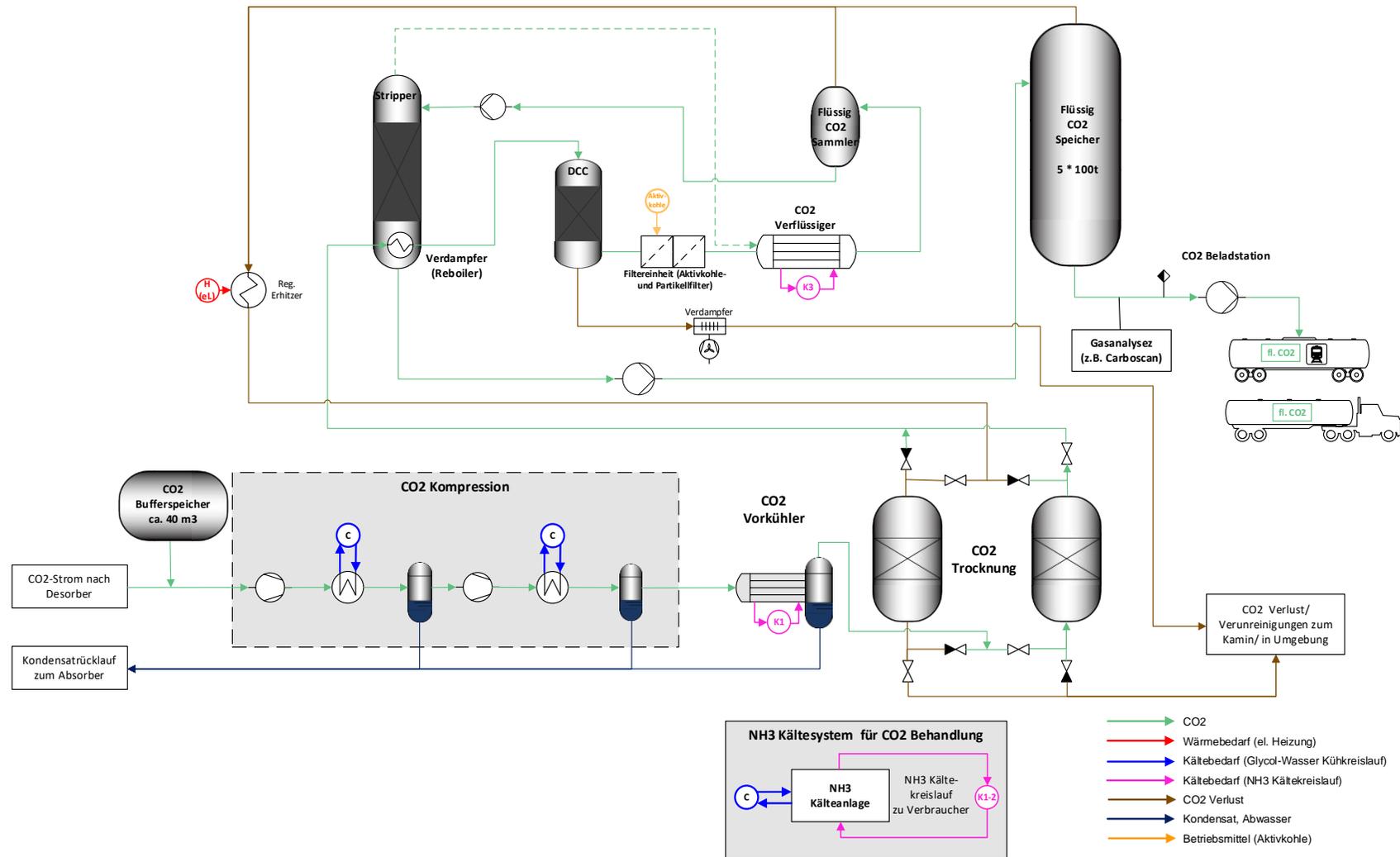


Abbildung 5: Verfahrensfließbild der CO2-Behandlung

## 4.3.2 Kompression und Trocknung

### 4.3.2.1 CO<sub>2</sub>-Gaspuffer

Das gasförmige CO<sub>2</sub> Gemisch (folgend «CO<sub>2</sub> Gas») aus der CO<sub>2</sub> Abscheidung gelangt über einen Gaspufferspeicher zur Kompression. Der Gaspufferspeicher ist notwendig, wenn Druckschwankungen im Eintrittsgas zu erwarten sind. Dies kann insbesondere bei schwankenden Abgasströmen und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Fall sein.

### 4.3.2.2 CO<sub>2</sub>-Kompression

Das CO<sub>2</sub> Gas wird im Verdichter (zweistufiger Kolbenverdichter) auf den Betriebsdruck komprimiert. Zwischen den zwei Verdichter Stufen wird das komprimierte und dadurch erwärmte CO<sub>2</sub> Gas gekühlt, wodurch die Effizienz des Verdichters steigt. Dabei anfallendes Kondensat wird über einen Abscheider vom CO<sub>2</sub>-Strom getrennt. Nach der zweiten Stufe wird erneut gekühlt und Kondensat abgeschieden. Die notwendige Kühlung wird über das Kühlsystem bereitgestellt. Das anfallende Kondensat wird in den Absorber der CO<sub>2</sub> Abscheidung rückgeführt.

### 4.3.2.3 Vorkühlung mit Kältemittel

Das verdichtete CO<sub>2</sub> Gas wird in einem mit Kältemittel betriebenen Kühler weiter gekühlt und das anfallende Kondensat wird wiederum über einen Abscheider von CO<sub>2</sub>-Strom getrennt und zum Absorber rückgeführt. Das wasserarme CO<sub>2</sub> Gas strömt im Anschluss weiter zur Trocknung.

### 4.3.2.4 Trocknung

Für die notwendige Trocknung des CO<sub>2</sub> sind zwei im Wechsel betriebene Adsorptionstrockner installiert. Dadurch lässt sich ein Taupunkt von < -50 °C erreichen. Dies ist erforderlich, da ansonsten die Restfeuchte bei der Verflüssigung gefrieren und so Anlagenkomponenten beschädigen könnte.

Während einer der Behälter das CO<sub>2</sub> trocknet wird der zweite mit erwärmtem Abgas aus der Verflüssigung regeneriert. Da das Abgas trocken und frei von Verunreinigungen ist, kann es die adsorbierten Stoffe aufnehmen und das Adsorptionsmittel so wieder für den Einsatz vorbereiten.

## 4.3.3 Reinigung und Verflüssigung

### 4.3.3.1 CO<sub>2</sub>-Reboiler

Nach der Trocknung tritt das CO<sub>2</sub> Gas in einen CO<sub>2</sub> Reboiler (Wärmeübertrager) ein, der sich im unteren Bereich der Stripperkolonne befindet. Die Wärmeübertragung vom CO<sub>2</sub> Gas zum flüssigen CO<sub>2</sub> im Sumpf der Kolonne ermöglicht die gleichzeitige Vorkühlung des Gasstroms auf ca. -5 °C und die Verdampfung des flüssigen CO<sub>2</sub>.

### 4.3.3.2 DCC Kolonne (Direct Contact Cooler)

In der DCC Kolonne wird das CO<sub>2</sub> Gas in direkten Kontakt mit flüssigem Kohlendioxid gebracht, wodurch organische Verbindungen (VOC) auskondensieren und somit aus dem CO<sub>2</sub> Gas entfernt werden. Im Sumpf der Kolonne sammelt sich das mit Verunreinigungen beladene CO<sub>2</sub> Gas.

### 4.3.3.3 Feinreinigung (Adsorptionsfilter)

Anschließend wird das Gas durch einen Aktivkohlefilter geleitet. Dieser sorgt für eine noch gründlichere Abtrennung der Verunreinigungen. Nach dem Aktivkohlefilter ist ein Partikelfilter in der Rohrleitung integriert, um Aktivkohlestaub zu entfernen.

### 4.3.3.4 CO<sub>2</sub>-Verflüssiger

Das Verflüssigen des CO<sub>2</sub> Gases wird durch Kühlung in einem Wärmeübertrager (CO<sub>2</sub> Verflüssiger) erreicht. Die dafür notwendige Kühlleistung wird über den Kältemittelkreislauf der Kälteanlage bereitgestellt.

Die ebenfalls enthaltenen nicht kondensierbaren Gase bleiben gasförmig. Dadurch erhält das Kohlendioxid eine höhere Reinheit.

### 4.3.3.5 Stripper (Trennung der Spurengase)

Ein geringer Teil der Spurengase kann sich im flüssigen CO<sub>2</sub> lösen. Um diese zu entfernen wird es in einen Stripper geleitet. Dort werden im Flüssigprodukt gelöste Fremdgasbestandteile (vor allem N<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>.) mittels Stripppgas desorbiert. In der Kolonne passiert das flüssige CO<sub>2</sub> von oben nach unten eine Füllkörperschüttung während im Gegenstrom Stripppgas aufsteigt, welches im Reboiler des Kolonnensumpfes erzeugt wird. Durch Wärme- und Stoffaustausch zwischen den Phasen werden die gelösten Spurengase aus dem flüssigen CO<sub>2</sub> ausgetrieben. Das im Kopf der Stripperkolonne enthaltene CO<sub>2</sub> Gas wird dabei zurückgewonnen und in den CO<sub>2</sub> Verflüssiger zurückgeführt. Am Boden der Kolonne, dem sogenannten Sumpf, kann ein Produkt mit besonders hoher Qualität abgezogen und in den flüssigen CO<sub>2</sub> Speicher gepumpt werden.

## 4.3.4 Lagerung und Transport

### 4.3.4.1 CO<sub>2</sub>-Lagertanks

Das flüssige CO<sub>2</sub> wird in 5 vakuumisolierten CO<sub>2</sub> Speichertanks (5 x 100t) gelagert und dort für die Abholung per Tanklastwagen bereitgestellt.

### 4.3.4.2 Gasanalysestation

Um die Qualität des Produktes sicherzustellen, gibt es die Möglichkeit ein Messgerät (z.B. Carboscan) zu installieren. Dieses kann sowohl den Prozess der Anlage überwachen als auch die Produktqualität im Lagertank messen und zertifizieren. Dadurch kann vor der Verladung des Produktes sichergestellt werden, dass keine unerwünschten Verunreinigungen enthalten sind.

#### Anmerkung:

Bei Verwendung von CO<sub>2</sub> in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie nach EIGA Standard wird eine zertifizierte und relativ teure Gasanalyse wie z.B. Carboscan erforderlich sein, um die Einhaltung der Produktspezifikationen nachweisen zu können. Daher wurde es auch im Gesamtsystem berücksichtigt. Sollte das CO<sub>2</sub> zu einem anderen Abnehmer mit weniger strengen Vorgaben an die Qualität gelangen, ist ggf. ein einfacheres und günstigeres Analysegerät zu implementieren.

### 4.3.4.3 Abfüllstation und Transport

Das flüssige CO<sub>2</sub> wird über die Abfüllstation abgefüllt und steht für den Transport bereit. Der Transport des flüssigen CO<sub>2</sub> zum möglichen Abnehmer ist ausserhalb der Systemgrenze und daher nicht Teil vom Detailengineering.

## 4.4 Abwasserbehandlung

Die Abwasserbehandlung sieht vor das aus der Kondensationsstufe des Rauchgaskühlers anfallende Kondensat zu behandeln. Es geht primär um die Entfernung von Quecksilber sowie Reststaub. Zusätzlich soll die Temperatur und der pH-Wert korrigiert werden, damit das Kondensat in die bestehende Kanalisation eingeleitet werden kann.

## 4.5 Energieversorgung

Der für den Reboiler notwendige Prozessdampf wird aus der bestehenden Dampfturbine bereitgestellt. Die bestehende Turbine hat 2 Anzapfungen und eine geregelte Entnahme aus denen Dampf für die Bereitstellung von Fernwärme abgezogen wird.

## 4.6 Kühlsystem

Um die vom Prozess der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Behandlung geforderten Temperaturen zu gewährleisten, wird ein Kühlsystem mit einem geschlossenen Wasser-Glykolkreislauf sowie Hybridkühler vorgesehen.

## 5 Prozessauslegung

### 5.1 Grundlagen und Annahmen

#### 5.1.1 Basisdaten

Tabelle 4: Basisdaten für die Prozessauslegung

| Beschreibung                  | Wert   | Einheit | Anmerkung   |
|-------------------------------|--------|---------|---|
| Betriebsstunden der Anlage    | 8'200  | h       |   |
| CO2-Produkt                   | 17     | bara    | Flüssiges CO2<br>Qualität des CO2 soll Spezifikationen von EIGA erfüllen  |
|                               | -25    | °C      |   |
| Abscheideleistung             | 90     | %       | Das gesamte Abgas der Kehrriichtverwertungsanlage wird für die CO2-Abscheidung verwendet. 90%* des enthaltenen Kohlendioxids werden dabei abgeschieden. |
| Lösungsmittel-zusammensetzung | MEA    | 30%     | HZI-Vorgabe   |
|                               | Wasser | 70%     |   |

\*Der Wert verliert Gültigkeit sobald sich die definierten Eintrittsbedingungen ändern.

#### 5.1.2 Abgasdaten

Tabelle 5: Abgasdaten für die Prozessauslegung

| Beschreibung     | Wert   | Einheit                   | Anmerkung               |
|------------------|--------|---------------------------|-------------------------|
| Temperatur       | 132    | °C                        | Aus Messdaten 2021/2022 |
| Druck            | 1.022  | bar(a)                    |                         |
| Volumenstrom     | 29'500 | Nm <sup>3</sup> /h feucht |                         |
| O <sub>2</sub>   | 6.6    | Vol% trocken              |                         |
| H <sub>2</sub> O | 15.5   | Vol% trocken              |                         |
| CO <sub>2</sub>  | 9.9    | Vol% trocken              |                         |
| N <sub>2</sub>   | 68     | Vol% trocken              |                         |

## 5.1.3 Auslegedaten Medienversorgung

Tabelle 6: Auslegedaten der Medienversorgung für die Prozessauslegung

| Beschreibung                      | Wert     | Einheit | Anmerkung |
|-----------------------------------|----------|---------|-----------|
| Niederdruckdampf                  | 3.5      | bar(a)  |           |
|                                   | 140      | °C      |           |
| Kühlwasser CO2-Abscheidung        | 35       | °C      |           |
|                                   | 2        | bar(g)  |           |
| Kühlwasser CO2-Behandlung         | 32       | °C      |           |
|                                   | 2        | bar(g)  |           |
| Fernwärme<br>(Rücklauf / Vorlauf) | 70 / 115 | °C      |           |
|                                   | 12       | bar(g)  |           |
| Demineralisiertes Wasser          | 20       | °C      |           |
|                                   | 5        | bar(g)  |           |
| Druckluft                         | 4.5-6    | bar(g)  |           |
|                                   | 25       | °C      |           |

## 5.2 CO2-Bilanz

Die Auslegung beginnt mit der limitierten CO2-Abscheidungsrate von 90%, die zusammen mit den Verlusten der Behandlung die Bestimmung der CO2-Gesamtbilanz ermöglicht (siehe Abbildung 6).

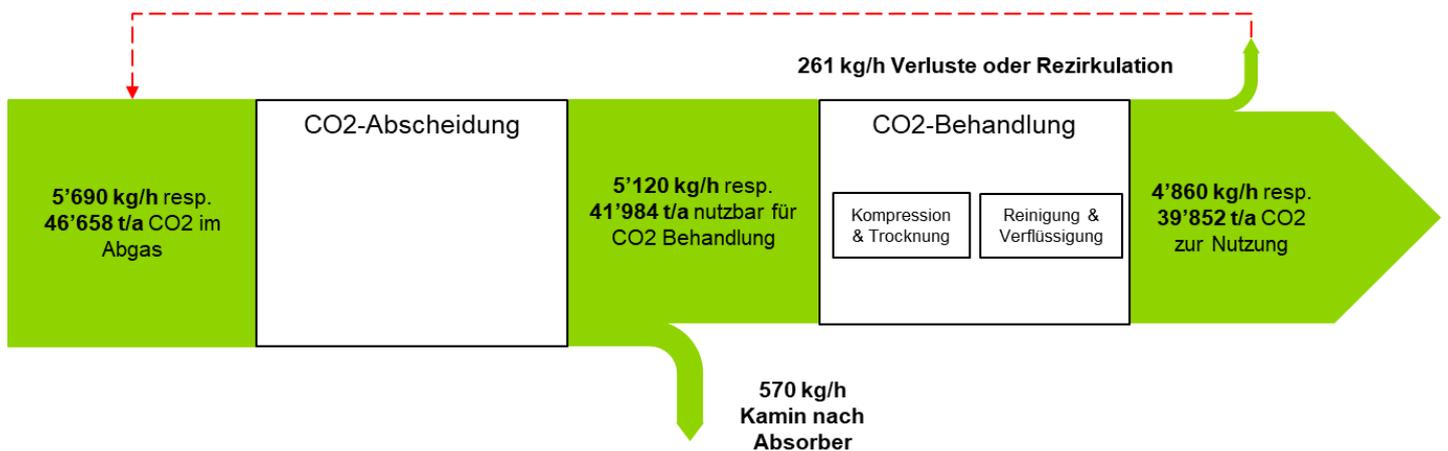


Abbildung 6: CO2 Bilanz der CO2-Abscheidung und Behandlung der Kehrrechtverwertungsanlage in Horgen

Der CO2-Wirkungsgrad der Gesamtanlage wird mit ca. 85 % berechnet und setzt sich zusammen aus der CO2-Absorptionsrate von ca. 90 % und dem Wirkungsgrad der CO2-Behandlung von ca. 95 % aufgrund von Trocknungs- und Reinigungsverlusten. Damit stehen jährlich ca. 39'852 t/a an flüssigem CO2 als Produkt zur Verfügung

Anmerkung:

Mit erweiterter Anlagentechnik können auch Absorptionsraten von über 90% erreicht werden. Jedoch führen

Absorptionsraten über 90% zu deutlich höheren Investitionen (v.a. durch höhere Kolonnen, etc.) und erhöhten Betriebskosten (v.a. durch den höheren spez. Energiebedarf).

## 5.3 Wasserbilanz

Das Abgas am Anschlusspunkt Richtung CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage besitzt einen Wasseranteil von ca. 15.5 % und eine durchschnittliche Temperatur von 132°C. Zur Vorbereitung für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung wird das Abgas im Rauchgaskühler gekühlt und verlässt die Kolonne mit ca. 40°C. Durch die starke Kühlung fallen grosse Kondensatmengen aus.

Dadurch wird das für die Abkühlung der Rauchgase verdampfte Wasser ständig durch Zuführung von Wasser aus der Füllkörperstufe 1 ersetzt. Das kondensierte Wasser in der Füllkörperstufe wird für die Abkühlung der Abgase im Quench verwendet. Der Überschuss an Kondensat wird kontinuierlich in die Abwasserbehandlungsanlage abgeleitet. Abbildung 7 veranschaulicht die Wasserbilanz der CO<sub>2</sub> Abscheideanlage.

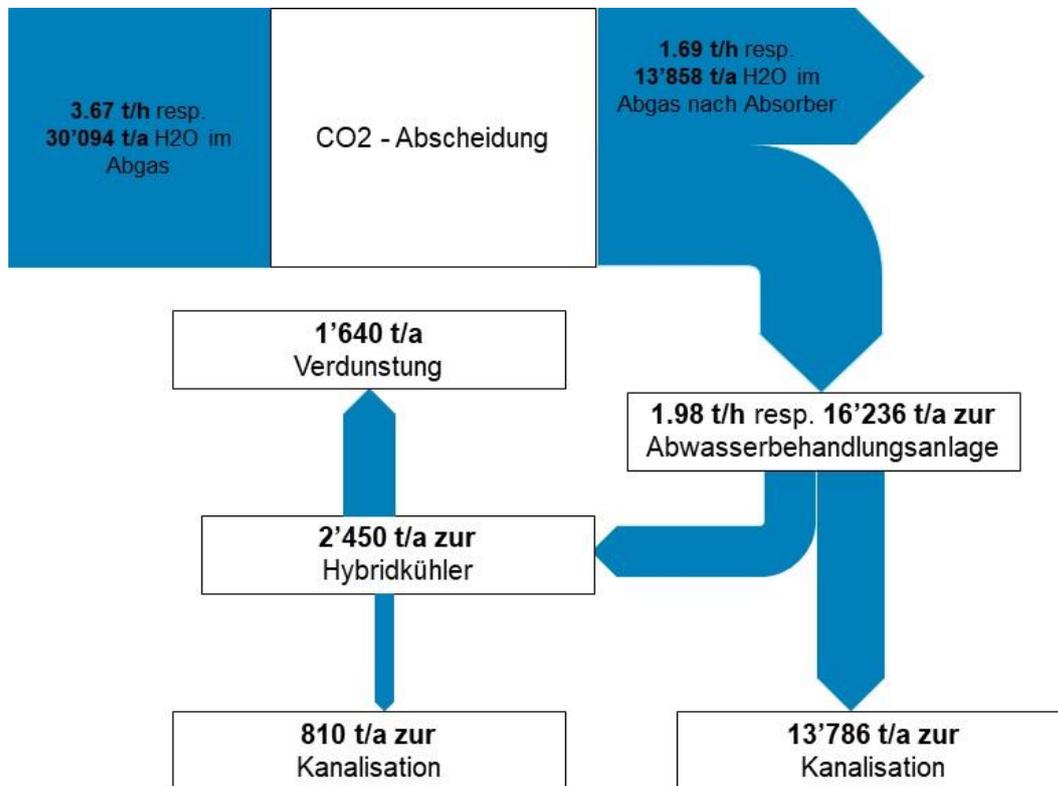


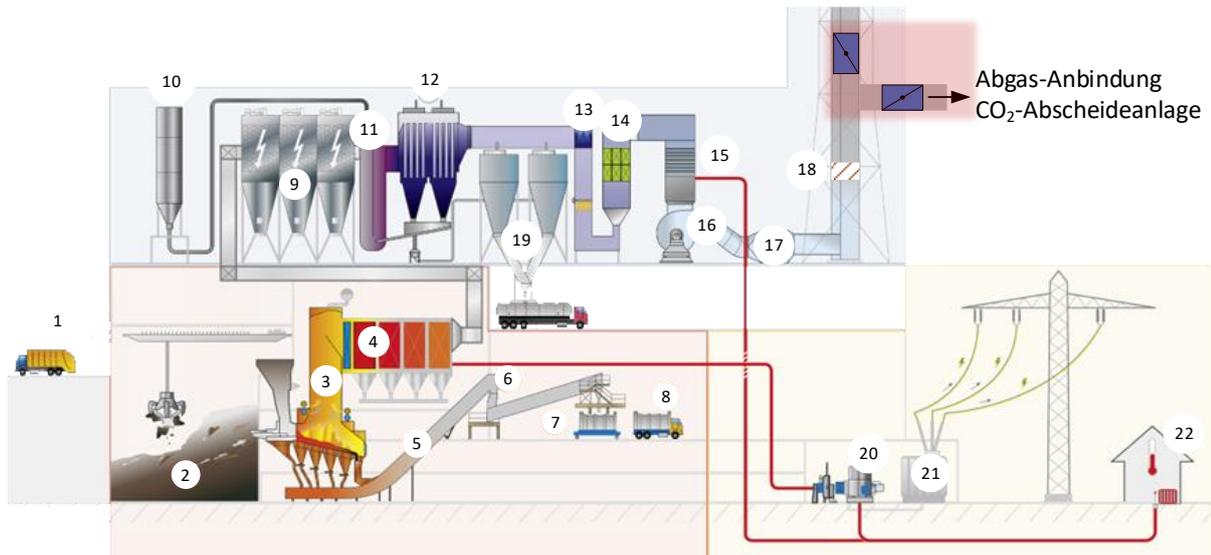
Abbildung 7: Wasserbilanz der CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage

Der Wasserhaushalt im Absorber kann über die Temperaturregelung eingestellt werden. Die kleinen Mengen an vollentsalztem Wasser, welche zur Nachspeisung benötigt werden, werden hier nicht berücksichtigt. Die erwarteten jährlichen Mengen an VE-Wasser sind im Kapitel «Betriebsmittel» zu finden. Aus diesem Grund werden bei der oben aufgeführten Bilanzierung lediglich die über das Abgas eingetragene Menge, das Kondensat und das gereinigte Abgas betrachtet.

## 6 Anlagentechnik

### 6.1 Kehrichtverwertungsanlage und Anbindung der CO<sub>2</sub>-Abscheidung

Die Kehrichtverwertungsanlage in Horgen wurde in den Jahren 2015 und 2016 rundum erneuert und auf den neuesten Stand der Technik gebracht. Die Feuerung ist vollständig automatisiert und garantiert eine optimale Verbrennung der Abfälle. Die bei der Verbrennung der Abfälle freigesetzte Wärme wird zur Produktion von Strom und Wärme genutzt. Die anfallende Schlacke wird trocken ausgetragen, um bei der externen Aufbereitung nahezu 100% der darin enthaltenen Metalle zurückzugewinnen. Abbildung 8 gibt einen Überblick der Kehrichtverwertungsanlage und zeigt die Position der Abgasanbindung für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung.



#### Feuerung und Kessel

1 Abfallanlieferung

2 Müllbunker

3 Ofen

4 Dampfkessel

5 Trockenschlackenband

6 Grobteilabscheider

7 Transportbänder

8 Trockenschlacke-Verladestation

#### Abgasreinigung

9 Elektrofilter

10 Additiv-Silo (Bicar & Sorbalit)

11 Reaktor

12 Gewebefilter

13 Ammoniak-Eindüsung

14 Katalysator

15 Abgas-Wärmeübertrager

16 Saugzug

17 Schalldämpfer

18 Kamin / Emissionsmessung

19 Asche- und Reststoffsilo

#### Energieerzeugung

20 Dampfturbine + Generator

21 Trafo

22 Fernwärme

Abbildung 8: Anlagenschema Kehrichtverwertungsanlage Horgen sowie Abgasanbindung für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung

Aufgrund der Anlagenmodernisierung erfüllt die Anlage sowohl die gesetzlichen Auflagen der LRV (Luftreinhalteverordnung) als auch die Anforderungen an einen modernen Entsorgungsbetrieb. Die Abgasreinigung erfolgt in drei Reinigungsschritten.

In einem ersten Schritt wird die mit dem Abgas mitgerissene Flugasche in einem Elektrofilter abgeschieden und anschliessend extern behandelt. Damit wird sichergestellt, dass die zu deponierenden Rückstände möglichst von Schadstoffen befreit sind. Nach dem Elektrofilter ist ein Gewebefilter installiert, welcher die von den eingedüsten Additiven gebundenen Schadstoffe abscheidet. Die aus dem Gewebefilter ausgetragenen Rückstände werden ebenfalls extern aufbereitet und zu rund 90% rezykliert.

Die letzte Reinigungsstufe besteht aus einem Katalysator zur Reduktion der Stickoxide, Dioxine und Furane. Das gereinigte Abgas verlässt die Anlage über den Kamin. Die abgasseitige Anbindung der CO<sub>2</sub>-Abscheidungsanlage erfolgt nach den Emissionsmessungen am Kamin.

## 6.2 CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Behandlung

### 6.2.1 Layout CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Behandlung

Bei der Anordnung der Teilsysteme wurde geschaut, dass die baulichen Massnahmen minimiert werden, die Transportwege so kurz wie möglich sind, Systeme mit ähnlichen Eigenschaften möglichst nah beieinander sind, bestehende Infrastruktur soweit wie möglich verwendet werden kann und die Integration der Komponenten das bestehende System minimal beeinflussen.

Um Kollisionspunkte bei der Planung der neuen Komponenten in die bestehende Anlage zu vermeiden, wurden sämtliche betroffenen Anlagenräume mit einem 3D-Scan aufgenommen. Abbildung 9 gibt einen Anordnungsüberblick der Teilsysteme in die bestehende Kehrichtverwertungsanlage aus der Grundansichtsperspektive.

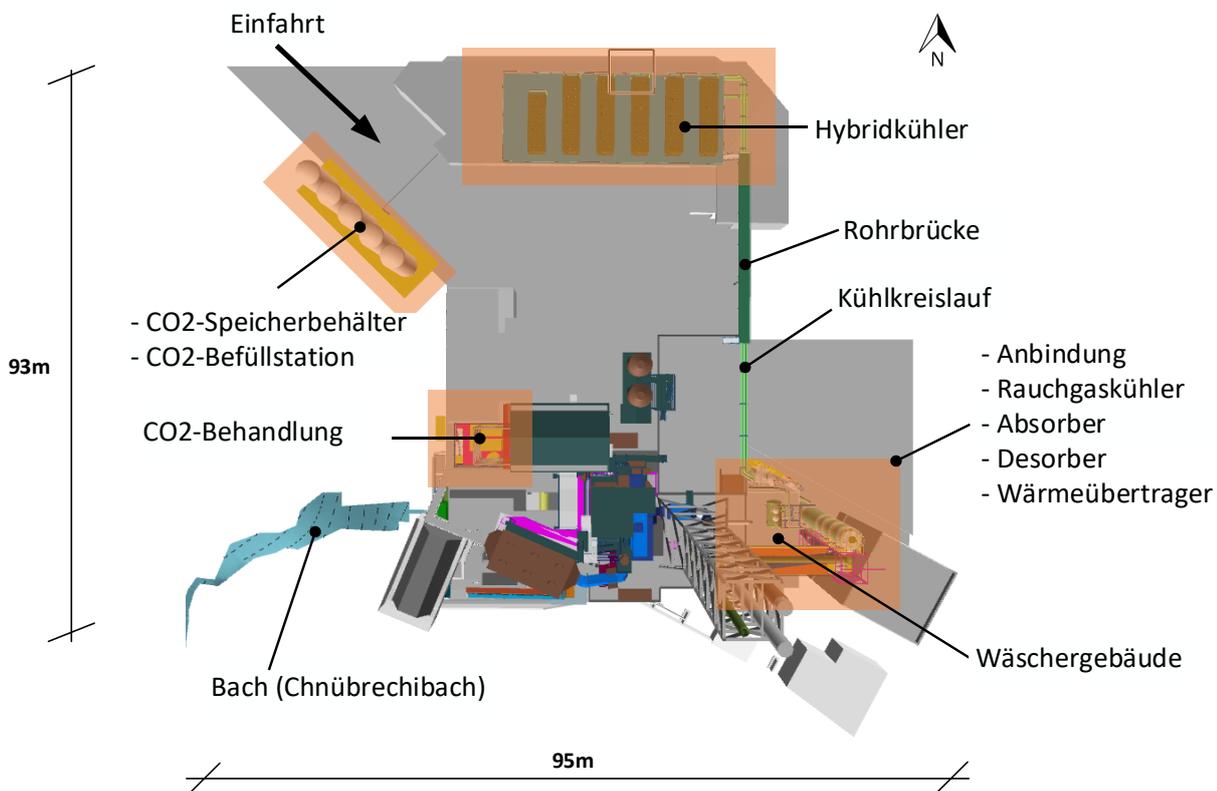


Abbildung 9: Anordnung der Hauptsysteme der CO<sub>2</sub>-Abscheide- und Behandlungsanlage / Grundansicht

Das System CO<sub>2</sub>-Abscheidung ist unmittelbar neben der Wäschergebäude angeordnet und verwendet die Gebäudewände als Abstützung der Rauchgaskanäle, Kolonnen sowie Rohrleitungen. Das Kühlsystem mit den Hybridkühlern ist auf einem Stahlrahmen auf dem Dach der Anlieferungshalle geplant.

Die CO<sub>2</sub>-Behandlungsanlage ist in die bestehende Gebäudenische auf der Westseite der Kehrlichtverwertungsanlage geplant. Die Planung der CO<sub>2</sub>-Speicherbehälter ist neben den Brückenwaagen bei der Einfahrt vorgesehen. Bei der Planung der beiden Teilsysteme wurde geschaut, dass die Rohrleitungen zwischen CO<sub>2</sub>-Behandlungsanlage und Speicherbehälter sowie Abfüllstation möglichst kurz werden, um eine CO<sub>2</sub>-Verdampfung zu vermeiden und die CO<sub>2</sub>-Abblasmenge (Spülung) in die Atmosphäre bei der Abtankung so klein wie möglich zu halten.

Eine Positionierung der Speicher in die Gebäudenische ist aufgrund des Platzbedarfs nicht möglich. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass das Wasser vom Bach bei einer Leckage der CO<sub>2</sub>-Behälter verschmutzen würde. Abbildung 10 zeigt die Übersicht von der Ostseite der geplanten Komponenten. Zu sehen sind die Abgaskanäle Richtung Rauchgaskühler, die Absorptions- und Desorptionskolonne sowie Reboiler.

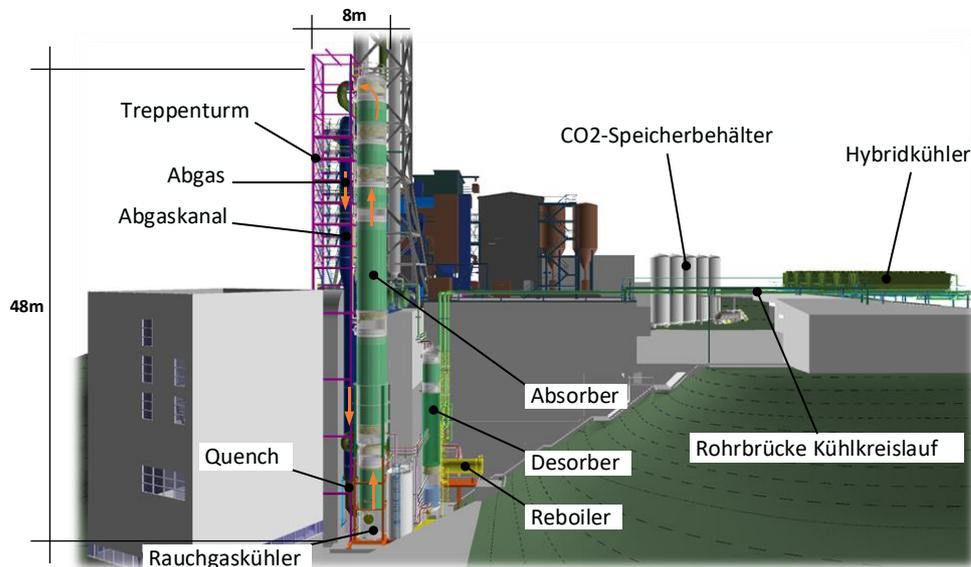


Abbildung 10: Anordnung der Hauptsysteme der CO<sub>2</sub>-Abscheidungsanlage / Ostansicht

Um die gegebenen Platzverhältnisse optimal zu nutzen, wird der Abgaskanal bis zum Quencheintritt entlang der Gebäudefassade geführt, der Rauchgaskühler sowie Absorptionskolonne aufeinander gestellt und der Aminlösungssumpf neben dem Absorber positioniert (siehe Abbildung 10). Diese Anordnung der Komponenten ermöglicht die Nutzung des bestehenden Havariebeckens, welches unterhalb der Absorptionskolonne sowie Aminlösungssumpf steht.

Der bestehende Treppenturm wird durch einen neuen Treppenturm erweitert und gewährleistet den Zugang zu allen Ebenen des Absorbers, Abgasabsperrklappen sowie Nebenkomponenten. Der neue Treppenturm ist mit dem Stahlgerüst des bestehenden Stahlkamins über die Plattform verbunden.

In der Abbildung 11 ist die Anordnung der Plattenwärmeübertrager zu sehen. Sämtliche Plattenwärmeübertrager sind im Gebäude und auf einer Ebene (exkl. Amin-Amin WT) angeordnet. Bei der Planung der Rohrleitungen und Plattenwärmeübertrager wurde darauf geachtet, dass Medien mit gleichen Eigenschaften möglichst nahe beieinander sind.

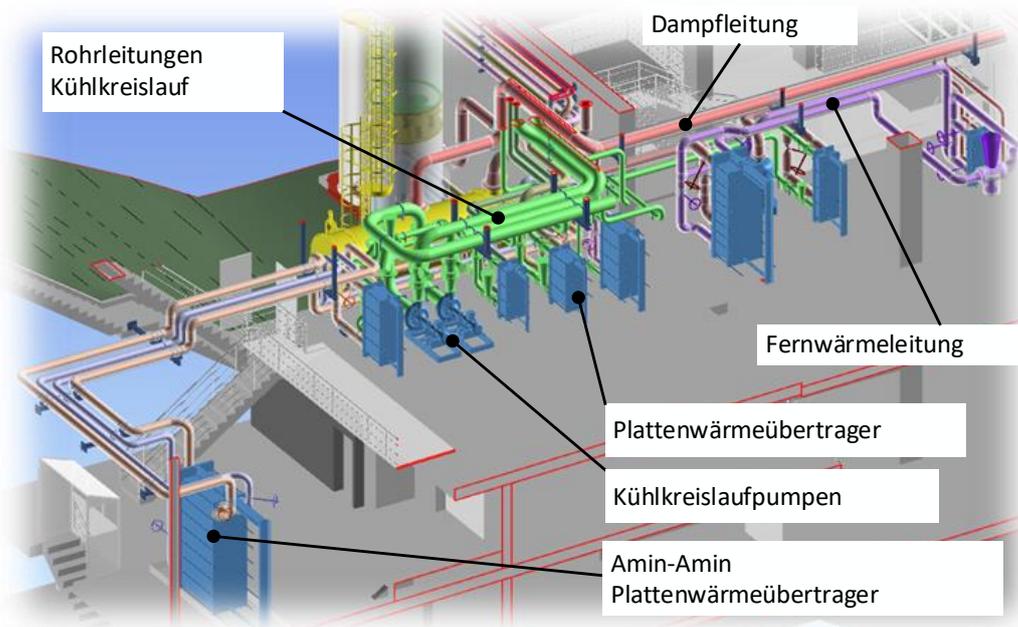


Abbildung 11: Anordnung Plattenwärmeübertrager, Kühlkreislaufpumpen, Hauptanschluss Fernwärme, ND-Dampfversorgung im Innengebäude

Abbildung 12 zeigt die Position der Kreislaufpumpen des Rauchgaskühlers, Absorbers sowie Desorbers. Die Pumpen wurden im Gebäude unmittelbar nach der Gebäudewand zwischen Kolonnen und Gebäude geplant, um die Ansaugstrecke möglichst kurz zu halten. Die Pumpen der Packungsstufe PK5 & PK6 der Absorptionskolonne wurden oberhalb vom Wäschergebäude auf +24m positioniert.

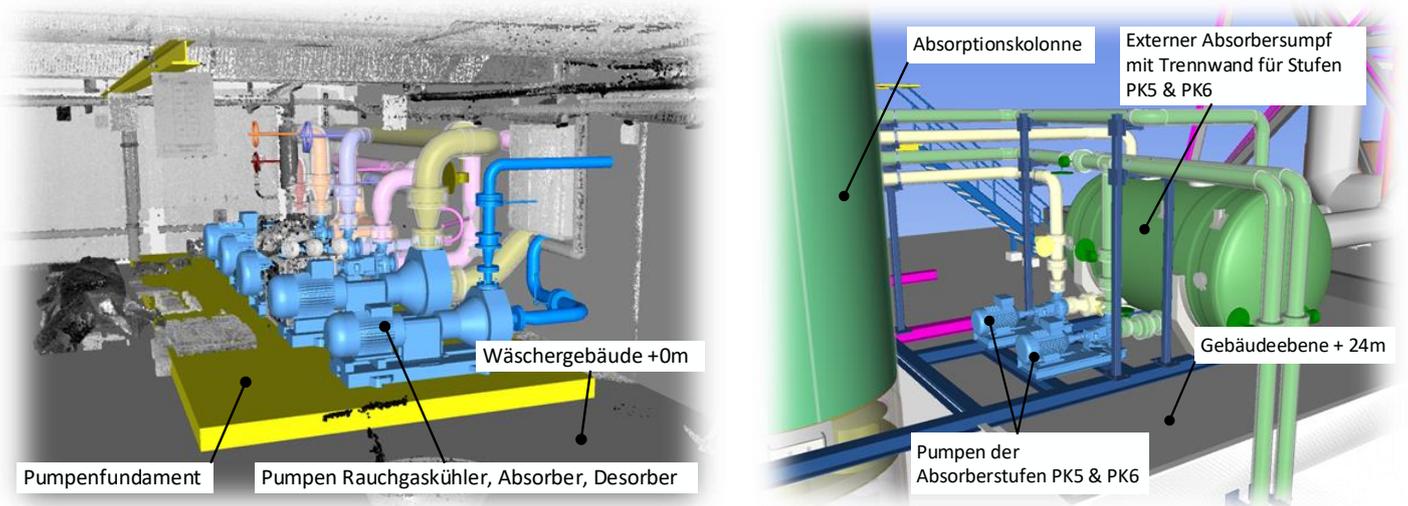


Abbildung 12: Anordnung der Pumpen im Wäschergebäude auf +0m Ebene und auf +24m Ebene vom Wäschergebäude. Überlagerung des 3D-Modells mit den Scan-Daten, um Kollisionen bei der Planung zu erkennen

In der Abbildung 13 ist die Planung der CO<sub>2</sub>-Behandlungsanlage in die Gebäudenische auf die Westseite der Kehrlichtverwertungsanlage zu sehen. Um Lärmemissionen zu minimieren, welche hauptsächlich durch die Kompressoren der CO<sub>2</sub>-Behandlungsanlage verursacht werden, wird die Westseite sowie das Dach der

Gebäudenische mit Fassadenblech und schallabsorbierendem Material eingehaust. Die Einhausung dient zudem als Wetterschutz.

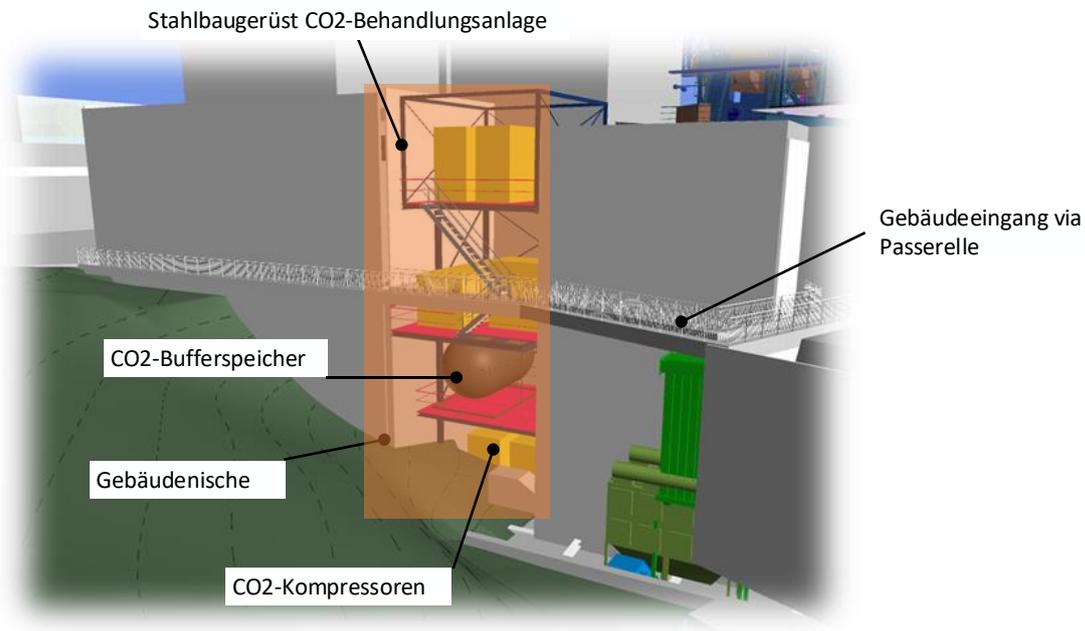


Abbildung 13: Planung der CO<sub>2</sub>-Behandlungsanlage in die Gebäudenische auf die Westseite der Anlage

In der Abbildung 14 ist die Position der CO<sub>2</sub>-Speicherbehälter neben den Brückenwaagen bei der Einfahrt der Kehrichtverwertungsanlage zu sehen.

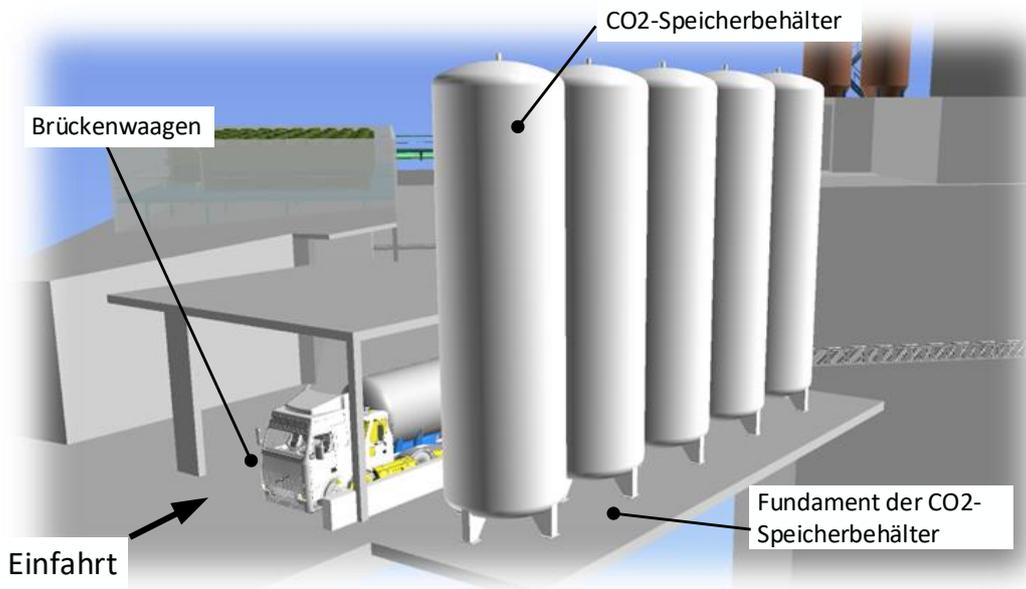


Abbildung 14: Planung der CO<sub>2</sub>-Speicherbehälter neben den Brückenwaagen der Kehrichtverwertungsanlage

## 7 Bauliche Massnahmen

### 7.1 Allgemein

Bei der Planung und Integration der CO2-Abscheide- sowie Behandlungsanlage wurden die neuen Systeme grösstenteils in die bestehende KVA-Gebäude integriert. Die Integration der neuen Systeme erfordert weder neue Bauten noch müssen bestehende Bauten abgerissen werden. Für die neuen Systeme sind lediglich nur neue Fundamente notwendig.

### 7.2 Fundamente

Die Integration der Komponenten in die bestehende Anlage erfordern folgende bauliche Massnahmen:

Tabelle 7: Liste der baulichen Massnahmen

| Bezeichnung                     | Fläche                 | Bemerkung                    |
|---------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Fundament CO2-Speicherbehälter  | ca. 200 m <sup>2</sup> | ausserhalb der KVA-Parzelle  |
| Fundament CO2-Behandlungsanlage | ca. 40 m <sup>2</sup>  | innerhalb KVA-Gebäudenische  |
| Fundament Stripper & Reboiler   | ca. 20 m <sup>2</sup>  | ausserhalb KVA-Gebäude       |
| Fundament Pumpen                | ca. 20 m <sup>2</sup>  | im Gebäude / Aufbaufundament |
| Fundament Wärmetauscher         | ca. 80 m <sup>2</sup>  | im Gebäude / Aufbaufundament |

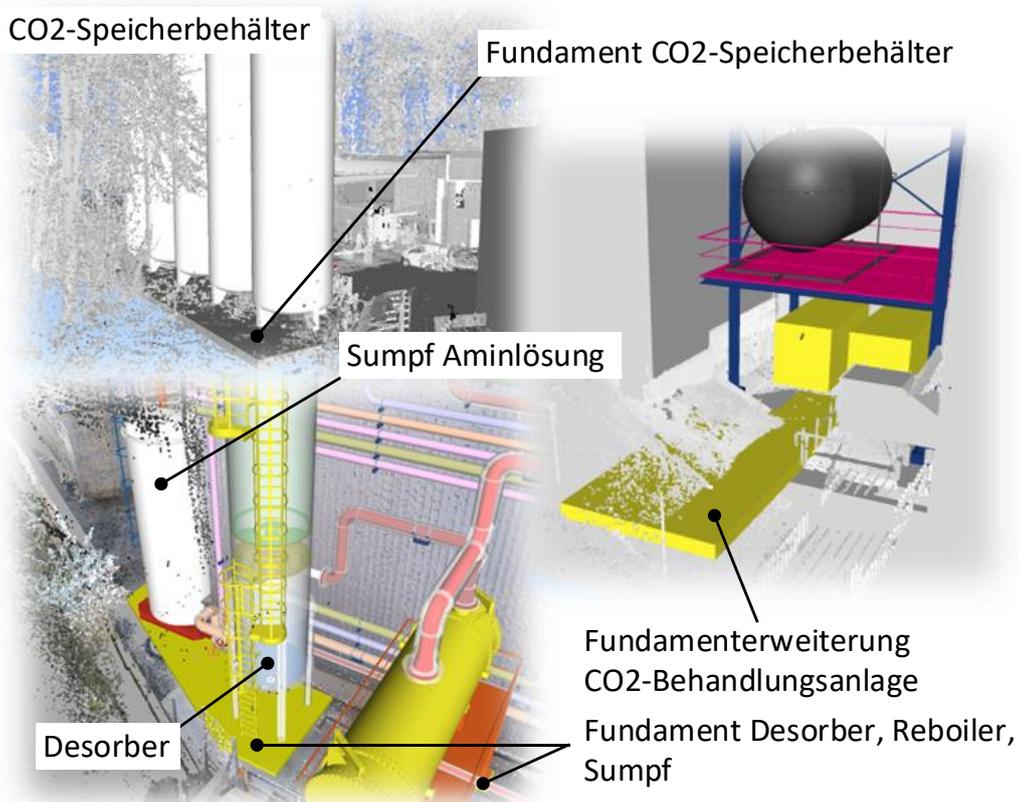


Abbildung 15: erforderliche Aussenfundamente für die neuen Systeme

## 8 Elektrische Integration

### 8.1 Allgemein

Die Elektroanlage der Kehrrechtverwertungsanlage ist aus dem Jahr 1991. Eine Generalüberholung der Elektroanlage wird in einem separaten Projekt in Betracht gezogen. Die Eigenverbrauchsleistung beträgt aktuell ca. 500 kW. Der bestehende Generator bringt 2'700 kVA und speist die Differenz von 2'200 kVA zurück in das Stromnetz.

Basierend auf die Auslegung der Komponenten, beträgt der Energiebedarf für die CO<sub>2</sub>- Abscheide- und Behandlungsanlage 1'500 kW. Für diesen Energiebedarf ist eine neue Hauptverteilung vorgesehen.

### 8.2 Mittelspannung und Transformatoren

Für den Elektroleistungsbezug stellt die Elektroanlage der Kehrrechtverwertungsanlage 2'520 kVA an maximaler Leistung zur Verfügung. Die CO<sub>2</sub>-Abscheide – und Behandlungsanlage bezieht 1'500 kVA, was 60% von der aktuellen Kapazität ausmacht. Mit den 500 kW Eigenleistungsverbrauch, würde die Netzanschlussenergie somit auch ohne Generator ausreichen.

Da die CO<sub>2</sub>-Anlage dreimal mehr Leistung erfordert als der aktuelle Anlageteil und da lange Energieleitungen äusserst ineffizient und kostenintensiv sind, wird im Rahmen des Projektes im Bereich der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Behandlung die eigenständige Planung für die Erneuerung der Mittel- und Niederspannungsanlage in Betracht gezogen.

Diese Betrachtung beinhaltet eine dezentrale Position der Transformatoren für die neue Anlage, um Reserven und Redundanzen zu schaffen, welche für die Erneuerungen der Mittel- und Niederspannungsanlage im bestehenden Areal genutzt werden könnten.

Für die Anbindung der CO<sub>2</sub>-Abscheide und Behandlungsanlage mit 1'500 kVA werden drei bis vier 630 kVA-Transformatoren in je einem Raum von ca. 2x5 Metern benötigt.

### 8.3 Elektro – Hauptverteilung (NSHV)

Die Niederspannungshauptverteilung der CO<sub>2</sub>-Abscheide und Behandlungsanlage verbindet die Transformatoren mit den einzelnen Verfahrensteilen. Sie ist mit einem Hohlboden von ca. 0.5 m Höhe auszurüsten und benötigt eine aktive Kühlung.

### 8.4 Elektro – Unterverteilung (UV)

Die Elektro-Unterverteilung ist ebenfalls aktiv zu kühlen und mit einem Hohlboden auszurüsten. Für das EMSRL Verfahren werden zwei Schaltschrankreihen benötigt. Für die Haustechnik, wie auch für die Heizung, Lüftung und Klimatisierung sind erfahrungsgemäss ebenfalls zwei Reihen notwendig. Empfohlen wird mindestens 30% Reserveplatz. Allenfalls können die Verfahrensschaltanlagen im Gebäude des Verfahrensteils platziert werden.

USV-Anlagen sind mit 3-5 kW seitens Verfahrenstechnik und für die Leitsystem-Servern vorzusehen. Die verschiedenen Unterverteilungen werden nicht einzeln gestützt. Die komplette Energieversorgung (Verfahren und Hilfsbetriebe) kann aktuell bei einem Stromausfall nicht sichergestellt werden.

## 9 Risikobetrachtung

### 9.1 Allgemein

Im Rahmen des Detail-Engineerings für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung wurde eine detaillierte HAZOP-Analyse zum angewandten Verfahrensprozess durchgeführt.

### 9.2 Amin

MEA ist korrosiv für Werkstoffe und menschliche Haut und darf weder eingenommen noch eingeatmet werden. Zusätzlich soll es auch nicht ins Wasser gelangen, da es eine Gefährdung für die lebenden Organismen im Wasser darstellt. Der Gebrauch von geeigneten Arbeitsschutzausrüstungen ist im Umgang mit MEA deshalb zwingend. Entsprechende Warnschilder, die auf diese Gefahren hinweisen müssen zwingend angebracht werden. Um ein Auslaufen an die Umgebung zu verhindern, sollten wo möglich Havariebecken gebaut werden. Zusätzlich sollten während des Betriebes periodisch Rundgänge durch die Belegschaft gemacht werden.

### 9.3 CO<sub>2</sub>

Das CO<sub>2</sub> hat eine kleinere Gefahrenstufe als das MEA. Die Hauptgefahr ist das Verdrängen von Sauerstoff und es besteht deshalb Erstickungsgefahr. Da es schwerer ist als Luft, kann sich das CO<sub>2</sub> in Gruben, Kellern und Schächten anreichern. Bei Arbeiten in solchen Anlagenteilen ist der Gebrauch eines Sauerstoffmessgerätes vorzuschreiben. Als grösste Gefahr wird ein Leck in einem Lagertank des flüssigen CO<sub>2</sub> betrachtet. CO<sub>2</sub> ist bei Umgebungsdruck entweder fest oder gasförmig. Bei einer Leckage im Lagertank wird das auslaufende flüssige CO<sub>2</sub> einerseits zu Trockeneis und gasförmigen CO<sub>2</sub> umgewandelt. Aufgrund der sehr tiefen CO<sub>2</sub>-Temperaturen (-72°C), besteht bei einer Leckage Verbrennungsgefahr durch ausströmendes und sehr kaltes Gas und Trockeneis.

Flüssig CO<sub>2</sub>-Speicher sind mit einem Doppelmantel ausgerüstet. Der Zwischenraum ist mit einer Isolation aus Perlit-Granulat gefüllt. Bei einem Leck des Hauptbehälters kann somit noch kein CO<sub>2</sub> in die Umgebung austreten, weshalb das Risiko für einen Störfall wie oben beschrieben, als sehr klein betrachtet wird.

### 9.4 Lärm

Die Hauptlärmquellen sind die Hybridkühler, CO<sub>2</sub>-Kompressoren sowie Kälteanlage. In der unteren Tabelle sind die Hauptlärmquellen und die Gegenmassnahmen aufgelistet.

Tabelle 8: Hauptlärmquellen sowie Gegenmassnahmen

| Lärmquelle                                 | Massnahmen   |
|--|--|
| Hybridkühler                               | Die Hybridkühler werden mit Schallpaneelen in einem Abstand von ca. 1m ummantelt. Zusätzlich wird vor Beginn der Nachtruhe die Last auf max. 80% begrenzt.                           |
| CO <sub>2</sub> -Kompressoren, Kälteanlage | Die Kompressoren sowie die Kälteanlage der CO <sub>2</sub> -Behandlung werden eingehaust. Falls notwendig werden die Wände der Einhausung mit schallabsorbierendem Material ergänzt. |
| Quench                                     | Die Quench des Rauchgaskühlers wird mit schallabsorbierendem Isolationsmaterial ummantelt.   |

## 10 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Investitionskosten mit einer Genauigkeit von +/- 5%

- **Preis exkl. MwSt. 25 Mio. CHF**

Der berücksichtigte Lieferumfang umfasst alle Anlagenteile die für eine ordnungsgemässe Funktion der Amin basierten CO2-Abscheidung und CO2-Behandlung erforderlich sind.

## 11 Ecktermine Ausführungsphase

| BESCHREIBUNG   | START      | ENDE       | BEMERKUNG   |
|--|------------|------------|---|
| <b>PROJEKTSTART</b>  | 04.11.2024 |            | Freigabe der Baubewilligung sowie Sicherstellung der Finanzierung |
| <b>ENGINEERING</b>   | 11.11.2024 | 03.02.2025 | Vervollständigung und Überprüfung                                 |
| <b>BESCHAFFUNG UND HERSTELLUNG</b>                                   | 05.11.2024 | 11.06.2025 |   |
| <b>BAUSTELLENARBEITEN</b>  | 08.2025    | 04.2027    |   |
| <b>INBETRIEBNAHME &amp; PROBEBETRIEB</b><br>IB, Probetrieb, Übergabe | 01.2027    | 04.2027    |   |

## 12 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: wichtigste Technologien für die CO2-Abscheidung im Abgas (Oexmann, 2011).....   | 8  |
| Abbildung 2: Überblick über Technologien zur Kohlenstoffabscheidung mit Angabe der typischen Betriebsbedingungen für das Rauchgas in Müllverbrennungsanlagen (roter Punkt in der unteren linken Ecke); (DOE/NETL, 2015)..... | 9  |
| Abbildung 3: Überblick der betrachteten Teilsysteme sowie die Systemgrenze .....   | 11 |
| Abbildung 4: Verfahrensfliessbild CO2-Abscheideanlage mittels Aminwäsche für die Kehrichtverwertungsanlage in Horgen .....   | 13 |
| Abbildung 5: Verfahrensfliessbild der CO2-Behandlung.....  | 19 |
| Abbildung 6: CO2 Bilanz der CO2-Abscheidung und Behandlung der Kehrichtverwertungsanlage in Horgen   | 24 |
| Abbildung 7: Wasserbilanz der CO2-Abscheideanlage .....  | 25 |
| Abbildung 8: Anlagenschema Kehrichtverwertungsanlage Horgen sowie Abgasanbindung für die CO2-Abscheidung .....   | 26 |
| Abbildung 9: Anordnung der Hauptsysteme der CO2-Abscheide- und Behandlungsanlage / Grundansicht ....   | 27 |
| Abbildung 10: Anordnung der Hauptsysteme der CO2-Abscheideanlage / Ostansicht.....   | 28 |
| Abbildung 11: Anordnung Plattenwärmeübertrager, Kühlkreislaufpumpen, Hauptanschluss Fernwärme, ND-Dampfversorgung im Innengebäude .....  | 29 |
| Abbildung 12: Anordnung der Pumpen im Wäschergebäude auf +0m Ebene und auf +24m Ebene vom Wäschergebäude. Überlagerung des 3D-Modells mit den Scan-Daten, um Kollisionen bei der Planung zu erkennen.....                    | 29 |
| Abbildung 13: Planung der CO2-Behandlungsanlage in die Gebäudenische auf die Westseite der Anlage ....   | 30 |
| Abbildung 14: Planung der CO2-Speicherbehälter neben den Brückenwaagen der Kehrichtverwertungsanlage .....   | 30 |
| Abbildung 15: erforderliche Aussenfundamente für die neuen Systeme.....  | 31 |

### Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Zusammenfassung der Schlüsselkennzahlen des Gesamtsystems.....                                   | 6  |
| Tabelle 2: Auflistung offener Amin basierte Lösungsmittel für CO2-Abscheidung aus Abgasen.....              | 10 |
| Tabelle 3: Auflistung und Bezeichnung der Hauptkomponenten der CO2-Abscheideanlage gemäss Abbildung 5 ..... | 12 |
| Tabelle 4: Basisdaten für die Prozessauslegung.....   | 23 |
| Tabelle 5: Abgasdaten für die Prozessauslegung .....  | 23 |
| Tabelle 6: Auslegedaten der Medienversorgung für die Prozessauslegung .....                                 | 24 |
| Tabelle 7: Liste der baulichen Massnahmen .....   | 31 |
| Tabelle 8: Hauptlärmquellen sowie Gegenmassnahmen.....  | 33 |

## 13 Quellenverzeichnis

- DOE/NETL. (2015). *Carbon Dioxid Capture Handbook*. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY - National Energy Technology Laboratory.
- Gibbins, J. L. (2021). *BAT Review for New-Build and Retrofit Post-Combustion Carbon Dioxide Capture Using Amine-Based Technologies for Power and CHP Plants Fuelled by Gas and Biomass as an Emerging Technology under the IED for the UK*. Retrieved from <https://ukccsrc.ac.uk/best-available-technology-bat-information-for-ccs/>
- Oexmann, P. D.-I.-W.-I.-I. (2011). *POSEIDON Post-Combustion CO2-Abtrennung: Evaluierung der Integration, Dynamik und Optimierung nachgeschalteter Rauchgaswäschen*. Hamburg: TUHH.
- SEPA. (2015, August). *Review of amine emissions from carbon capture systems, Version 2.01*. Retrieved from <https://www.sepa.org.uk/media/155585/review-of-amine-emissions-from-carbon-capture-systems.pdf>