

Masterarbeit

Optimierung der Flash-Reaktor Pilotanlage

Schwerpunkt Brennersystem und Mess- und Regeltechnik

erstellt am

Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik

Vorgelegt von:
Bernhard Geier, BSc
0535113

Betreuer/Gutachter:
Dipl.-Ing. Nicolas Delfs
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Harald Raupenstrauch

Leoben, Februar 2013

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.

Ort/Datum

Unterschrift

DANKSAGUNG

Ich möchte mich ganz herzlich bei meinen Betreuern Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Harald Raupenstrauch und Dipl.-Ing. Nicolas Delfs für die erstklassige Betreuung und die Zusammenarbeit bedanken. Ich freue mich, dass ich die Möglichkeit habe, eine sehr praktische Diplomarbeit an einer Pilotanlage zu schreiben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern Herbert und Brigitte, die mir das Studium ermöglicht haben und von denen ich immer die notwendige Hilfestellung und Unterstützung bekommen habe.

Dem gesamten Team am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik möchte ich für eine ausgezeichnete Zusammenarbeit danken.

Meiner Freundin Yvonne möchte ich für die Unterstützung während der kräfteaubenden Kampagnen danken.

Kurzfassung

In dieser Arbeit sollen die Problemstellungen der Teilbereiche Mess- und Regeltechnik, sowie des Brennersystems der Flash-Reaktor Pilotanlage herausgearbeitet werden. Nach erfolgter Analyse sollen Lösungsansätze gefunden und die Optimierungsarbeiten durchgeführt werden. Im Teilbereich Mess- und Regeltechnik ist durch Optimierung der vorhandenen Struktur, sowie durch die Verbauung neuer Komponenten die Anlagesicherheit und der Automatisierungsgrad erhöht worden. Die Überarbeitung der Störfallszenarien und der Funktionsbeschreibung der Pilotanlage ist mit der Optimierung der Mess- und Regeltechnik einhergegangen. Im Teilbereich Brennersystem erfolgte eine Adaptierung des Mischzyklones, der Brennerlanze und des Kühltopfes. Auf Basis einer Simulation des Mischzyklones sind konstruktive Änderungen vorgenommen worden, die eine Leistungssteigerung der Förderrate möglich machten. Die Brennerlanze und der Kühltopf sind den Einsatzanforderungen angepasst worden.

Abstract:

In this thesis the problems, in the parts piping and instrumentation and burning system, should be analyzed. Afterwards solutions should be developed and realized. Plant safety and degree of automation should be increased within the part of piping and instrumentation. The review of the functional description and emergency scenarios is combined with the modification of the piping and instrumentation. In the partial area burner system the mixing cyclone, the burner and the cooling pot, have been modified. Based on a simulation of the mixing cyclone, constructional changes have been made, to improve the feeding rate. The burner and the cooling pot have been adapted to fulfill the requirements

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	1
2 FREEZE-LINING.....	2
2.1 Allgemeines	2
2.1.1 Isolationskonzept.....	4
2.1.2 Freeze-layer Konzept.....	7
2.1.3 Detaillierter Aufbau einer Ausmauerung mit dem freeze-lining Konzept.....	11
2.1.4 Beschädigungen des freeze-linings	16
2.1.5 Vergleich der beiden Konzepte	19
3 ANLAGENBESCHREIBUNG	22
4 OPTIMIERUNGSSARBEITEN AM FLASH-REAKTOR.....	24
4.1 Optimierung des Flash-Reaktor Kopfes	24
4.1.1 Modellierung des Flash-Reaktor Kopfes im Urzustand und Beschreibung der Einzelteile	24
4.1.2 Problemstellung des Flash-Reaktor Kopfes im Urzustand.....	26
4.1.3 Simulation des Flash-Reaktor Kopfes	29
4.1.4 Konstruktive Änderungen am Flash-Reaktor Kopf.....	36
4.2 Optimierung der Mess- und Regeltechnik.....	40
4.2.1 Einführung in die Mess- und Regeltechnik des Flash-Reaktors	40
4.2.2 Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 1	43
4.2.3 Änderungen in der Prozesseinheit 1	46
4.2.4 Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 2	47
4.2.5 Änderungen in der Prozesseinheit 2	49
4.2.6 Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 3	51
4.2.7 Änderungen in der Prozesseinheit 3	54
4.2.8 Änderungen der Mess- und Regeltechnik	55
4.3 Neustrukturierung der Funktionsbeschreibung	56
4.3.1 Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 1 Einleitung	56
4.3.2 Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 2 Ruhezustand	58
4.3.3 Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 3 Betriebsart Hand	58
4.3.4 Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 4 Anfahren der Anlage	60

4.3.5	Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 5 Normalbetrieb der Anlage....	62
4.3.6	Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 6 Herunterfahren der Anlage ..	62
4.3.7	Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 7 Störabschaltungen	63
5	SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK	66
6	VERZEICHNISSE	I
6.1	Literaturverzeichnis	I
6.2	Abkürzungsverzeichnis	III
6.3	Tabellenverzeichnis	IV
6.4	Abbildungsverzeichnis	V
	ANHANG A: SIMULATIONSBERICHT	A
	ANHANG B: KONSTRUKTIONSZEICHNUNG DES KÜHLTOPFES	B
	ANHANG C: LEGENDE	C
	ANHANG D : FUNKTIONSBESCHREIBUNG	D

1 Einleitung

In der Eisen- und Stahlindustrie fallen für jede erzeugte Tonne Stahl zwischen 15 und 25 Kilogramm Staub an. Diese Stäube enthalten neben Schwermetallen, die eine Deponierung oder Weiterverarbeitung erschweren, auch wertvolle Rohstoffe wie beispielsweise Zink. Der hohe Zinkgehalt resultiert unter anderem aus dem Einsatz von Automobilschrott in der Stahlerzeugung. Die Rückgewinnung dieser Wertstoffe muss nicht nur aus ökonomischen, sondern auch aus ökologischen Gründen verfolgt werden. Durch die feine Korngrößenverteilung und die Zusammensetzung des Staubes ist ein Rezyklieren dieser Staubfraktion innerhalb des Stahlwerkes problematisch. [1]

Im Technikum des Lehrstuhles für Thermoprozesstechnik an der Montanuniversität Leoben wurde eine einstufige Flash-Reaktor Pilotanlage nach dem RecoDust Verfahren errichtet und erfolgreich in Betrieb genommen. Diese Anlage stellt ein neuartiges Aggregat zum Rezyklieren von zinkhaltigen Stäuben in der Stahlindustrie dar.

1.1 Problemstellung

Die nach der Inbetriebnahme und 2 erfolgreichen Versuchskampagnen gesammelten Erfahrungen sollen genutzt werden, um die Mess- und Regeltechnik sowie das Staubeintrag- und Mischsystem der Anlage zu optimieren. Bei der Mess- und Regeltechnik wird eine Erhöhung der Anlagensicherheit und des Automatisierungsgrades gefordert, die Mängel im Staubeintrag- und Dosiersystem sollen behoben werden.

1.2 Zielsetzung

Im theoretischen Teil dieser Arbeit soll eine Literaturstudie zum Thema „freeze-lining“ durchgeführt werden. Diese Schutzschicht, die aus Einsatzmaterial gebildet wird, ist auch als „freeze-layer“ oder im deutschen Sprachgebrauch als „Schlackepelz“ bekannt. Aufgrund der aggressiven und ständig wechselnden Verfahrensbedingungen im Flash-Reaktor ist in einer späteren industriellen Anwendung ein freeze-layer eine Option zum Schutz der Feuerfestausmauerung.

Im zweiten Teil der Arbeit sollen die Problemstellungen der Teilbereiche Mess- und Regeltechnik, sowie Brennersystem herausgearbeitet werden. Nach der Analyse der Problemstellungen sollen adäquate Lösungen erarbeitet und umgesetzt werden.

2 Freeze-lining

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Grundlagen zum Thema freeze-lining erarbeitet.

2.1 Allgemeines

Feuerfeste und wärmedämmende Werkstoffe haben die Aufgabe, bei hohen Temperaturen ablaufende Prozesse ökonomisch und ökologisch gegen die Umgebung abzuschließen. Dabei können sie

- thermisch durch Temperaturen und Temperaturwechsel
- chemisch durch Gase, flüssige Stoffe, Schmelzen und Schlacken und
- mechanisch durch Druck oder Zug, Erosion und Reibung

beansprucht werden. Fast immer werden sie kombiniert beansprucht. Die Auswahl des feuerfesten Werkstoffes muss deshalb immer auf die verschiedenen Beanspruchungsarten in der Anwendung abgestimmt sein. Je nach Art des Prozesses oder in unterschiedlichen Anlagenteilen, treten einzelne Beanspruchungsarten verstärkt auf. [2][3]

Thermische Beanspruchungen:

Thermische Beanspruchungsarten schwächen die Ausmauerung primär, sodass sie anfälliger für chemische und mechanische Angriffe ist. Feuerfeste Werkstoffe besitzen keinen eindeutigen Schmelzpunkt, sondern erweichen innerhalb eines mehr oder weniger engen Temperaturbereiches. Bei höherer Temperatur besitzen alle Werkstoffe eine geringere Zug- oder Druckfestigkeit und sind so anfälliger gegen mechanische Einflüsse. Die größte thermische Beanspruchung findet durch die Wärmeausdehnung des Materials statt, welches in der Konstruktion von Dehnfugen berücksichtigt werden muss. [2][3]

Von der reversiblen Ausdehnung ist in der Feuerfestkunde die irreversible Längen- bzw. Volumenänderung mit der Temperatur zu unterscheiden, das Nachwachsen oder Nachschwinden. Zu diesen Erscheinungen kommt es durch unvollständige Sinterung (Schwachbrand), Phasenumwandlungen oder chemische Reaktionen. Starkes Nachwachsen kann die Ausmauerung aufgrund von hohen Druckspannungen zerstören, während bei starkem Nachschwinden eine Fugenöffnung des Materials möglich ist. [2][3]

Thermische Beanspruchungen treten nicht ausschließlich durch hohe Temperaturen auf, auch Temperaturwechsel wie beispielsweise bei diskontinuierlichen Prozessen, schwächen die Ausmauerung. Liegt eine hohe Empfindlichkeit gegen Temperaturwechsel vor, kommt es bei wiederholten thermischen Belastungen zur Zermürbung des Steingefüges, das schließlich zur Rissbildung oder schichtweisem Abplatzen führt. Lokal können deutlich höhere thermische Beanspruchungen auftreten, wenn exotherme Reaktionen im Aggregat stattfinden. [2][3]

Chemische Beanspruchungen:

Feuerfeste Werkstoffe, aber auch die einwirkenden Stoffe werden, in sauer, basisch und neutral eingeteilt. Feuerfeste Werkstoffe werden aufgrund ihres Verhaltens bei Kontaktreaktionen eingeteilt, das Charakterisierungsmerkmal der einwirkenden Stoffe ist ihre Basizität. Die Basizität ist das Gewichtsverhältnis von CaO zu SiO₂ in metallurgischen Schlacken. Basische Schlacken besitzen eine Basizität > 1, saure Schlacken eine Basizität <1 und neutrale Schlacken eine Basizität gleich 1. Chemisch streben alle Schlacken eine Neutralisation an, daher reagieren saure Schlacken mit basischen feuerfesten Werkstoffen und umgekehrt. Die Abstimmung des feuerfesten Werkstoffs auf den Einsatzstoff hat daher allergrößte Bedeutung. [4]

Bei niedrigem Sauerstoffpartialdruck, wie etwa bei einer reduzierenden Ofenatmosphäre oder beim Anlegen eines Vakuums, kann der feuerfeste Werkstoff ebenfalls chemisch beansprucht werden. [5]

Mechanische Beanspruchungen:

Bei den mechanischen Beanspruchungsarten wird die Ausmauerung in erster Linie durch das Einbringen von festen oder staubförmigen Material und durch Druckspannungen in der Ausmauerung angegriffen. Kombiniert mit den meist hohen vorherrschenden Temperaturen, kann Heißerosion Bereiche der Ausmauerung angreifen, die in keinem Kontakt zum geschmolzenen Material stehen und dadurch dünnere Wandstärken aufweisen. Mechanisch beansprucht werden feuerfeste Werkstoffe auch beim Reinigen, oder beim Anlegen von Druck. [2][3]

Jeglicher Abtrag von feuerfesten Werkstoffen verschlechtert die Produktqualität und sollte aufgrund der Qualitätssicherung und einer langen Lebensdauer des Aggregates so gering wie möglich gehalten werden. Industriell gibt es zwei Konzepte, die Außenhülle eines Aggregates vor den chemischen und physikalischen Beanspruchungen zu schützen: Das Konzept der Isolation und das Konzept des „freeze-layers“. [6]

2.1.1 Isolationskonzept

Beim Isolationskonzept schützen massive Ausmauerungen die Außenhaut, wobei die Ausmauerung durch physikalische und chemische Angriffe der Schmelze abgetragen wird. Das Isolationskonzept ist die „klassische“ Feuerfestausmauerung, bei der die Reaktorhülle durch mehrere Schichten unterschiedlicher Materialien geschützt wird. **Abbildung 1** zeigt das Isolationskonzept einer Feuerfestausmauerung mit dem Temperaturgradienten. [2][3]

In einem mehrschichtigen Prinzip können die unterschiedlichen Vorteile einzelner Materialien genutzt werden. Meist erfolgt die Auskleidung mehrschichtig, diese kann in Ausnahmefällen auch einschichtig sein. [2][3]

Die Hülle besteht bei den meisten Öfen aus Stahl. In diesem Beispiel bilden Schamotte oder Feuerleichtsteine die erste Schicht. Diese zeichnen sich durch eine niedrige Wärmeleitfähigkeit und ein geringes Gewicht aus. Zudem können sie leicht bearbeitet und somit an komplexere geometrische Formen der Hülle angepasst werden. Die Steine werden meist gemauert, wobei ein auf die Steine abgestimmter feuerfester Kleber oder Mörtel verwendet wird. Um die Wärmeausdehnung in radialer Richtung zu kompensieren, können beim Isolationskonzept Keramikfasermatten oder plastische Massen zwischen der Hülle und den Feuerleichtsteinen eingebracht werden. In vertikaler Richtung ist die Wärmeausdehnung mittels Dehnfugen auszugleichen. [2][3]

Die nächste Schicht ist eine isolierende Tonerdeschicht. Diese zweite Schicht kann ebenfalls gemauert oder als Stampfmasse aufgebracht werden. Die ungeformte Stampfmasse wird meist durch Schalungen in großen Feldern eingebracht und bildet nach dem Aushärten die Auskleidung. Vorteile eines ungeformten Erzeugnisses sind die im Vergleich zu Steinen kürzere Zustellzeit und das leichtere Anpassen an komplexe geometrische Formen. [2][3]

Formlose Massen erlangen erst nach dem Aushärten ihre Festigkeit. Das in den Massen gebundene Wasser muss durch Bohrungen in der Ausmauerung und durch ein langsames Aufheizen des Ofens entweichen können. Wird der Ofen zu schnell auf Betriebstemperatur gebracht, können Schäden an der Ausmauerung auftreten. [2][3]

Den Abschluss bildet in diesem Beispiel, eine Verschleißschicht auf Kohlenstoffbasis. Diese Verschleißschicht ist auf die chemischen, thermischen und mechanischen Beanspruchungsarten des Ofens, sowie des Einsatzmaterials abgestimmt. [2][3]

Die isolierende Wirkung wird von den Feuerleichtsteinen und der Tonerde erzielt, die Graphitschicht dient primär dem Schutz der isolierenden Schichten vor den physikalischen und chemischen Angriffen des Einsatzmaterials. Diese Aufteilung spiegelt sich in der Schichtdicke und im Temperaturgradient in **Abbildung 1** wieder. [2][3]

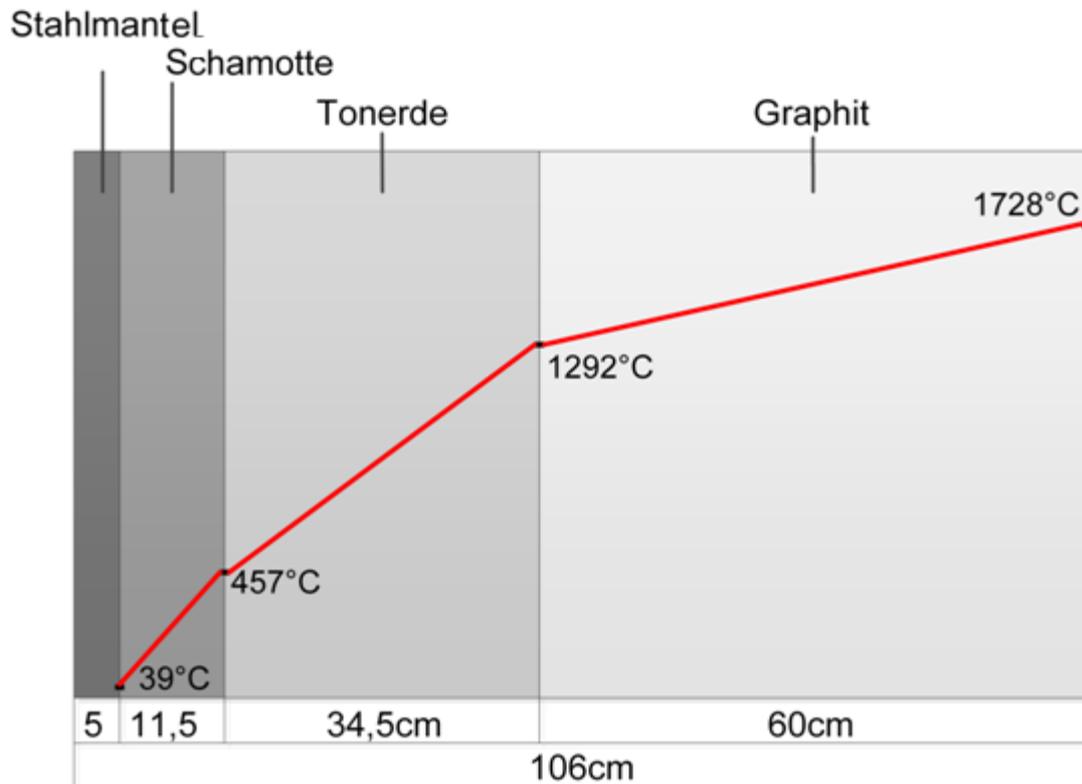


Abbildung 1: Isolationskonzept einer Feuerfestausmauerung [7]

Die Verschleißschicht wird während der Lebensdauer eines Ofens unweigerlich abgetragen und ist daher dementsprechend stark ausgeführt. Ist diese verbraucht und steigt die Temperatur in den weiter hinten gelegenen Schichten, muss die Feuerfestausmauerung neu zugestellt werden. Die Nutzungsdauer zwischen zwei Zustellungen wird als Ofenreise bezeichnet.

Die Stahlhülle trägt nur im geringen Maße zur Isolierung bei. Der Temperaturgradient der Schamotte beträgt $36,3 \text{ [}^\circ\text{C/cm]}$, der Tonerdeschicht $24,2 \text{ [}^\circ\text{C/cm]}$ und der Kohlenstoffschicht $7,26 \text{ [}^\circ\text{C/cm]}$.

Aufgrund des geringen Temperaturgradienten der Verschleißschicht kann diese abgetragen werden, ohne dass die Temperatur der Außenhülle merklich ansteigt. Ist diese verbraucht, trifft der Einsatzstoff auf die, meist nicht auf diesen abgestimmten, dahinterliegenden Schichten. Kombiniert mit dem hohen Temperaturgradienten der isolierenden Schichten steigt die Außentemperatur der Hülle schneller an. Eine Neuzustellung des Ofens sollte vor diesem Punkt erfolgen, da die dahinterliegenden Schichten für die nächste Ofenreise möglicherweise noch einmal eingesetzt werden können. [2][3]

Abbildung 2 zeigt die temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit von feuerfesten Werkstoffen. Grundsätzlich steigt die Wärmeleitfähigkeit bei steigender Temperatur bei Schamott- und Feuerleichtsteinen, sowie bei Chromerzsteinen. Ein über weite Bereiche konstantes Verhalten findet sich bei Steinen mit einem Aluminiumoxidgehalt von ca. 60% - 70%. Alle anderen zeigen eine teilweise sehr große Abnahme der Wärmeleitfähigkeit bei steigender Temperatur. [2]

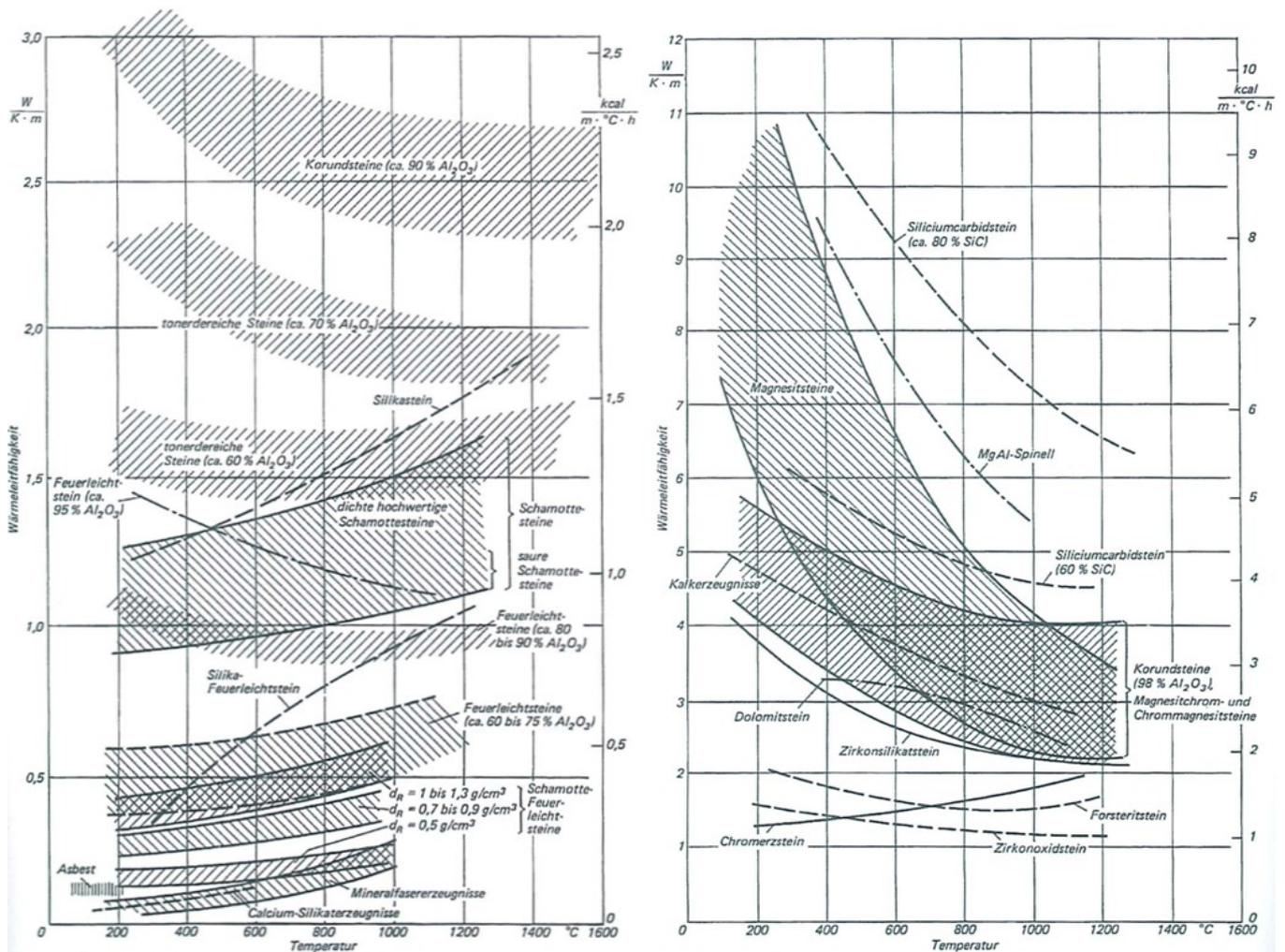


Abbildung 2: Wärmeleitfähigkeit von feuerfesten Werkstoffen [2]

Das primäre Auswahlkriterium der isolierenden Schichten ist die Wärmeleitfähigkeit, daher werden als erste Schicht in fast allen Anwendungen Feuerleichtsteine oder Schamottesteine verbaut. Die maximale Anwendungstemperatur ist mit ca. 1000 °C begrenzt, daher ist meist eine weitere isolierende Schicht erforderlich. **Abbildung 2** legt hier Produkte auf Al_2O_3 -Basis nahe, bevor die Verschleißschicht aufgebracht wird. [2]

2.1.2 Freeze-layer Konzept

Das Konzept eines freeze-layers besteht darin, durch Kühlung der Außenseite des Reaktors oder Ofens eine Schicht aus Prozessmaterial an der Innenseite der Feuerfestausmauerung erstarren zu lassen. [8]

Die Ofenauskleidung ist bei den meisten Verfahren mit hohen Prozesstemperaturen eine Feuerfestausmauerung (engl. refractory lining), daher wird das Konzept einer erstarrten Schicht im englischen Sprachgebrauch als freeze-lining, die erstarrte Schicht selbst als freeze-layer bezeichnet. Im deutschen Sprachraum wird die Bezeichnung Schlackepelz verwendet. Dieser Ausdruck stammt aus der Eisen- und Stahlindustrie, dort schützt eine erstarrte Schicht aus Hochofenschlacke das Feuerfestmaterial. Es gibt keine allgemein gültige Definition des Begriffes „freeze-layer“, in [8] wird folgende Definition formuliert:

Unter freeze-lining versteht man ein System, das aus der Feuerfestausmauerung der Außenhaut und einem Kühlsystem besteht, welches auf den Prozess abgestimmt ist. Jede Komponente dieses Systems ist auf einen effizienten Wärmetransport ausgelegt, wodurch die Feuerfesttemperaturen niedrig gehalten werden können und sich dadurch eine schützende Schicht an der heißen Seite der Feuerfestausmauerung ausbilden kann. Des Weiteren muss das System so konfiguriert sein, dass sich keine Barrieren, welche den Wärmetransport beeinträchtigen, ausbilden können. Auf diese Art können die üblichen temperaturbedingten Abnützungerscheinungen verhindert und eine lange Lebensdauer garantiert werden. [8]

In **Abbildung 3** wird das freeze-lining Konzept in einem Elektrolichtbogenofen dargestellt. Die Hülle besteht ebenfalls aus Stahl, welche von außen gekühlt und von einer Graphitschicht überdeckt wird. Die Graphitschicht zeichnet sich durch eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit aus. Untereinander und mit der Außenwand werden die Graphitsteine, wenn nicht vermeidbar, mit einer dünnen Schicht, der sogenannten ramming paste, verbunden. Die ramming paste ist ein feuerfester Zement, der sich ebenfalls durch eine hohe Wärmeleitfähigkeit auszeichnet. [8][9][10]

Die nächste Schicht bilden Hot Pressed Carbon Bricks, speziell hergestellte Steine oder Blöcke auf Kohlenstoffbasis, ebenfalls mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit. Diese Steine werden ähnlich den Feuerleichtsteinen verbaut. Je nach Größe der Blöcke und Stärke der Ausmauerung werden auch mehrere hintereinander gelegt und mit der ramming paste zusammengeklebt. [11]

Bei der Betrachtung von **Abbildung 3**, fällt im Vergleich mit **Abbildung 1** sofort die niedrige Ausmauerungstärke der beiden verbauten Schichten auf. Die zugestellte Ausmauerungstärke beträgt 52,7 cm, beim Isolationskonzept das Doppelte. Aufgrund der niedrigen Stärke und des niedrigen Wärmedurchgangswiderstandes der Ausmauerung, ist die Wandtemperatur der Ausmauerung viel niedriger als die Solidustemperatur des Einsatzmaterials. Kommt das flüssige Material mit der kalten Ausmauerung in Kontakt, erstarrt dieses und bildet eine Schutzschicht aus. Diese Schutzschicht wird als freeze-layer bezeichnet. Grundsätzlich vereint der freeze-layer die Eigenschaften der Isolations- und Verschleißschicht. [7]

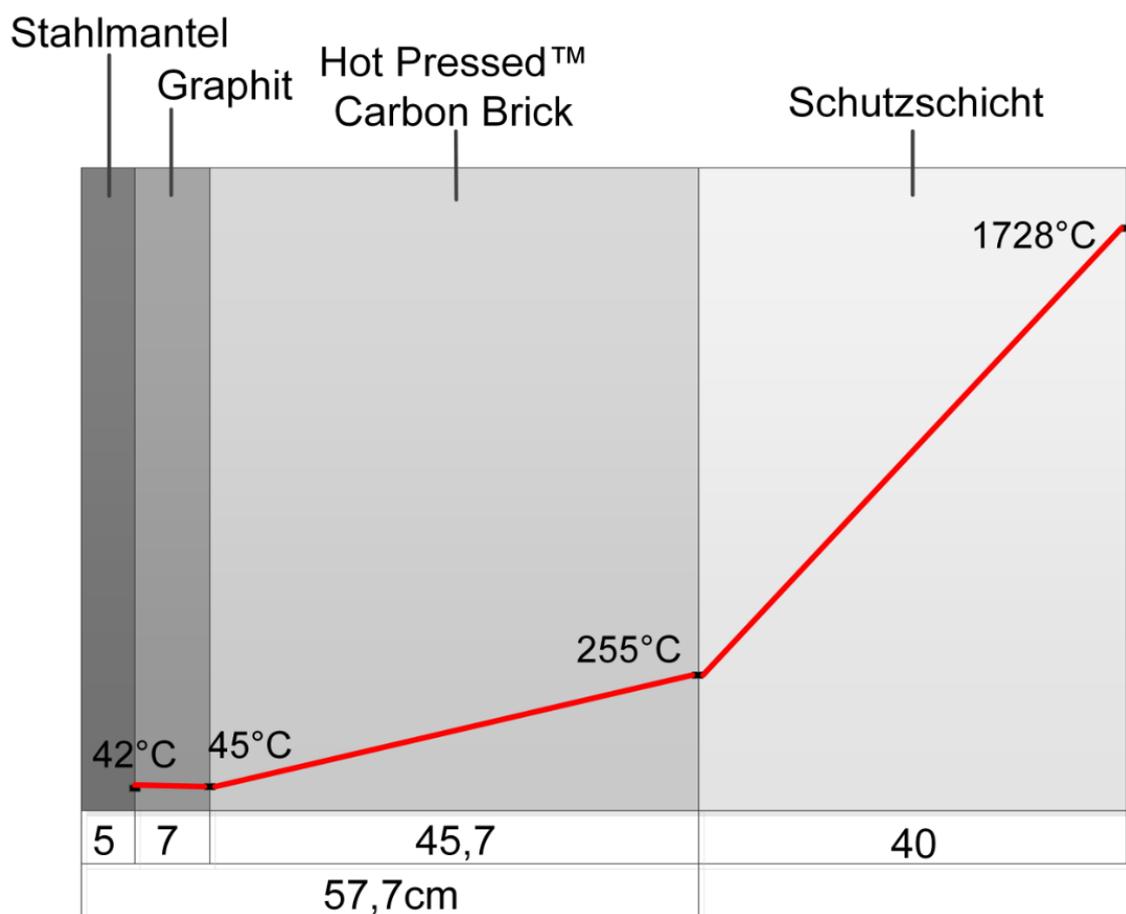


Abbildung 3: Freeze-lining Konzept einer Feuerfestausmauerung [7]

Der Temperaturgradient in **Abbildung 3** zeigt ein inverses Bild zu **Abbildung 1**. Der Temperaturgradient der Graphitschicht beträgt $0,42 \text{ [}^\circ\text{C/cm]}$, der Kohlenstoffblöcke $4,58 \text{ [}^\circ\text{C/cm]}$ und der des freeze-layers in diesem Beispiel $36,8 \text{ [}^\circ\text{C/cm]}$. Um hohe Prozesstemperaturen im Ofen zu ermöglichen, muss der freeze-layer isolierend wirken, da bei hoher Wärmeleitfähigkeit eine Schichtdicke des freeze-layers notwendig wäre, die sich nicht ausbilden kann. [12]

Der Temperaturgradient des freeze-layers entspricht in etwa dem Temperaturgradienten der Feuerleichtsteine des Isolationskonzeptes und wie **Tabelle 1** zu entnehmen, liegt die Wärmeleitfähigkeit der Schicht im Bereich der Feuerleichtsteine. **Tabelle 1** listet Wärmeleitfähigkeiten von Materialien auf, die bei freeze-lining Anwendungen eingesetzt werden. [9]

Tabelle 1: Wärmeleitfähigkeiten von freeze-layer Materialien[9][11] [13]

Material	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
Stahlmantel	52
Graphit	140
Hot Pressed Carbon Brick (NMA)	16
Micropore carbon block	14
Freeze-layer	ca. 1- 2
ramming pastes (je nach Inhaltsstoffen)	5 - 20
Semi-Graphit Bricks (NMD)	60

Graphit hat die höchste Wärmeleitfähigkeit, wird aber aufgrund seiner geringen Härte und seiner Reaktionsfreudigkeit mit Sauerstoff bei ca. 600 °C nur als erste Schicht eingesetzt. Bodenzustellungen werden durch in der Ausmauerung verlegte Kühlrohre gekühlt, diese sind ebenfalls mit einer Graphitschicht ummantelt. [10] [11] [14]

Beständig bei hohen Temperaturen sind Blöcke aus Kohlenstoff (NMA Hot Pressed Carbon Bricks). Diese werden als zweite Schicht über der Graphitschicht verbaut. Semi-Graphit Bricks (NMD) sind mit Graphit versetzte Kohlenstoffblöcke und haben eine höhere Wärmeleitfähigkeit. Werden dickere Ausmauerungsstärken benötigt, wie beispielsweise im Bereich des Abstiches, können Kombinationen der beiden Blöcke gleiche Wärmedurchgangswiderstände unterschiedlicher Ausmauerungsstärken realisieren. [10] [11] [14]

Um eine kontinuierliche Schutzschicht aus erstarrtem Einsatzmaterial zu ermöglichen, muss das Gleichgewicht aus dem Wachsen und der Abnutzung dieser Schicht gefunden werden. Für einen effizienten Schutz der Ausmauerung durch einen freeze-layer muss die Bildung dieser Schicht zu jeder Zeit garantiert sein. Diese darf aber nicht kontinuierlich weiterwachsen, da sonst eine Störung des Produktionsprozesses eintritt. Der Prozess der Gleichgewichtsbildung ist sehr komplex, da dieser von vielen veränderlichen Faktoren abhängt. Die Gewichtung der Faktoren in der Aufzählung erfolgt von oben nach unten. [12]

Folgende Faktoren haben einen Einfluss auf die Bildung der Schutzschicht:

- Spezifischer Energieeintrag in den Reaktor
- Temperatur des Reaktorraumes
- Dicke der Schicht
- Abgegebener Wärmestrom durch die Ausmauerung
- Zusammensetzung und Temperatur der Schlacke
- Zusammensetzung und Temperatur des Metallbads
- Art der Chargierung (kontinuierlich oder diskontinuierlich)
- Eigenschaften der Feuerfestausmauerung
- Kühlung der Außenseite des Reaktors
- Temperatur und Homogenität des eingebrachten Materials
- Interaktionen zwischen Schlacke und Metallbad
- Bildung von niedrigschmelzenden Phasen

Der spezifische Energieeintrag in den Reaktor hat den größten Einfluss, da er sehr fein geregelt werden kann und alle Temperaturen sowie die Dicke der Schicht direkt proportional dazu sind. [12]

Die Temperatur des Reaktorraumes, der Einsatzstoffe und die Dicke der Schicht stehen ebenfalls im direkten Verhältnis zueinander. Die Schichtdicke verändert sich solange, bis der zugeführte Wärmestrom aus dem Reaktor (direkt proportional zur Temperatur) und der abgeführte Wärmestrom durch die Ausmauerung (direkt proportional zur Schichtdicke des freeze-layers) im Gleichgewicht stehen. [12][15]

Die Art des Chargierens hat ebenfalls großen Einfluss auf den freeze-layer. Eine diskontinuierliche Chargierung ist grundsätzlich ungünstig, da sich die verschiedenen Gleichgewichte bei jeder Chargierung neu einstellen müssen. [12][15]

Aufgrund der Anforderungen zur Ausbildung eines freeze-layers, müssen die Eigenschaften der Ausmauerung (Wärmeleitfähigkeit, Dicke usw.) und Kühlung (Leistung, Abdeckung) gewisse Anforderungen erfüllen. [12]

Die Temperatur und Homogenität des eingebrachten Materials ist bei industriellen Anwendungen nur von untergeordneter Bedeutung, da das Volumen der Aggregate eventuell vorhandene Abweichungen ausgleicht. [12][15]

Werden Mengen, die das Aggregatvolumen um ein vielfaches übersteigen, eingebracht sind Änderungen der Zusammensetzung und der Dicke des freeze-layers zu erwarten. [12]

Interaktionen zwischen Schlacke und Metallbad müssen sehr heftig und exotherm ausfallen, um Störungen des freeze-layers an der Metall-Schlackegrenze zu verursachen. [16]

Die Bildung von niedrigschmelzenden Phasen ist ebenfalls bei kleinen Aggregaten und in Kombination mit inhomogenen Einsatzmaterialien zu beachten, da diese eher an der kalten Ausmauerung kondensieren und so einen minder stabilen freeze-layer ausbilden. [12]

2.1.3 Detaillierter Aufbau einer Ausmauerung mit dem freeze-lining Konzept

Ein freeze-lining besteht immer aus dem kompletten System einer auf Wärmetransport ausgelegten Ausmauerung, einer Kühlung und eines freeze-layers. Oft werden Teile dieser Systeme, welche die Bildung einer erstarrten Schutzschicht ermöglichen, irrtümlich als freeze-lining bezeichnet. Viele Öfen, die mit dem Ausmauerungskonzept der Isolation werden von außen gekühlt. Aufgrund des Verschleißes der Ausmauerung nimmt der Wärmedurchgangswiderstand ab, bis das System in der Lage ist, einen freeze-layer auszubilden. Somit ist eine erstarrte Schicht vorhanden, aber die Kriterien, wie sie in [8] und [9] gefordert und im vorangegangenen Kapitel beschrieben sind, erfüllen sie nicht. [8]

Die Ausmauerung muss auch beim freeze-lining System die gleichen Anforderungen erfüllen wie beim Isolationskonzept. Nachfolgend wird der detaillierte Aufbau einer Ausmauerung anhand des Beispiels des Hochofens B der Salzgitter Flachstahlwerke beschrieben. [13]

Seitenwände:

Bei den Seitenwänden muss unterschieden werden, ob diese im Bereich des Abstiches liegen, oder nicht. Der Hochofen B, wurde vom Isolationskonzept auf das freeze-layer Konzept umgestellt. Die Wandstärke beim Isolationskonzept betrug im Bereich des Abstiches 2,5 Meter und an den Seitenwänden über einen Meter. [13]

Beim freeze-lining beträgt die Wandstärke der Seitenwände normalerweise unter einem Meter, um die Wärmedurchgangswiderstände niedrig und die Materialkosten gering halten zu können. Eine höhere Wandstärke wird im Bereich des Abstiches verwendet und ist am restlichen Umfang nicht notwendig. **Abbildung 4** zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer Seitenwand. [17]

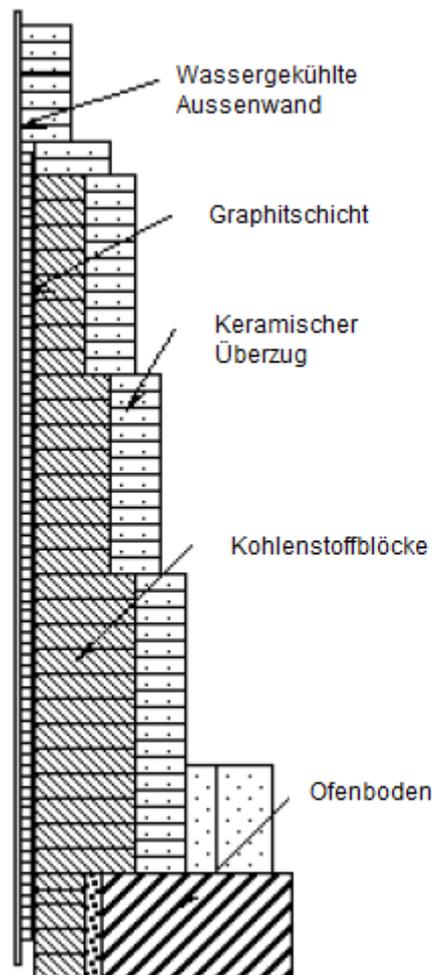


Abbildung 4: Seitenwand eines freeze-lining Konzeptes [8]

Die Kühlung an der Außenwand muss in der Lage sein, die eingebrachte Energie abzuführen. Stand der Technik sind Film- oder Rieselkühlungen, bei denen ein kontinuierlicher Film aus Wasser an der Außenwand herabrinnt. [17]

Eine erste Schicht aus Graphit ist optional und wird bevorzugt in Elektrolichtbogenöfen eingesetzt. An den Elektrodenspitzen tritt punktuell ein sehr hoher Wärmestrom auf. Durch die außerordentlich große Wärmeleitfähigkeit des Graphites werden die Zonen konzentrierten Energieeintrages großflächiger an die gekühlte Außenwand gebracht und die Bildung von „Hot-Spots“ an der Außenwand verringert. [8]

Die Wand ist aus dünnen Steinen aufgebaut, um einen engen Formschluss an die Außenwand zu gewährleisten. Ein engerer Formschluss miniert den Einsatz von ramming pastes und sorgt für einen effizienteren Wärmeabtransport. [11] [13]

In einem optimalen Aufbau ist keine ramming paste zwischen der Kühlung, dem Graphit und den Ringen aus Kohlenstoffblöcken erforderlich. Die ramming paste hat im Vergleich zu den Blöcken eine geringere Wärmeleitfähigkeit und kann beim Einsatz über einen längeren Zeitraum austrocknen und porös werden und somit eine isolierende Schicht aufbauen. [13] [17]

Hinter der Graphitschicht erfolgt der Verbau der Kohlenstoffblöcke. Kleine Kohlenstoffblöcke bieten eine Reihe von Vorteilen gegenüber großen. Kleine Blöcke haben eine geringe Volumszunahme und es können heißere Zonen unabhängig von kalten Zonen expandieren, dadurch entstehen geringere Druckspannungen innerhalb der Ausmauerung. Kleinere Blöckgrößen lassen sich enger an die davorliegende Schicht oder die Außenhaut anpassen und minimieren so den Einsatz von ramming pastes. Größere Blöcke expandieren stärker und sind dadurch anfälliger für Rissbildung. Besonders kritisch ist die Bildung von Querrissen, diese stellen eine Wärmebarriere dar. [16]

Die Fugen zwischen den Kohlenstoffblöcken müssen mit einer geeigneten ramming paste verbunden werden. Diese hat die Aufgabe die Fugen auszufüllen, die Blöcke in ihrer Position zu fixieren, die Wärmeleitung zu garantieren und die Volumszunahme zu kompensieren, um so wenig Druckspannungen als möglich innerhalb der Ausmauerung aufzubauen. [16]

Beim Anfahren eines Ofens ist noch keine Schutzschicht vorhanden. Feuerfeste Werkstoffe auf Kohlenstoffbasis müssen vor einer oxidierenden Ofenatmosphäre geschützt werden. Daher wird für die Inbetriebnahme und den Aufheizvorgang des Ofens eine Opferschicht aus Keramik oder eines auf den Ofen abgestimmten Materials aufgebracht. Diese schützt die Kohlenstoffsteine vor den vorherrschenden oxidierenden Bedingungen und dem ersten Materialeintrag beim Anfahren. Teile dieses Überzuges können in die Schutzschicht integriert werden, jedoch wird erwartet, dass sich die Opferschicht nach kurzer Produktionszeit komplett abbaut. [13]

In **Abbildung 5** ist eine Zeichnung eines Hochofens mit dem freeze-lining Konzept zu sehen. Die Gesamtdicke der Seitenwand beträgt 900 mm am Umfang und 1800 mm im Bereich des Abstiches.

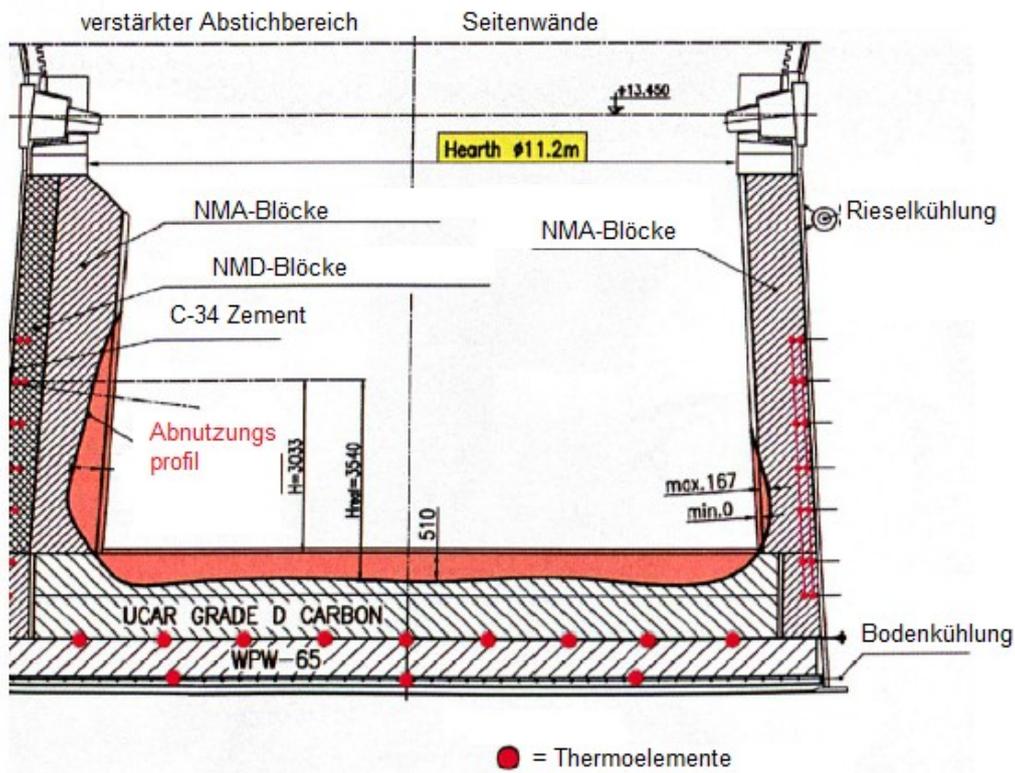


Abbildung 5: Zustellung eines Hochofen mit Abnutzungserscheinungen [17]

Seitenwände im Abstichbereich

Beim Abstich wird in periodischen Abständen das Auslaufen des flüssigen Produktes oder der Schlacke aus dem Ofen ermöglicht. Die Abstichlöcher sind wiederverschließbare Öffnungen im Ofen, durch welche die Produkte austreten. Nach Öffnung des Abstiches durch eine Sauerstoffflanze oder einen Bohrer, wird durch die hohe Strömungsgeschwindigkeit des geschmolzenen Materials das Abstichloch ausgeschwemmt und dadurch vergrößert. Nach Ende des Abstiches wird das Loch durch das Einbringen einer Stopfmasse wieder verschlossen. [11]

Durch die Variation der Pegelstände von Schlacke und Metallbad wird der freeze-layer beansprucht. Wird der Abstich durchgeführt, rinnt zuerst das Metall, anschließend die Schlacke aus dem Ofen. Die Schlacke hat eine unterschiedliche Temperatur und Zusammensetzung gegenüber dem Metallbad und dem vom Metallbad ausgebildeten freeze-layer. Der Ofen wird nie ganz geleert, so kann die Schlacke mit dem freeze-layer des Metallbades interagieren. In der Zeit zwischen den Abstichen steigt der Pegel des Metallbades kontinuierlich an und tritt in Wechselwirkung mit dem freeze-layer der Schlacke. Dadurch wird der freeze-layer entfernt und es erfolgt ein Angriff des Feuerfestmaterials am gesamten Umfang der Seitenwände. [18]

Im Bereich des Abstichloches erfolgt ein schnellerer Abtrag des freeze-layers durch die Konvektion des ausfließenden Materials. Dadurch werden der freeze-layer und die Ausmauerung stärker angegriffen, was durch erhöhte Wandstärken kompensiert werden muss. Ein Vergleich der Abnutzungsprofile zwischen dem Bereich des Abstiches und einer normalen Seitenwand kann **Abbildung 5** entnommen werden. [18]

Die Kühlung erfolgt gleichmäßig am Umfang des Aggregates, die verstärkte Wand im Bereich des Abstiches muss den gleichen Wärmedurchgangswiderstand aufweisen wie der restliche Umfang. Erreicht wird das durch den Verbau unterschiedlicher Materialien, dies wird ebenfalls in **Abbildung 5** dargestellt. Die Seitenwand besteht in diesem Ofen aus NMA-Blöcken, die Wand im Bereich des Abstiches aus einer Kombination von NMA- und NMD-Blöcken. Da NMD-Blöcke eine höhere Wärmeleitfähigkeit aufweisen, kann über den gesamten Umfang des Ofens ein konstanter Wärmedurchgangswiderstand realisiert werden. [13]

Die höhere Wärmeleitfähigkeit der NMD-Blöcke bietet auch Vorteile beim Verschließen des Abstichloches. Bei diesem Vorgang wird eine kalte Abstichmasse in das Loch eingebracht, die durch die Temperatur in der Ausmauerung aushärtet. Aufgrund der höheren Wärmeleitfähigkeit erfolgt eine schnellere Aushärtung der Abstichmasse.[11]

Boden

In **Abbildung 6** ist der Boden des Hochofens abgebildet. Im Gegensatz zu den kleinen Blöcken an den Seitenwänden werden im Boden möglichst große Blöcke verbaut. Größere Blöcke bedeuten eine geringere Anzahl der Fugen, weniger Blöcke und eine schnellere Zustellung. [13]

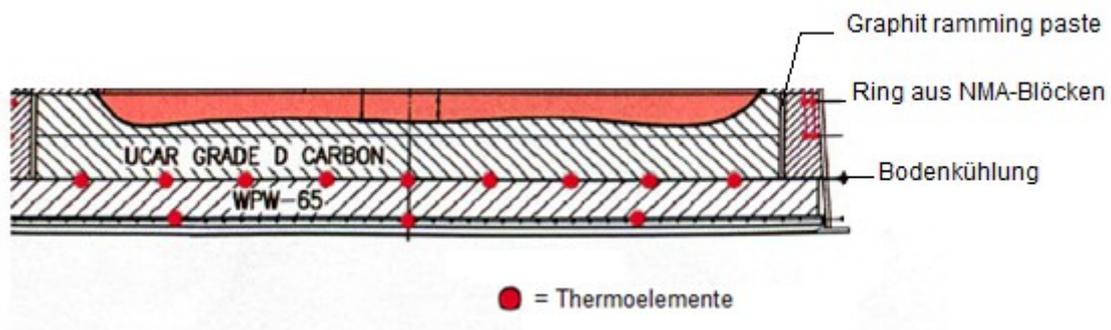


Abbildung 6: Boden eines Hochofens mit dem freeze-layer Konzept [17]

Der Boden besteht aus 3 Schichten Kohlenstoffblöcken jeweils 750mm dick. Zwischen der äußersten und der mittleren Schicht sind in Graphit eingebettete Kühlrohre verlegt, welche die zur Ausbildung eines freeze-layers benötigte Wärmemenge abtransportieren. [13]

Der äußere Rand des Bodens ist mit einem Ring aus NMA-Blöcken umgeben. Dies hat den Zweck, den feuerfesten Zement (ramming paste) aufgrund seiner geringeren Wärmeleitfähigkeit weiter entfernt von der Kühlung des Bodens und in geringeren Mengen zu verarbeiten. Sollte das Eisenbad den Boden bis zu diesem Punkt angreifen, ist der Ring aus NMA-Blöcken ein zuverlässigerer Schutz der Hülle als der Zement [16]. Die NMA-Blöcke sind an den Zylinder der Hülle angepasst, um die benötigten Mengen an Zement so gering als möglich zu halten. Als Bindemittel zwischen den Kohlenstoffblöcken und dem NMA Ring ist eine spezielle, auf Graphit basierende ramming paste verwendet worden. Unter thermischem Einfluss dehnt sie sich auf das bis zu Dreifache des ursprünglichen Volumens aus, ohne eine großen Druck auf die Blöcke auszuüben. Dadurch wird die thermische Expansion der Blöcke ermöglicht und sichergestellt, dass sich keine Wärmebarrieren zwischen den Blöcken und der Kühlung ausbilden.[13]

2.1.4 Beschädigungen des freeze-linings

Zusätzlich zu den erwähnten thermischen, mechanischen und chemischen Beanspruchungsarten ist beim freeze-lining Konzept eine weitere Beschädigungsart zu beachten: die Ausbildung von Wärmebarrieren. Diese sind beim Isolationskonzept gewünscht, beim freeze-lining erschweren sie die Ausbildung des freeze-layers. Aus diesem Gründen ist beim freeze-lining eine zusätzlich Überwachung notwendig. [11]

Jegliche Wärmebarrieren senken die Effektivität des freeze-linings. In **Abbildung 7** ist der Verlauf der Thermoelemente (TE) bei der Ausbildung einer periodischen Schutzschicht zu sehen. [17]

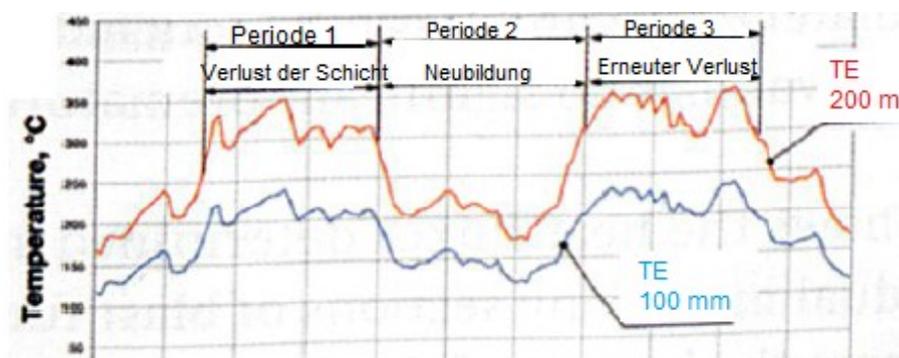


Abbildung 7: Periodische Ausbildung einer Schutzschicht [17]

Die Abbildung beschreibt den Verlauf von 2 Thermoelementen, 100 mm und 200 mm tief in der Ausmauerung verbaut. An der Ordinate ist die Temperatur, an der Abszisse die Zeit aufgetragen. Steigende Temperaturen der Thermoelemente zeigen einen Rückgang der Schichtdicke an. Nach einer Zeit von ca. 5 Wochen bildet sich wieder eine Schicht aus, um nach ungefähr dem gleichen Zeitraum wieder zu verschwinden. In den Abschnitten mit geringerer Schichtdicke wird der feuerfeste Werkstoff stärker angegriffen, daher ist den Gründen dieser periodischen Ausbildung nachzugehen. Mögliche Gründe sind die Variation der Prozessparameter oder des Einsatzmaterials, Probleme mit der Kühlung oder Zonen geringerer Festigkeit des freeze-layers sowie der Ausmauerung. [17]

In **Abbildung 8** ist die Spaltbildung in der Ausmauerung zu sehen. Diese tritt entweder lokal oder global auf. Lokale Spaltbildung entsteht in den Zementfugen zwischen den einzelnen Kohlenstoffblöcken. Der entstehende Luftspalt isoliert lokal besser und es kann zu kleinflächigen Änderungen der Schichtdicke kommen. Für die lokale Spaltbildung gibt es keine Reparaturmaßnahmen, die Schäden bleiben aber minimal, da meist nur einzelne Fugen betroffen sind. Ähnlich der lokalen Spaltbildung, ist auch eine Rißbildung in den Blöcken eine nicht zu reparierende Wärmebarriere. [17]

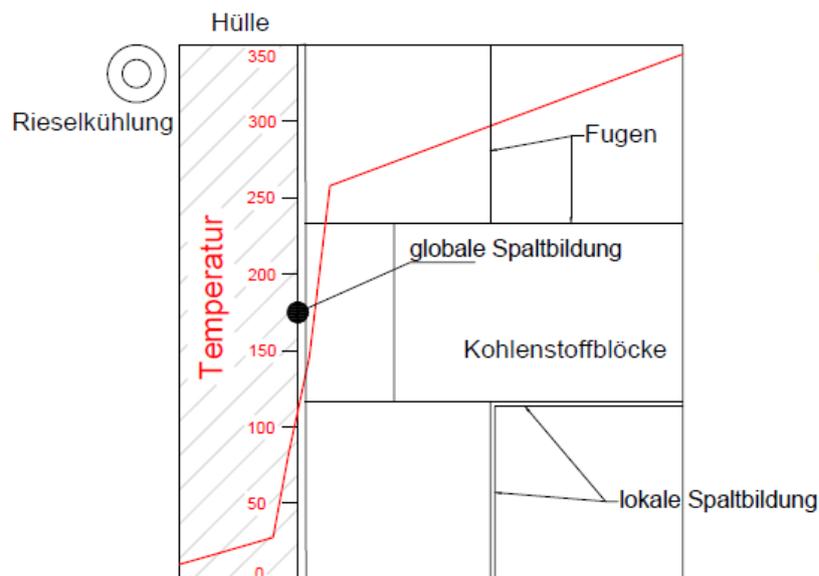


Abbildung 8: Spaltbildung in freeze-linings [17]

Die globale Spaltbildung entsteht meist durch die Abhebung der kompletten Ausmauerung von der Kühlung. Dadurch bildet sich eine isolierende Schicht, welche durch einen Sprung im Temperaturverlauf sichtbar wird, siehe **Abbildung 8**. Die Auswirkungen der globalen Spaltbildung sind gravierender, da über große Bereiche des Ofens der Wärmedurchgangswiderstand ansteigt. Die Reparatur erfolgt durch das Hinterspritzen des Spaltes durch eine wärmeleitfähige Stampfmasse. [17]

Bilden sich die oben genannten Wärmebarrieren aus, kommt es zu einem weniger effektiven Wärmeabtransport. Dies kann zur Folge haben, dass sich der freeze-layer auflöst und die Ausmauerung direkt angegriffen wird. Meist bilden sich Zonen geringerer Festigkeit aus, welche eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen und vom geschmolzenen Material schneller abgetragen werden. Dadurch wird die Isolationswirkung des freeze-layers von den Kohlenstoffblöcken übernommen, was zur raschen Degradation der Ausmauerung führt. Eine Zone geringerer Festigkeit mit dem Temperaturverlauf ist in **Abbildung 9** zu sehen. Probleme mit den Zonen geringer Festigkeit gibt es bei der Überwachung. Die Thermoelemente sind nur bis in eine gewisse Tiefe verbaut, Zonen geringer Festigkeit entstehen sehr tief in der Ausmauerung. Dadurch ist keine plötzliche Veränderung der Temperatur, wie beispielsweise bei der globalen Spaltbildung, erkennbar. Durch die schnellere Verminderung der Wandstärke ist nur ein negativer Trend an den Thermoelementen erkennbar und kein spontaner Anstieg der Temperatur. [11][17]

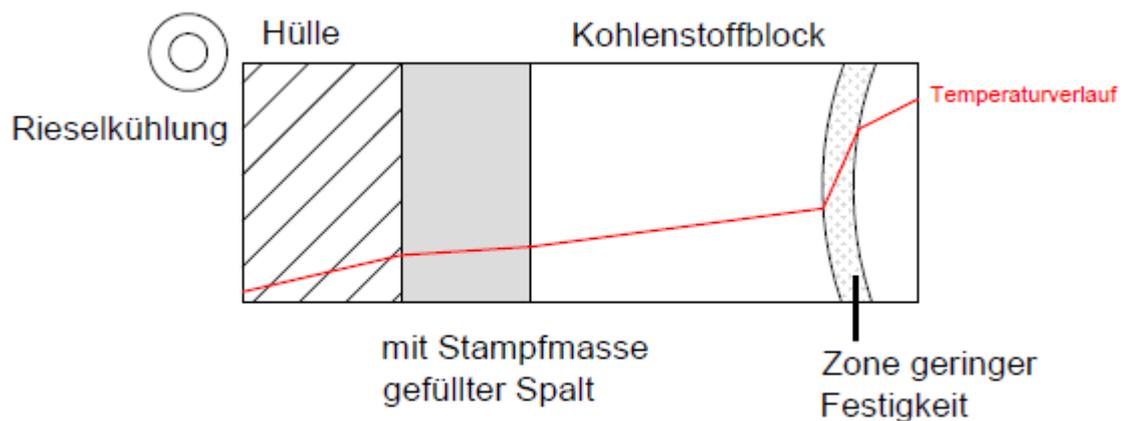


Abbildung 9: Ausbildung von Zonen geringerer Festigkeit [17]

Wärmebarrieren können sich auch an der Außenhülle bilden. Ablagerungen an der Hülle oder Verdampfungsrückstände mindern die Kühlleistung einer Rieselkühlung erheblich. Diese sind einfach zu entfernen, wenn Verdampfungsrückstände häufiger auftreten, durch eine Erhöhung der Kühlleistung zu kompensieren. [17]

2.1.5 Vergleich der beiden Konzepte

In **Tabelle 2** sind die Vor- und Nachteile beider Konzepte dargestellt.

Tabelle 2: Konzeptvergleich freeze-layer - Isolation

Freeze layer	Isolation
+ Niedrigere Ausmauerungstärke	+ Sicherheitsreserven
+ Regenerative Schutzschicht	+ Keine Kühlung
+ Inert gegenüber dem Einsatzmaterial	+ Variation der Prozessparameter leichter
+ Aggressive Prozessbedingungen möglich	- Wartung und Reparatur
+ Längere Lebensdauer	- Ausmauerung auf Einsatzstoff abgestimmt
+ Keine Wartung nötig	- längere Stillstands- und Anfahrzeiten
+ Billiger	
- Kühlung notwendig	
- Keine Sicherheitsreserven	
- Komplexes Regelverhalten	
- Schutzschicht mindert Produktqualität	
- Energieverbrauch	

Lebensdauer, Wartung, Reparatur

Die Lebensdauer einer mit dem freeze-layer Konzept betriebenen Anlage ist höher als eine vergleichbare mit klassischer Feuerfestausmauerung. Bei jeglichem Angriff wird zuerst die regenerative Verschleißschicht abgetragen, anschließend erst der feuerfeste Werkstoff.

Die Reparatur gestaltet sich schwieriger, da beispielsweise ein Aufspritzen einer Spritzmasse auf die Feuerfestausmauerung und somit die Reparatur von einzelnen Schwachstellen wie beim Isolationskonzept nicht möglich ist. Selbst wenn kein freeze-layer vorhanden wäre und die Reparaturmasse direkt auf die Kohlenstoffblöcke aufgetragen werden könnte, ist die Verbindung nicht kompakt genug. Die Entstehung von Hohlräumen und somit einer besseren Isolierung wäre unvermeidbar und die Bildung eines freeze-layers würde erschwert werden.

Die Reparaturintervalle des Abstichloches durch die mechanischen Belastungen beim Abstich sind beim freeze-layer ähnlich wie beim Isolationskonzept.

Sicherheit

Bei richtiger Wahl der Prozessparameter, bei denen die Bildung einer freeze-layer Schicht garantiert ist, bietet der freeze-layer Sicherheitsvorteile gegenüber dem Isolationskonzept. Chemischer und thermischer Verschleiß der eingesetzten feuerfesten Werkstoffe wird durch die regenerative Schutzschicht und die niedrigeren Temperaturen in der Ausmauerung fast vollständig unterbunden. Mechanische Verschleißerscheinungen, wie beispielsweise Erosion durch das Eintragsmaterial werden ebenfalls vermieden. Ermüdungserscheinungen, die im Inneren der Feuerfestausmauerung wirken, wie beispielsweise Temperaturspannungen oder Temperaturwechsel werden abgeschwächt.

Tabelle 3 vergleicht die Wandtemperaturen anhand des Hochofens B der Salzgitter Flachstahl. Dieser wurde von einem Isolationskonzept auf ein freeze-lining Konzept umgestellt, daher sind Daten für beide Konzepte am selben Ofen verfügbar.

Tabelle 3: Temperaturvergleich des Hochofens B der Salzgitter Flachstahl mit und ohne freeze-layer [10]

Konzept	Status	Wandinnen-temperatur	Wärmestrom
freeze-layer	keine Schicht	1227 °C	20.4 kW/m ²
freeze-layer	Schicht	689°C	11.3 kW/m ²
Isolation	keine Schicht	1357 °C	10.7 kW/m ²

Die Temperaturen an der heißen Seite der Ausmauerung konnten um fast die Hälfte reduziert werden, wodurch die oben genannten Beanspruchungen deutlich reduziert werden. Aufgrund der mangelnden Sicherheitsreserven ist eine genauere Überwachung und Regelung der Anlage notwendig. Eine Variation der Prozessparameter (Temperatur, Materialeintrag usw.) ist beim Isolationskonzept unproblematischer.

Energieverbrauch

Hohe Wärmeleitfähigkeiten und eine Kühlung des Ofens verschlechtern den Wirkungsgrad. In **Tabelle 3** können die durch die Ausmauerung abgegebene Wärmeströme abgelesen werden. Ohne die Bildung eines freeze-layers ist der abgegebene Wärmestrom durch die Ausmauerung verständlicherweise höher. Bei der Ausbildung eines stabilen freeze-layers beträgt der Wärmestrom 11,3 kW/m², beim Isolationskonzept 10,7 kW/m². Bei der Ausbildung eines geringfügig dickeren freeze-layer ist sogar eine Effizienzsteigerung möglich.

Kosten, Stillstands- und Anfahrzeiten

Unter Berücksichtigung aller Kosten der Ausmauerung, ist das freeze-lining Konzept ökonomischer. Die Stärke der Ausmauerung ist geringer, aufgrund der höherwertigen Materialien, die verbaut werden, ist der reine Materialpreis beim freeze-lining Konzept höher. Die zusätzliche Kühlung ist ebenfalls ein Kostenfaktor, steht aber in keinem Verhältnis zum Verlust der Produktionszeit durch Wartung, Reparatur und längere Aufheiz- und Zustellzeiten aufgrund der höheren Stärke der Ausmauerung.

Insbesondere bei den Zustell- und Aufheizzeiten kann Zeit eingespart werden. Bei einer plastischen Stampfmasse muss der Ofen sehr schonend angefahren werden, um das in der Masse gebundene Wasser auszutreiben. Ein zu rasches Anfahren beim Isolationskonzept sorgt, aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit, für einen hohen Temperaturgradienten. Dies sorgt für zusätzlich Druckspannungen innerhalb der Ausmauerung.

Die Kohlenstoffblöcke werden bereits fertig ausgeheizt verbaut, aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit kann der Ofen innerhalb eines kurzen Zeitraums auf Betriebstemperatur gebracht werden.

Beim freeze-layer negativ hervorzuheben, ist der Abbau der initialen Schutzschicht. Diese schützt die Kohlenstoffausmauerung vor der oxidierenden Ofenatmosphäre und wird innerhalb kurzer Zeit abgebaut. Die abgebaute Schutzschicht mindert die Produktqualität.

3 Anlagenbeschreibung

Das RecoDust Verfahren ist als pyrometallurgisches Verfahren zum Recyceln von zinkhaltigen Stahlwerksstäuben konzipiert. Es nutzt die selektive Verflüchtigung von Zink, um es von seinen Begleitelementen abzutrennen. Das Prozessschema ist in **Abbildung 10** dargestellt.

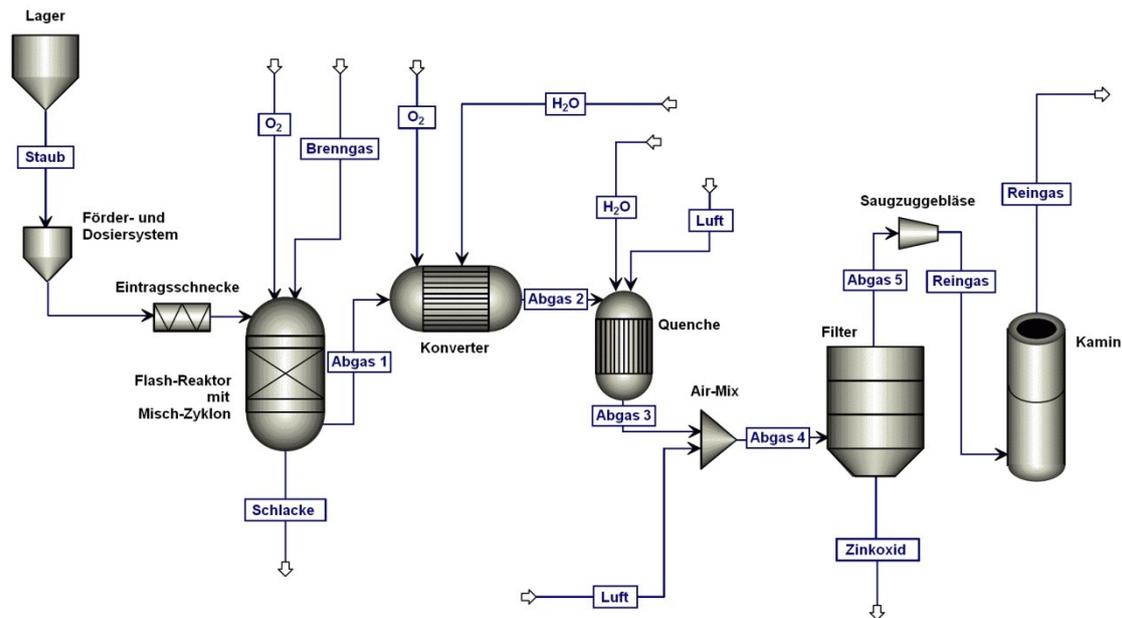


Abbildung 10: Prozessschema des RecoDust Verfahrens [19]

Der Staub wird angeliefert und vom Förder- und Dosiersystem übernommen. Aufgrund der flexiblen Aufnahmemöglichkeit des Systems, können sowohl 200 Liter Stahlfässer als auch 1m^3 Big-Bags mit variablen Außenabmessungen als Transportbehältnisse genutzt werden.

Von der Anlieferungsstation wird der Staub diskontinuierlich über eine Schnecke und ein Becherwerk in den Dosierbehälter gefördert. Über die Dosierschnecke und die Eintragsschnecke wird das Einsatzmaterial kontinuierlich in den Mischzyklon, welcher ein homogenes Sauerstoff/Staub Gemisch erzeugt, gefördert. Die Optimierung des Mischzyklones ist ein Schwerpunkt der Arbeit, auf seine Funktionsweise wird in Kapitel 4.1 genau eingegangen. Das Gemisch wird in den Reaktorraum gefördert und unter reduzierenden Bedingungen bei ca. 1700°C aufgeschmolzen. Die Brennerflamme des Erdgas-Sauerstoffbrenners wird unterstöchiometrisch geführt, sodass sich Zink und andere, bei diesen Bedingungen dampfförmig vorliegende, Komponenten des Staubes in die Gasphase verflüchtigen. Die schmelzflüssige Schlacke, welche einen hohen Anteil an Metall- und Metalloxiden aufweist, sammelt sich am Boden und wird dort diskontinuierlich abgestochen.

Das Abgas 1 tritt aus der Brennkammer aus und wird durch das Steigrohr in den Konverter geführt, in welchem die brennbaren Bestandteile (CO und H₂) nachverbrannt werden. Durch eine Zweistoffdüse wird Sauerstoff, Druckluft und Wasser eingedüst. Der eingedüste Sauerstoff verbrennt die im Abgas enthaltenen brennbaren Bestandteile überstöchiometrisch ($\lambda=1,4$) und oxidiert das im Abgas enthaltene metallische Zink zu Zinkoxid. Die Druckluft dient als Zerstäubermedium für das eingedüste Wasser, durch welches die gleichzeitige Abgaskühlung erfolgt. Abgas 2 tritt am Konverter mit ca. 800°C aus und wird in die Quenche geführt.

Dort wird durch Zerstäubung von Wasser mit Druckluft das Abgas 2 weiter abgekühlt und verlässt als Abgas 3 die Quenche mit ca. 150°C. Die Kühlung erfolgt ähnlich wie im Konverter mittels Zweistoffdüsen, mit Wasser als Kühlmedium und Druckluft als Zerstäubermedium. Aufgrund der hohen Wasserbeladung durch die Kühlung wird mithilfe des „Airmix“- Gebläses kontrolliert Luft zugegeben. Dies kühlt das Abgas weiter ab und senkt den Taupunkt und die Wasserbeladung des austretenden Abgases 4.

Im Filterhaus wird das feste Zinkoxid aus dem Abgas 4 abgeschieden und diskontinuierlich als Zinkstaub abgezogen. Abgas 5 verlässt als Reingas den Schlauchfilter und gelangt über das Saugzuggebläse und den Kamin in die Atmosphäre.

4 Optimierungsarbeiten am Flash-Reaktor

Die Umbauarbeiten an der Flash-Reaktor Pilotanlage können in 3 Themenbereiche gegliedert werden:

- Optimierung des Flash-Reaktor Kopfes
- Adaptierung der Mess- und Regeltechnik
- Implementierung der neuen Komponenten in die Funktionsbeschreibung, sowie deren Neustrukturierung

4.1 Optimierung des Flash-Reaktor Kopfes

Unter dem Begriff „Flash-Reaktor Kopf“ ist der Sammelbegriff für die Brenneinheit, die Eintragsschnecke und den Mischzyklon zu verstehen. Er ist am oberen Ende der Brennkammer positioniert und dient als Schnittstelle zwischen Eintragsschnecke, Brennerlanze und Brennkammer. Hier wird ein Teil des zur Verbrennung benötigten Sauerstoffes abgezweigt und eingeblasen. Dieser eingeblasene Sekundärsauerstoff, erzeugt mit dem von der Eintragsschnecke dosierten Staub ein homogenes Sauerstoff/Staub-Gemisch, welches in einer rotierenden Bewegung am unteren Ende des Kopfes austritt und in die Brennkammer strömt. Der verbleibende Sauerstoff (Primärsauerstoff) wird zusammen mit dem Brenngas über die Brennerlanze geführt und bildet eine Flamme aus, in der das Gemisch aufgeschmolzen wird.

4.1.1 Modellierung des Flash-Reaktor Kopfes im Urzustand und Beschreibung der Einzelteile

Der Flash-Reaktor Kopf im Urzustand diente als Basis für die Umbauarbeiten und die Simulation. Die ersten Schritte dazu waren die komplette Vermessung des Kopfes und die nachfolgende Erstellung eines detaillierten 3D-Modelles im Programm Autodesk Inventor. Im Zuge der Vermessung wurde der komplette Kopf in seine Einzelteile zerlegt. **Abbildung 11** zeigt die Hauptbestandteile des Kopfes: Den oberen Teil, den konischen Mittelteil mit der ringförmigen Zuleitung des Sekundärsauerstoffes, der an drei Stellen eingeblasen wird, sowie den Kühltopf als untersten Teil.

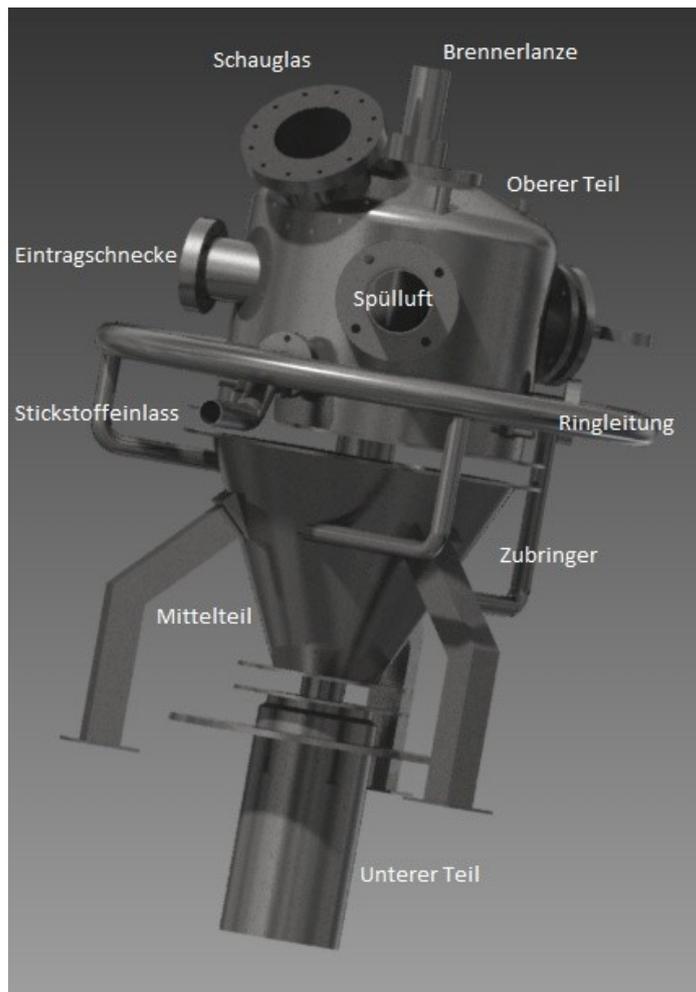


Abbildung 11: Flash-Reaktor Kopf im Urzustand

Im oberen Kopfteil wird der Staub von der Eintragsschnecke in den Mischzyklon gefördert. Für eine gute Durchmischung des Staubes muss dieser möglichst feinverteilt und gleichmäßig in den Mischzyklon gefördert werden. Bei der Eintragsschnecke handelt es sich um eine Vollrohrschnecke, bei der das Rohr allerdings größtenteils als Lochblech (Rv 4-8) ausgeführt ist, um einen definierten Staubabwurf (Staubvorhang) zu ermöglichen. Die Konstruktion der Eintragsschnecke gewährleistet einen gleichmäßigen Eintrag von Einsatzmaterial in den Mischzyklon. Ein konzentrierter Eintrag des gesamten Materials am Ende der Schnecke würde die Erfassung der Partikel durch den Sekundärsauerstoff erschweren. [20]

Neben der Eintragsschnecke trägt der obere Teil die Anschlüsse für den Stickstoff und das Spülluftgebläse. Durch diese beiden Anschlüsse können bei Bedarf gasförmiger Stickstoff oder Luft in die Anlage geleitet werden. Des Weiteren sind ein Schauglas, Druck- und Temperatursensoren, sowie einige Flansche - die derzeit keine Funktion besitzen, aber als Aufhängevorrichtungen des Kopfes am Kran dienen - verbaut. Die Aufnahme und Führung der Brennerlanze sind zentral am oberen Kopfteil angebracht.

Der konische Mittelteil des Kopfes stellt durch die Verkleinerung des Querschnittes eine Verbindung zum Kühltopf her. Der Mittelteil dient als Aufnahme für die drei Beine, die zusammen mit dem Auflagering des Kühltopfes den gesamten Kopf abstützen. Am Mittelteil ist auch die Ringleitung verbaut, welche den Sekundärsauerstoff an drei Punkten in den Mittelteil einleitet. Dieser wird (radial) eingeblasen, und soll eine optimale Durchmischung des Staubes mit dem Sauerstoff gewährleisten.

Der Kühltopf besitzt eine Doppelmantelkühlung mit Wasser als Kühlmedium. Hauptaufgaben des Kühlertopfes sind der Schutz der oberen Kopfteile vor der Temperatur aus dem Reaktorraum, die Führung des Staubes in die Brennerflamme und die Abdichtung der Anlage nach außen.

4.1.2 Problemstellung des Flash-Reaktor Kopfes im Urzustand

Der Kopf soll bis zu 300kg/h Staub mit Sauerstoff homogen vermischen und dieses Gemisch gleichmäßig in die Brennkammer einbringen. Der Sekundärsauerstoff soll den Staub erfassen und in einer rotierenden Bewegung in die Brennkammer fördern.

Bei der ersten Version des Kopfes wurde der Sekundärsauerstoff durch die Ringleitung an drei verschiedenen Stellen im konischen Mittelteil eingeblasen. Durch die Einbringung an verschiedenen Punkten konnte der Sekundärsauerstoff gleichmäßig über den gesamten Umfang eingedüst werden. Die Einbringpunkte wiesen zueinander einen Höhenunterschied auf und können über die 3 Handventile (HV 1, HV 2, HV 3) stufenlos geregelt werden, um an den verschiedenen Einbringpunkten (1, 2, 3) eine beliebige Menge an Sekundärsauerstoff einzublasen. Der gesamte Kopf mit Ringleitung ist in **Abbildung 11**, der konische Mittelteil mit Ringleitung in **Abbildung 12** und **Abbildung 13** zu sehen.

Bei optischer Kontrolle durch das Schauglas während des Betriebes konnte keine Erfassung des Staubes durch den eingebrachten Sekundärsauerstoff festgestellt werden. Der Staub wurde durch die gleichmäßige Förderrate der Eintragsschnecke mit einem konstanten Massenstrom in die Brennkammer eingebracht, jedoch konnte kein homogenes Sauerstoff/Staub-Gemisch erzeugt werden. Der Staub akkumulierte sich im oberen Teil und im konischen Mittelteil zu Strähnen, so konnte die geplante gleichmäßige Verteilung nicht realisiert werden. Die konzentrierte Einbringung des Staubes an wenigen Punkten bewirkt Oberflächenverkleinerung des Staubschwarmes und beeinflusst das Aufschmelzverhalten des Staubes negativ.

Strähnenbildung im Flash-Reaktor Kopf tritt auf, wenn sich der über den gesamten Querschnitt verteilte Staubvorhang akkumuliert und ein Großteil der Staubmenge an 3 oder weniger Punkten in die Brennkammer eingebracht wird.

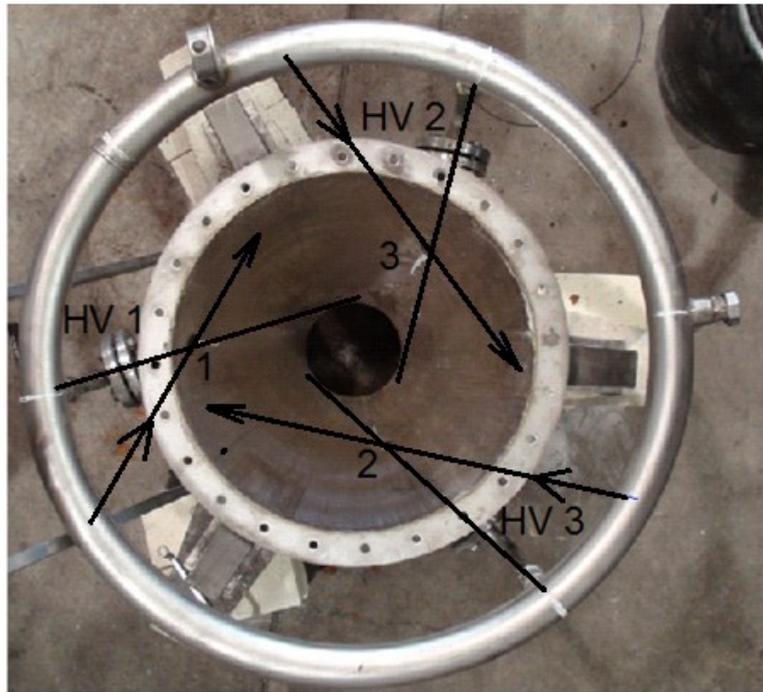


Abbildung 12: Mittelteil mit Ringleitung des Flash-Reaktor Kopfes im Urzustand

Die Eintragungsschnecke dosiert den Staub fein verteilt und gleichmäßig in den Mischzyklon, daher muss die Ursache für die ungenügende Durchmischung in der Konstruktion des Sekundärsauerstoffeintrages liegen. In **Abbildung 12** ist der Winkel, in dem der Sekundärsauerstoff eingeblasen wird, illustriert. Die Markierungen ohne Pfeile zeigen den Winkel, unter dem der Sekundärsauerstoff eingeblasen wird; die Markierungen mit Pfeilen zeigen den Winkel, der für die Ausbildung einer tangentialen Strömung notwendig wäre.

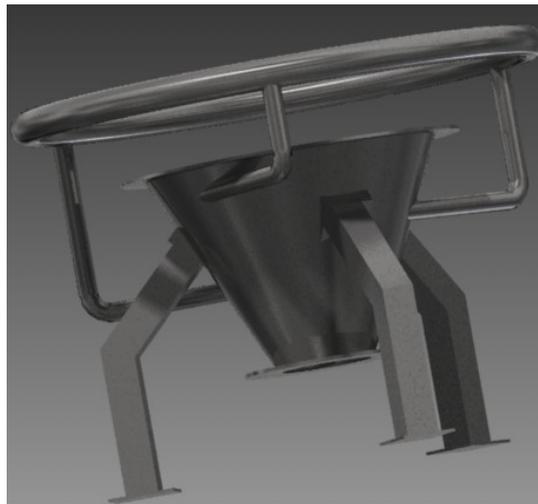


Abbildung 13: Modell des Mittelteils mit Ringleitung des Flash-Reaktor Kopfes im Urzustand

Die Einbringung des Sekundärsauerstoffes erfolgt nahezu radial. So wirkt der eingedüστε Gasstrom als Sperrluft und die gewünschte Drallströmung kann sich kaum ausbilden. In **Abbildung 13** ist der Höhenunterschied der Zubringer des Sekundärsauerstoffes zu sehen. Tests während des Betriebes zeigten, dass die alleinige Beaufschlagung über den am höchsten gelegenen Einbringpunkt 1 die besten Ergebnisse für die Durchmischung brachte, die aber immer noch wenig zufriedenstellend waren.

Da sich die Strahlenbildung im oberen bzw. im mittleren Kopfteil ausbildet, sind die Einbringpunkte für die Sekundärsauerstoffeindüsung zu tief angeordnet. Bei einem Einbringpunkt am oberen Kopfteil wird der Staubvorhang früher von der Strömung erfasst und die Strahlen können sich schwerer ausbilden.

Durch die Wärmestrahlung des Reaktorraumes schmolzen feinste Partikel bereits im Kühltopf auf und hochschmelzende Phasen kondensierten am Innenrand des Kühltopfes auf und blieben dort haften. Durch den kontinuierlichen Staubeintrag bildeten sich Anbackungen, welche sich solange vergrößerten, bis ein geordneter Materialeintrag in die Brennkammer nicht mehr möglich war. Der Eintragsvorgang musste unterbrochen werden, um die Anbackungen mechanisch zu entfernen.

Die höhenverstellbar ausgeführte Brennerlanze wies eine zu kurze Gesamtlänge auf, sodass sie bei maximal ausgefahrener Stellung, nicht mit dem Kühltopf abschloss. Die kurze und scharfe Flamme des Brenners begünstigte das Aufschmelzen der Partikel im Kühltopf.

Der Kühltopf ist aus Stahl gefertigt und durch eine Doppelmantelkühlung mit Wasser gekühlt. Die Rohrleitungen und der Kühltopf sind nicht aus Edelstahl gefertigt und bedingt durch den Frischwassereintrag im Kühlkreislauf konnten sich Rost und Kalk im System ablagern. Fertigungsfehler in der Doppelmantelkühlung kreierten Totzonen in der Doppelmantelkühlung. In diesen Totzonen konnten sich die Fremdstoffe aus dem Kühlsystem anlagern und blockierten den Kühlwasserfluss. Die hohe Temperatur des Feuerfestmaterials, kombiniert mit der Strahlungshitze aus der Brennkammer sowie Rückströmungen von heißem Brenngas, wirkten punktuell an der unteren Spitze des Kühltropfes ein. Kombiniert mit den Totzonen der Kühlung entstanden hier Hochtemperaturkorrosion und Verzunderung, wobei das Material bis zum Bauteilversagen angegriffen wurde. Dadurch konnte Wasser in die Anlage eindringen. **Abbildung 14** zeigt schematisch die Beanspruchungsarten des Kühltropfes und die zu kurz ausgeführte Brennerlanze.

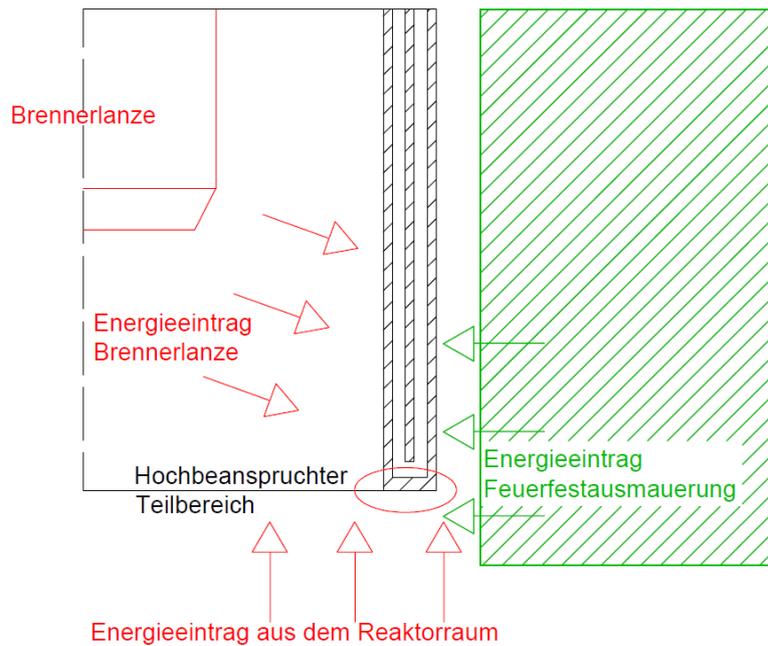


Abbildung 14: Zonen thermischer Beanspruchung des Kühltropfes

4.1.3 Simulation des Flash-Reaktor Kopfes

Die Ausbildung einer Strömung, sowie eines homogenen Gemisches von Staub und Sauerstoff hängt primär vom Sekundärsauerstoffeinlass ab. Um die optimale geometrische Form und dessen Position am Kopf zu bestimmen, wurde eine Simulation durchgeführt. Bei der Simulation wurden folgende Parameter in unterschiedlichen Kombinationen berechnet:

- Die geometrische Form des Sekundärsauerstoffeinlasses
- Die Position des Sekundärsauerstoffeinlasses zur Eintragungsschnecke
- Der Durchmesser der Staubpartikel

Das Rechenmodell beruht auf dem eines Abscheidezyklones. Durch die geringe Staubkonzentration von unter 12 Volumsprozent im Sauerstoff genügt ein Rechenmodell mit einer 1-phasigen Kopplung. Dies bedeutet, dass die Beeinflussung der Partikel durch den Sauerstoffstrom berechnet, die Beeinflussung der Partikel untereinander jedoch nicht berücksichtigt wird. Lokal können sich höhere Partikelkonzentrationen ausbilden, oder große Partikel kleinere mitreißen. Diese Faktoren wurden im Rechenmodell jedoch vernachlässigt. Alle Simulationen wurden mit einem Stoffstrom von 250 kg/h durchgeführt. Der Stoffstrom wird auf einer gedachten Linie, welche die Länge der Eintragungsschnecke hat, in den Simulationsraum eingebracht.

Bei der geometrischen Form des Einlasses standen zwei Varianten zur Auswahl: Ein quadratischer Einlass und eine rechteckige Geometrie mit einem Höhen- zu Breitenverhältnis von 2. Beide geometrischen Formen des Einlasses haben dieselbe Querschnittsfläche von 4096mm^2 .

Die Position des Sekundärsauerstoffeinlasses zur Eintragsschnecke wird durch den Winkel Θ charakterisiert. Während die Position der Eintragsschnecke konstant bleibt, wird der Sekundärsauerstoffeinlass in 90° - Schritten im Uhrzeigersinn rotiert.

Die Berechnung erfolgte mit der Korngrößenverteilung des Einsatzmaterials. In diesem Zusammenhang wurde mit mehreren charakteristischen Durchmessern gearbeitet, um die Größe der Partikel zu berücksichtigen. Diese Kenngröße wird mit x_{10} , x_{50} und x_{90} definiert, wobei x_{10} den Durchmesser der unteren 10% der Massenverteilung der Korngröße bezeichnet, d.h. jene Maschenweite eines Siebes, bei dem 10% der Masse im Siebboden liegenbleiben würden. Analog dazu gilt die Definition für x_{50} und x_{90} . Je größer ein Partikel ist, umso schwerer wird er von der Strömung erfasst, daher ist bei der Auswertung besonders auf eine gute Charakteristik der x_{90} -Partikel geachtet worden.

Um den Auswertungen der Simulationsergebnisse besser folgen zu können, wird in **Abbildung 15** die Auswertung zweier Simulationsergebnisse genauer beschrieben. Sämtliche weiterführenden Ergebnisse sind analog dazu zu interpretieren.

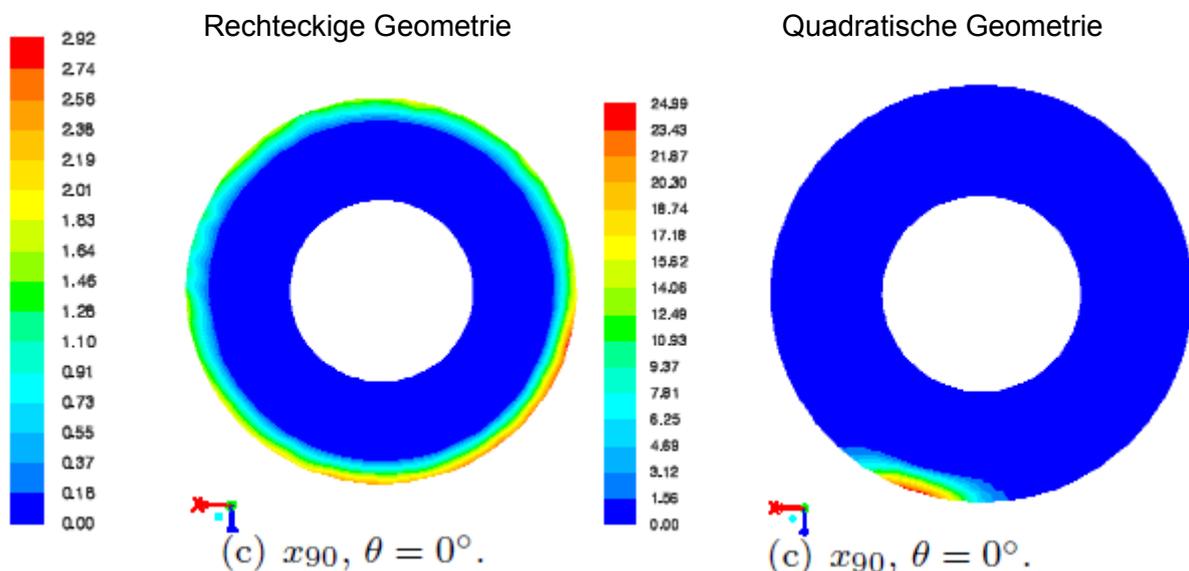


Abbildung 15: Beispielhafte Auswertung von 2 Simulationsergebnissen [21]

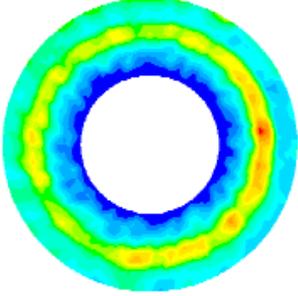
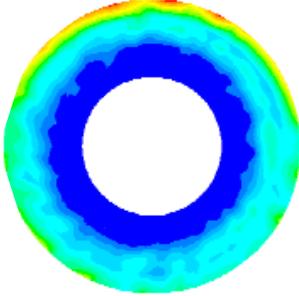
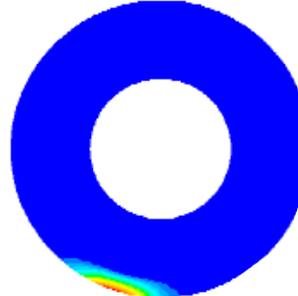
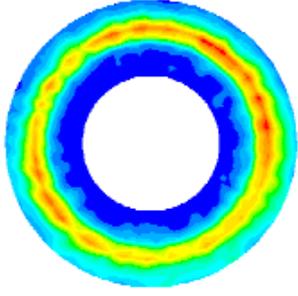
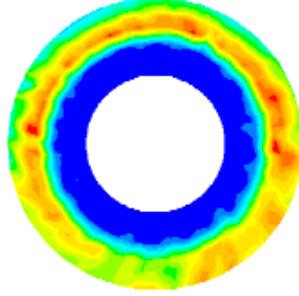
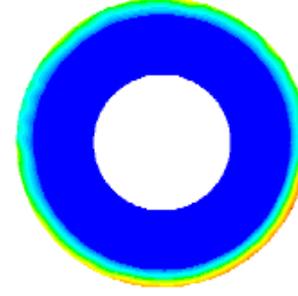
Abbildung 15 vergleicht das Simulationsergebnis für eine rechteckige Einlassgeometrie mit einem Simulationsergebnis für eine quadratische Einlassgeometrie. Bei beiden Ergebnissen korreliert die Position der Eintragsschnecke mit der Position des Sekundärsauerstoffeinlasses ($\Theta=0^\circ$). Der charakteristische Partikeldurchmesser beträgt bei beiden Ergebnissen x_{90} .

Bei der rechteckigen Einlassgeometrie verteilen sich die Staubpartikel viel gleichmäßiger über den Kreisumfang als bei der quadratischen. Bei der quadratischen Einlassgeometrie tritt die unerwünschte Strähnenbildung auf. In einem Punkt akkumuliert sich der gesamte Staubvorhang und rieselt an diesem konzentriert in die Brennkammer. Erkennbar ist die Strähnenbildung auch an den Skalen, die links der jeweiligen Grafik zugeordnet sind. Diese ordnet den Farben dimensionslose Werte für die Staubkonzentration zu. In der Strähne treten lokal über 8-fach höhere Konzentrationen an Staubpartikeln auf, als in der gleichmäßigeren Verteilung. Die Skalen sind in den nachfolgenden Tabellen nicht zu sehen, da sie die Übersichtlichkeit dieser beeinträchtigen. Das Farbschema bleibt bei allen Auswertungen gleich, wobei die Konzentration der Staubpartikel von Blau über Grün nach Rot ansteigt. Die Zahlenwerte der Skalen wurden bei der Auswertung berücksichtigt und sind Anhang A zu entnehmen.

Zusammenfassend zeigt in **Abbildung 15** das linke Simulationsergebnis eine deutlich bessere Performance. Die gleichmäßigere Verteilung der Staubpartikel und die Strähnenbildung bei der rechten Berechnung sprechen für das linke Simulationsergebnis.

Tabelle 4 zeigt die Simulationsergebnisse für den Fall, dass die Position des Sauerstoffeinlasses mit der Position der Eintragsschnecke korreliert ($\Theta=0^\circ$). In der oberen Zeile sind die Simulationsergebnisse für einen quadratischen Einlauf zu sehen, die untere Zeile zeigt die Ergebnisse für einen rechteckigen Einlass.

Tabelle 4: Simulationsergebnisse für $\Theta = 0^\circ$ [21]

Partikelgröße	X ₁₀	X ₅₀	X ₉₀
Quadratische Einlassform			
Rechteckige Einlassform			

Bei der kleinsten Partikelgröße x_{10} ist die Verteilung der beiden Einlässe ähnlich, dies lässt sich mit dem geringen Gewicht der Staubpartikel erklären. Bei Partikelgröße x_{50} zeigen sich beim quadratischen Einlass Anzeichen von Strahlenbildung. Die Verteilung ist nicht mehr über den gesamten Umfang gleichmäßig, es bilden sich am oberen Rand lokal höhere Partikelkonzentrationen aus. Beim rechteckigen Einlass ist die Verteilung der Staubpartikel über den Umfang gleichmäßiger. Je größer die Partikel werden, umso ausgeprägter wird die Strahlenbildung des Staubes beim quadratischen Einlass. Die Strahlenbildung ist besonders deutlich beim Durchmesser x_{90} des quadratischen Einlasses zu beobachten.

Der rechteckige Einlass ermöglicht eine deutlich bessere Verteilung der großen Staubpartikel in der Strömung. Da Strahlenbildung nicht eintreten darf, aber bei allen quadratischen Einlässen zu sehen ist, ist ein rechteckiger Einlass die bessere konstruktive Lösung.

Daher wird auf die Darstellung der weiteren quadratischen Simulationsergebnisse verzichtet. Der Bericht, welcher die gesamten Simulationsergebnisse beinhaltet, ist Anhang A zu entnehmen. Die Fragestellung der Position des Einlaufes muss noch geklärt werden.

In **Tabelle 5** sind verschiedene Winkelpositionen der Eintragungsschnecke mit rechteckigem Einlass dargestellt. Die Verteilung der Partikel bei verschiedenen Anordnungen des Sekundärsauerstoffeinlasses weisen keine signifikanten Unterschiede auf. Eine minimal bessere Verteilung der größeren Partikel zeigt sich, wenn der Sekundärsauerstoffeinlass zwischen 180° und 270° im Uhrzeigersinn zur Eintragungsschnecke angebracht wird.

Tabelle 5: Simulationsergebnisse für die rechteckige Einlaufgeometrie[21]

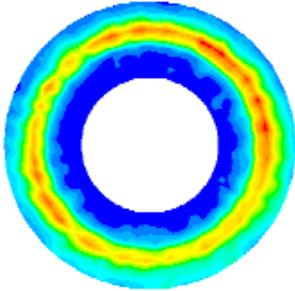
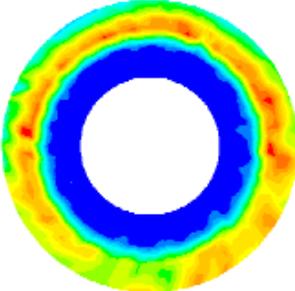
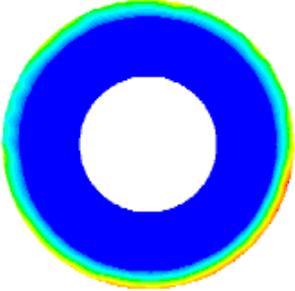
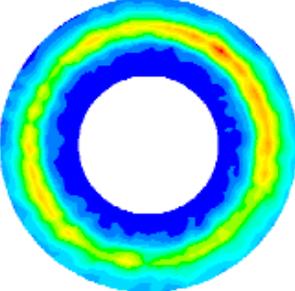
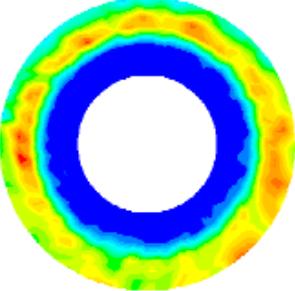
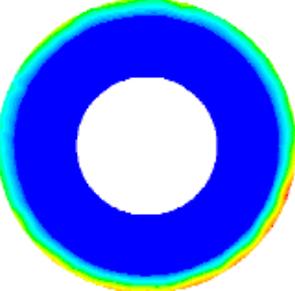
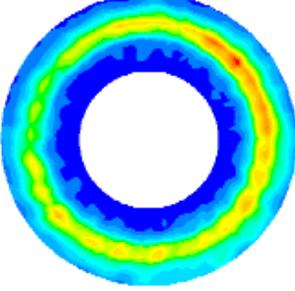
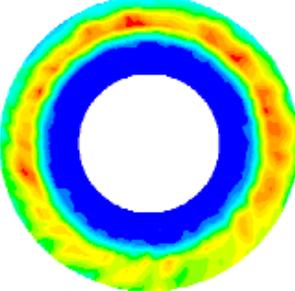
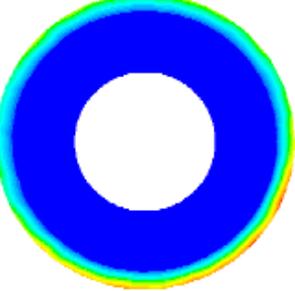
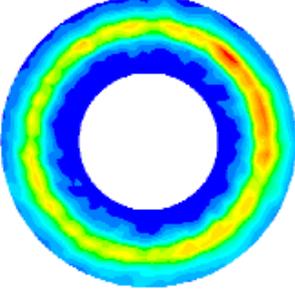
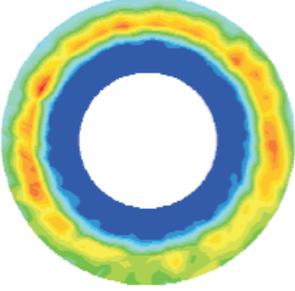
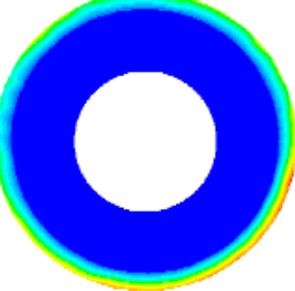
Partikelgröße	X_{10}	X_{50}	X_{90}
$\Theta = 0^\circ$			
$\Theta = 90^\circ$			
$\Theta = 180^\circ$			
$\Theta = 270^\circ$			

Abbildung 16 zeigt links die quadratische, rechts die rechteckige Einlaufform. An der Ordinate ist die Verweilzeit, an der Abszisse die Winkelposition des Einlasses aufgetragen. Eine unterschiedliche Verweilzeit der Partikel lässt auf ein inhomogenes Mischverhalten schließen, da Partikel unterschiedlich lange in der Strömung verweilen. Bei einer geringen Verweilzeit fallen die Partikel, ohne von der Strömung erfasst zu werden, in den Reaktorraum. Dies ist ein Anzeichen von Strahlenbildung.

Die quadratische Einlassgeometrie zeigt eine niedrige Verweilzeit der x_{90} -Partikel. Diese verweilen nur 2 Sekunden im Flash-Reaktor Kopf. Ein Erfassen durch die Strömung ist in dieser kurzen Zeit nicht möglich. Die x_{10} - und x_{50} -Partikel werden von der Strömung erfasst und haben eine längere Verweilzeit im Kopf.

Beim rechteckigen Einlauf lässt sich eine deutliche Erhöhung der Verweilzeit der großen Partikel beobachten. Die Verweilzeiten liegen bei einem Relativwinkel von $180^\circ - 270^\circ$ bei allen Partikelgrößen nahe beieinander, somit werden alle Partikel annähernd gleich von der Strömung erfasst. Die geringfügig bessere Verteilung bei $\Theta = 180^\circ$ bis $\Theta = 270^\circ$, welche in **Tabelle 5** erkennbar ist, wird durch **Abbildung 16** bestätigt. Den großen Partikeln kommt eine höhere Priorität zu, da sie den meisten Masseninhalt besitzen und schwerer von der Strömung mitgerissen werden. Sie haben auch einen größeren Einfluss auf die kleineren Partikel als umgekehrt und schmelzen in der Reaktorkammer langsamer auf.

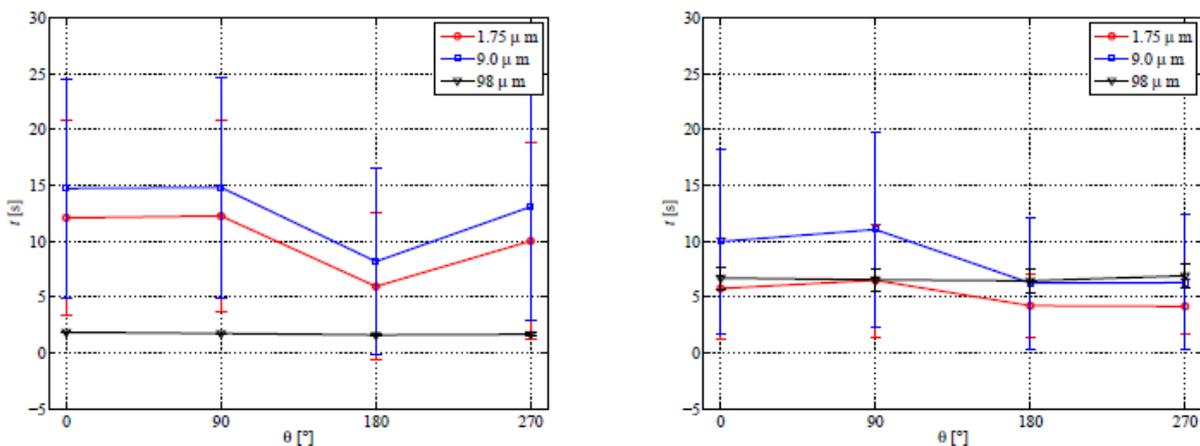


Abbildung 16: Verweilzeit der Partikel im Zyklon [21]

In **Abbildung 17** ist an der Ordinate die Abweichung der Partikel vom mittleren Radius, an der Abszisse wieder die Winkelposition des Einlasses aufgetragen. Die linke Grafik zeigt die quadratische Einlassgeometrie, die rechte Grafik die rechteckige Einlassgeometrie.

Der mittlere Radius ist das arithmetische Mittel der Radien des Kühlerkopfes und des oberen Kopfteiles. Die Abweichung vom mittleren Radius ist eine Kenngröße für die radiale Position der Staubpartikel und das Mischungsverhaltens des Zyklons. Geht die Abweichung $r - r_m$ gegen null, ist die Durchmischung um Zyklon optimal.

Die Berechnung der Abweichung erfolgt durch die Formel:

$$r - r_m = r - \frac{(R_o - R_k)}{2} \quad [\text{Glg. 4-1}]$$

- mit r = Radius der Flugbahn des Staubpartikels
 r_m = Mittlerer Radius
 R_o = Radius der Innenwand des Oberen Kopfteiles
 R_k = Radius der Innenwand des Kühlerkopfes

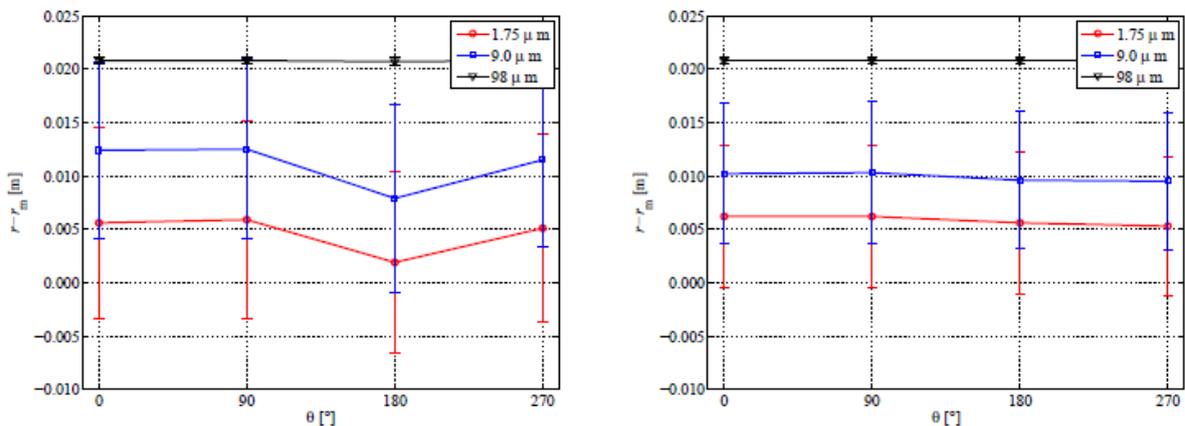


Abbildung 17: Abweichung der Partikelflugbahn vom mittleren Durchmesser [21]

Es zeigt sich kein relevanter Einfluss der Einlaufgeometrie oder der Position des Einlaufes.

Fazit:

Strahlenbildung lässt auf eine unvollständige Durchmischung von Staub und Sauerstoff schließen und begünstigt Anbackungen. Infolgedessen ist ein rechteckiger Einlauf einem quadratischen vorzuziehen.

Dabei wirkt sich ein möglichst großes Höhen- zu Breitenverhältnis des Einlasses positiv auf die Ausbildung der Strömung und die Erfassung der Partikel aus. Die Ergebnisse der Verweilzeit und die Verteilung der Partikel verdeutlichen die Vorteile des rechteckigen Einlasses. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in der Verteilung der Partikel bei unterschiedlichen Positionen des Sekundärsauerstoffeinlasses. Eine geringfügig bessere Verteilung der größeren Partikel wird erwartet, wenn der Sekundärsauerstoffeinlass zwischen 180° und 270° im Uhrzeigersinn zur Eintragschnecke angebracht wird. Abschließend sollte die Position des Einlasses so gewählt werden, dass die konstruktiven Änderungen auf ein Minimum beschränkt bleiben und so wenig bestehende Anschlüsse wie möglich versetzt werden müssen.

4.1.4 Konstruktive Änderungen am Flash-Reaktor Kopf

Oberstes Ziel der Neukonstruktion war es, eine stabile Rotationsströmung im Kopf auszubilden, um damit ein homogenes Sauerstoff/Staub-Gemisch zu erzeugen und durch die höheren Strömungsgeschwindigkeiten Anbackungen an der Innenseite des Kühltopfes zu vermeiden. Dadurch sollte auch die Eintragsleistung gesteigert werden können.

Der neue Sekundärsauerstoffeinlass besitzt mit einer Länge von 275mm und einer Breite von 15mm ein Breiten- zu Höhenverhältnis von über 18. Die neue Position des Einlasses befindet sich 190° im Uhrzeigersinn versetzt zur Eintragschnecke (Winkel α). Der Einlassstutzen besitzt eine Einlauflänge von 390mm, um eine laminare Strömung beim Eintritt in den oberen Kopfteil zu gewährleisten. Der obere Kopfteil mit dem neuen Einlass ist in **Abbildung 18** ersichtlich.

Der alte Sekundärsauerstoffeintrag und die dazugehörige Ringleitung wurden komplett demontiert, die drei Eingangsleitungen im konischen Mittelteil von innen verschweißt und poliert.

Sämtliche Anschlüsse, die keine Funktion besitzen, sind von innen verschweißt und poliert worden, um die Strömung so wenig wie möglich zu beeinflussen und dem Staub nicht die Möglichkeit zu bieten, sich an den Bohrungen abzulagern.

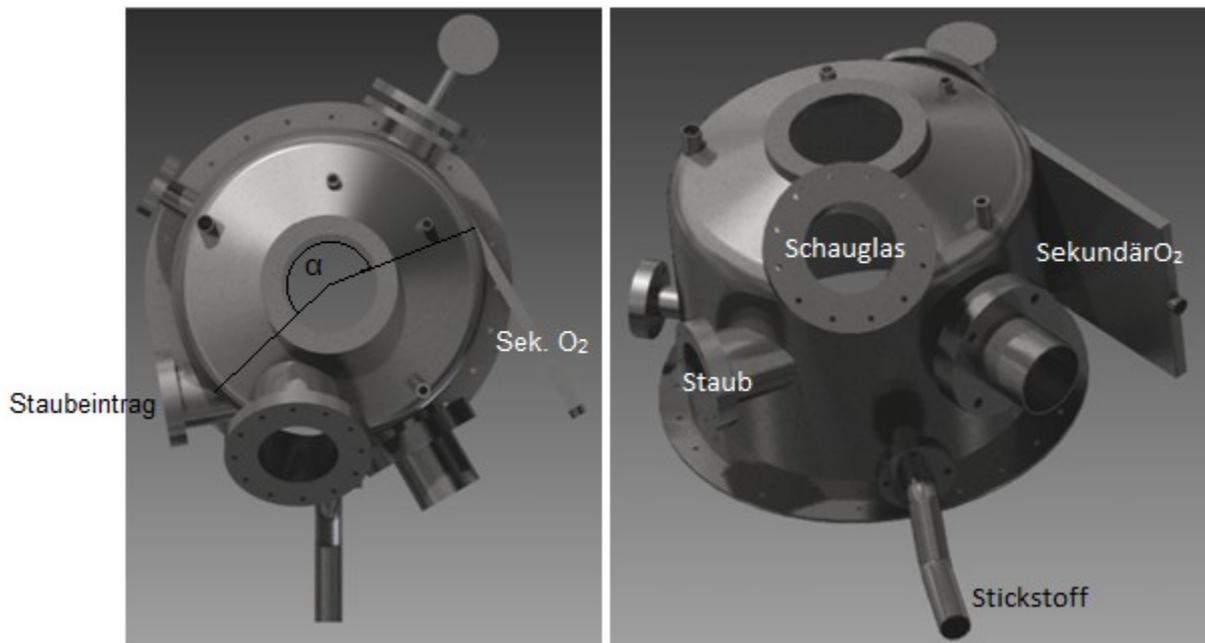


Abbildung 18: Oberteil des überarbeiteten Flash-Reaktor Kopfes

Aus demselben Grund erfolgte die Demontage der Brennerführungen im oberen Kopfteil, siehe hierzu **Abbildung 19**.

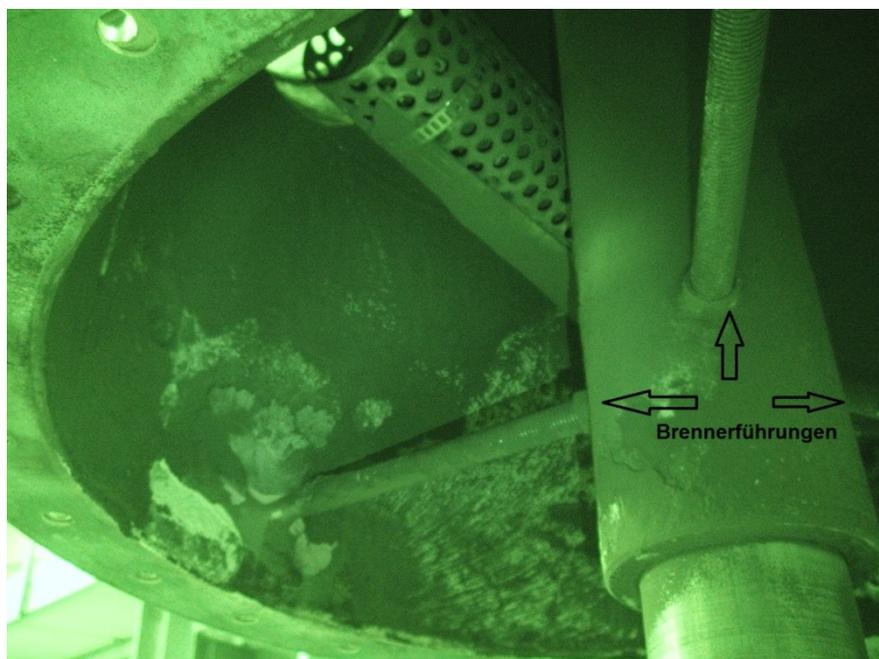


Abbildung 19: Innenseite des oberen Kopfteiles mit Brennerführungen

Die Brennerlanze wurde verlängert, sodass sie bündig mit dem Ende des Kühltopfes abschließt. In dieser Position sollte die Brennerlanze weiterhin höhenverstellbar ausgeführt sein. Der Brennerdüse wurde wechselbar ausgeführt, um verschiedene Düsenköpfe und somit unterschiedliche Flammgeometrien testen zu können.

Abbildung 20 zeigt den überarbeiteten Flash-Reaktor Kopf und bezeichnet die Hauptteile.

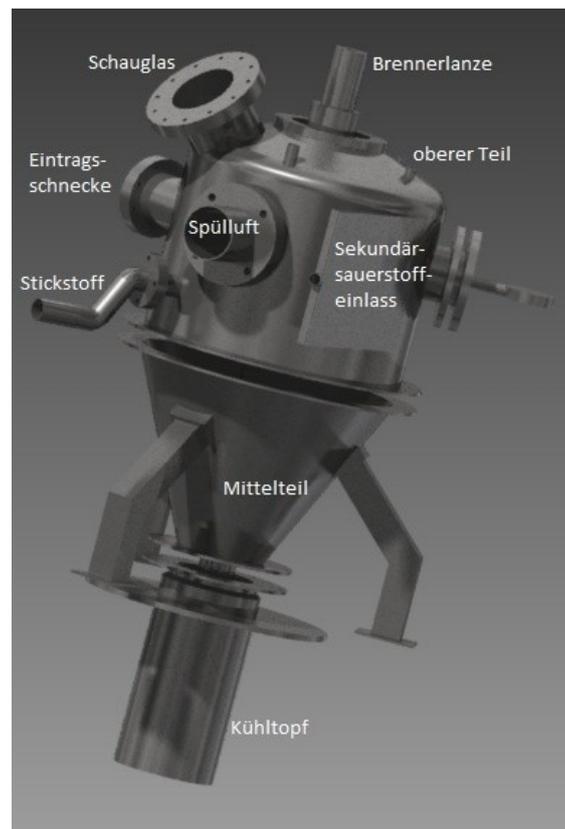


Abbildung 20: Überarbeiteter Flash-Reaktor Kopf

Im oberen Teil werden jetzt beide Betriebsstoffe, Sauerstoff und Staub eingebracht. Der Staub wird über die Eintragungsschnecke in den Kopf gefördert, der Sekundärsauerstoff über den neu konstruierten Sekundärsauerstoffeinlass eingebracht. Alle anderen Anschlüsse für Mess- und Regeltechnik, Stickstoff und Spülluft bleiben unverändert. Der überarbeitete Mittelteil bleibt bis auf die demontierte Ringleitung unverändert.

Der Kühltopf ist aus hitzebeständigem Stahl 1.4841 gefertigt und besitzt eine Doppelmantelkühlung mit Wasser als Kühlmedium. **Abbildung 21** zeigt den Kühltopf mit der Strömungsführung des Kühlmediums. Die Strömungsführung des Kühlmediums ist durch das Aufschweißen von Schnecken, die als Leitbleche fungieren, verbessert worden. Dadurch soll die Totzonenbildung, welche zum Versagen des ersten Kühltopfes geführt hat, ausgeschlossen werden. Die Hauptaufgaben des Kühltopfes sind der Schutz der oberen Kopfteile vor der Temperatur aus dem Reaktorraum, die Führung des Staubes in die Brennerflamme, sowie die Abdichtung der Anlage nach außen. Der gesamte Kopf ist so konstruiert, dass der Kühltopf auch während einer Heißphase der Anlage gewechselt werden kann, um im Falle einer Schädigung dieses extrem beanspruchten Bauteiles einen weiteren Betrieb der Anlage zu gewährleisten. Der Kühltopf wurde von der Firma MAL konstruiert, eine komplette Konstruktionszeichnung ist Anhang B zu entnehmen.

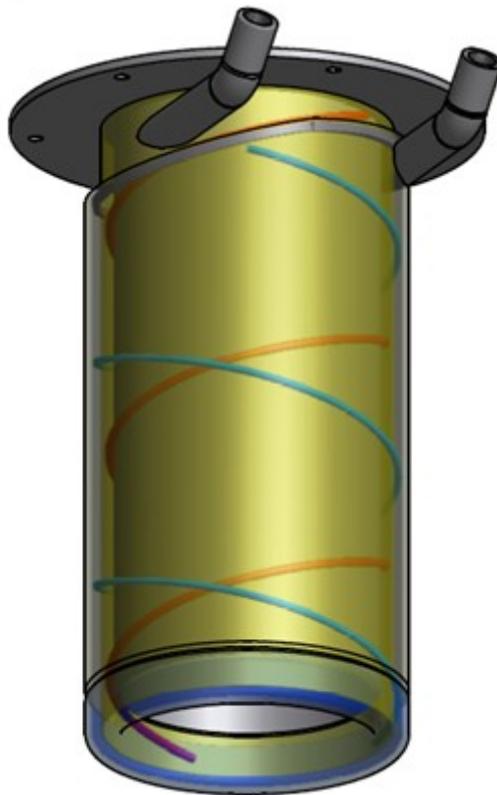


Abbildung 21: Überarbeiteter Kühltopf

4.2 Optimierung der Mess- und Regeltechnik

Die Erfahrungen, die aus dem Anlagenbetrieb gewonnen werden konnten, setzten die Ziele der Optimierung der Mess- und Regeltechnik fest. Dabei zeigte sich der Bedarf zur Erhöhung des Automatisierungsgrades sowie der Anlagensicherheit.

Die Optimierungen an der Mess- und Regeltechnik bilden dabei die Grundlage für die Überarbeitung der Funktionsbeschreibung.

4.2.1 Einführung in die Mess- und Regeltechnik des Flash-Reaktors

Die Flash-Reaktor Anlage wurde in der Planungsphase in 3 Prozesseinheiten gegliedert. Prozesseinheit 1 umfasst den Flash-Reaktor mit Steigrohr inkl. Förder- und Dosiersystem, Prozesseinheit 2 wurde das Abgassystem von Konverter bis zum Saugzuggebläse zugeteilt und Prozesseinheit 3 bildet das Kühlwassersystem der Pilotanlage[22].

Die Aufteilung in 3 Prozesseinheiten wird beibehalten, die Änderungen für jede Prozesseinheit werden nach einer kurzen Erklärung beschrieben. Für detaillierte Ausführungen zur Planung der Mess- und Regeltechnik wird auf die Masterarbeit von Andrea Werner [22] verwiesen.

Alle Messstellen sind durch Kurzzeichen und Nummern eindeutig ihren Funktionen und Prozesseinheiten zugeordnet. Es gibt 2 Ausführungen von Armaturen: Jene, die vor Ort ablese- und steuerbar sind, und Armaturen, die von der Prozessleitwarte aus angesteuert und abgelesen werden können. Letztere haben den Vorteil, dass der Operator eine große Anzahl an Messstellen gleichzeitig bedienen kann und dass die Messdaten in einem Programm mitgeschrieben werden, sodass diese für spätere Auswertungen zur Verfügung stehen. Messstellen, welche in der Prozessleitwarte visualisiert werden, sind mit einem Querstrich im Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema (R&I) gekennzeichnet, siehe hierzu **Abbildung 22**.

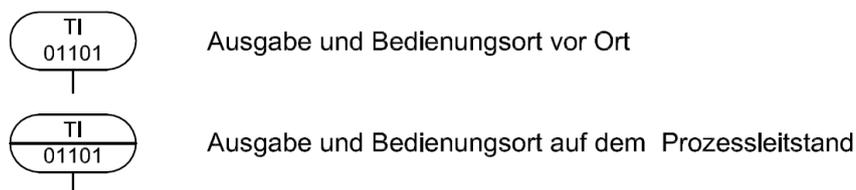


Abbildung 22: Graphische Darstellung der M&R – Stellen [22]

Die Bezeichnung der Mess- und Regeltechnikstellen erfolgte nach DIN 19227 Teil 1 [23] und Teil 2 [24], wobei verwendete Symbole in **Abbildung 23**, Bezeichnungen in **Abbildung 24** dargestellt sind.

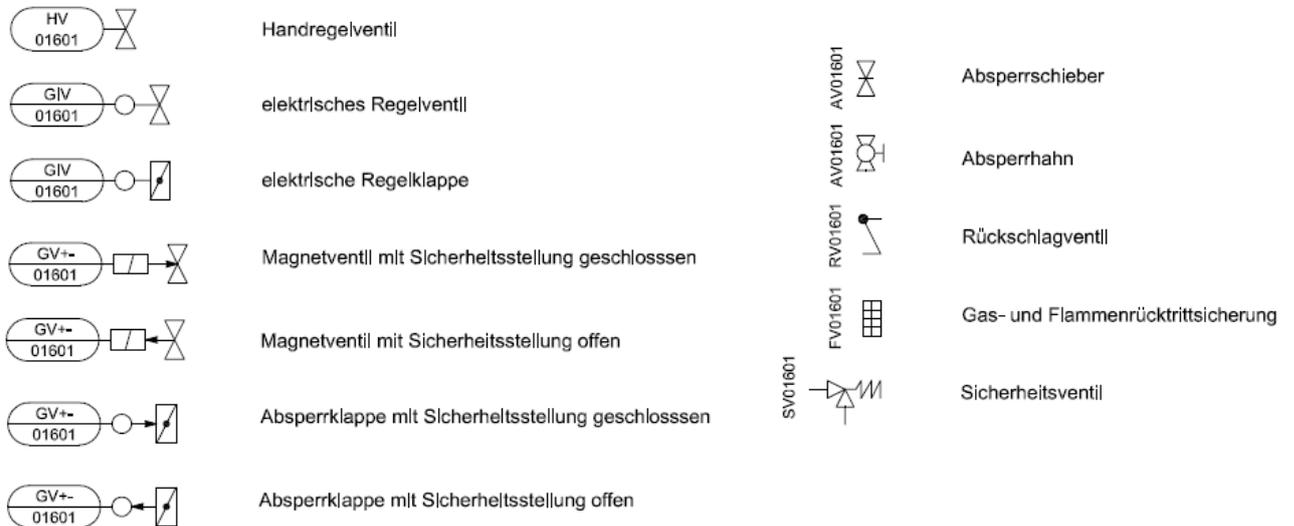


Abbildung 23: Symbole der Mess- und Regeltechnik [22]

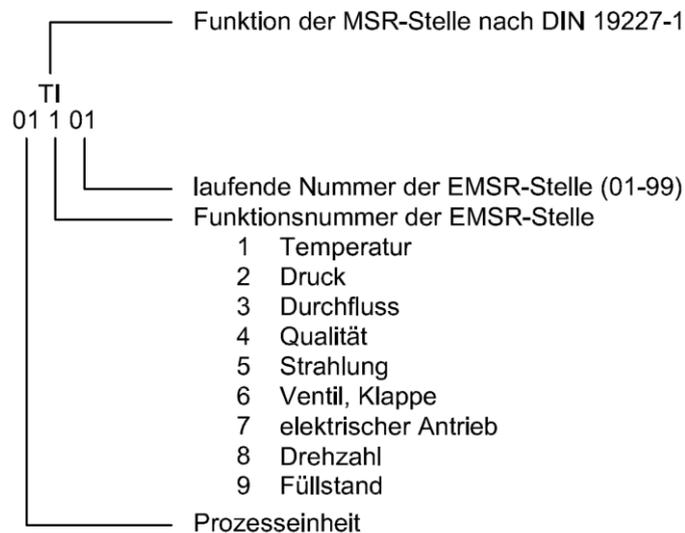


Abbildung 24: Bezeichnung der Mess- und Regeltechnik [22]

Alle Messstellen sind im R&I mit Abkürzungen, die für ihre Funktion und Position charakteristisch sind, eingetragen. Eine Temperaturmessstelle wird beispielsweise mit TI abgekürzt. Durch Hinzufügen des Suffixes „Z AHL“, welches für „zone alarm high low“ steht, lautet die neue Bezeichnung TIZ AHL. Diese Abkürzung steht für eine Temperaturmessstelle, die einen unteren und einen oberen Alarmwert besitzt. Alle im R&I verwendeten Abkürzungen sind in **Tabelle 6** dargestellt. Auf alle übrigen Abkürzungen wie beispielsweise Rohrleitungs- oder Werkstoffbezeichnungen wird nicht näher eingegangen.

Tabelle 6: Abkürzungsverzeichnis der Mess- und Regeltechnik [22]

TI	Temperaturanzeige
TIZ AHL	Temperaturanzeige mit Alarm High und Low als Schutzeinrichtung
TIZ AH	Temperaturanzeige mit Alarm High als Schutzeinrichtung
PI	Druckanzeige
PIZ AHL	Druckanzeige mit Alarm High und Low als Schutzeinrichtung
PICZ AHL	Druckanzeige mit selbständiger Regelung und Alarm High und Low als Schutzeinrichtung
PC	Druckminderer
FI	Durchflussanzeige
FIZ AL	Durchflussanzeige mit Alarm Low als Schutzeinrichtung
FIA HL	Durchflussanzeige mit Alarm High und Low
QIZ AHL	Qualitätsanzeige mit Alarm High und Low als Schutzeinrichtung
RZA	Strahlungsgröße mit Alarm als Schutzeinrichtung
AV	handbetätigtes Ventil oder Absperrschieber
GV+/-	elektrisches Absperrventil oder Absperrschieber
GVI	elektrisches Regelventil oder Regelklappe
FV	Gas- und Flammenrücktrittsicherung
HV	handbetätigtes Regelventil
RV	Rückschlagventil
SV	Sicherheitsventil
E	elektrischer Antrieb
LIAH	Füllstandsanzeige mit Alarm High
LIAL	Füllstandsanzeige mit Alarm Low
LIZ AL	Füllstandsanzeige mit Alarm High und Low als Schutzeinrichtung

4.2.2 Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 1

Die Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 1, die den Flash-Reaktor mit Steigrohr inkl. Förder- und Dosiersystem umfasst, ist in **Abbildung 25** dargestellt.

Aus dieser Abbildung ist ersichtlich, dass der Flash-Reaktor mit drei Sauerstoffleitungen und zwei Erdgasleitungen versorgt wird. Die Sauerstoff- und Erdgasleitung am Kopf des Mischzyklons dient der Primärsauerstoff- und Erdgaszufuhr zur Brennerlanze im Mischzyklon (Hauptbrenner). An den Mischzyklon schließt auch die Sekundärsauerstoffleitung an, durch welchen die Homogenisierung des Staubes erfolgt. Die Sauerstoff- und Erdgasleitungen, die direkt an die Brennkammer anschließen, versorgen den Stützbrenner. Über die Stickstoffleitung kann gasförmiger Stickstoff eingebracht werden, um im Störfall oder während des Abstiches eine inerte Atmosphäre im Reaktorraum zu schaffen. Eine Spülung mit Luft ist aufgrund der reduzierenden Bedingungen und die dadurch unkontrollierbare Nachverbrennung der brennbaren Gase in der Brennkammer und im Steigrohr nicht möglich. [22]

Die Notwendigkeit eines Stützbrenners ergibt sich aus der Dimensionierung des Hauptbrenners. Die Regelstrecke des Hauptbrenners ist auf den Betriebspunkt des Flash-Reaktors ausgelegt und kann die Regelung von kleinen Volumenströmen, die für den Aufheizvorgang benötigt werden, nicht bewerkstelligen. Der Stützbrenner verfügt außerdem über eine Flammenüberwachung wie sie in der ÖNORM EN 746 Teil 2 vorgeschrieben ist. Diese besagt, dass bei Hochtemperaturanlagen beim Hochfahren der Anlage bis 750°C Brennkammertemperatur eine Flammenüberwachung durch eine Flammenüberwachungseinrichtung oder durch eine unterwiesene Person erfolgen muss, um eine Fehlzündung des Gasbrenners oder ein Erlischen der Flamme zu erkennen und in weiterer Folge eine Störabschaltung des Gasbrenners auszulösen. [22]

Durch die Vorgaben der ÖNORM EN 746 Teil 2 [25] ergab sich auch die Notwendigkeit eines Spülluftgebläses. Diese schreibt vor, dass ein Gasbrenner erst gezündet werden darf, wenn durch eine unmittelbar vorangegangene Brennkammerspülung sichergestellt werden kann, dass sich in der Brennkammer und im Abgassystem kein brennbares Gemisch befindet. Dies gilt sowohl für das erstmalige Zünden als auch nach einer Störabschaltung wie beispielsweise Fehlzündung des Gasbrenners. Erst bei Erreichen einer Brennkammertemperatur von >750°C kann bei einer Störabschaltung des Gasbrenners auf eine Brennkammerspülung verzichtet werden. [22]

Bei einer Brennkammertemperatur von weniger als 800°C, muss vor jeder Zündung des Stützbrenners, eine Spülung der Brennkammer und des Abgassystems durchgeführt werden. Der Zündbrenner kann ohne eine vorangegangene Spülung nicht gezündet werden.

Das Förder- und Dosiersystem besteht aus der Big-Bag Übergabestation mit anschließendem Becherwerk, welche den Staub diskontinuierlich in den Dosierbehälter fördert. Über ein Schneckensystem, bestehend aus der Dosierschnecke und der anschließenden Eintragsschnecke, wird der Staub aus dem Dosierbehälter in den Mischzyklon übergeben.

Die Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 1 beinhaltet auch die Thermoelemente der Brennkammer und des Steigrohres, welche die Temperaturen dieser Prozesseinheit überwachen.

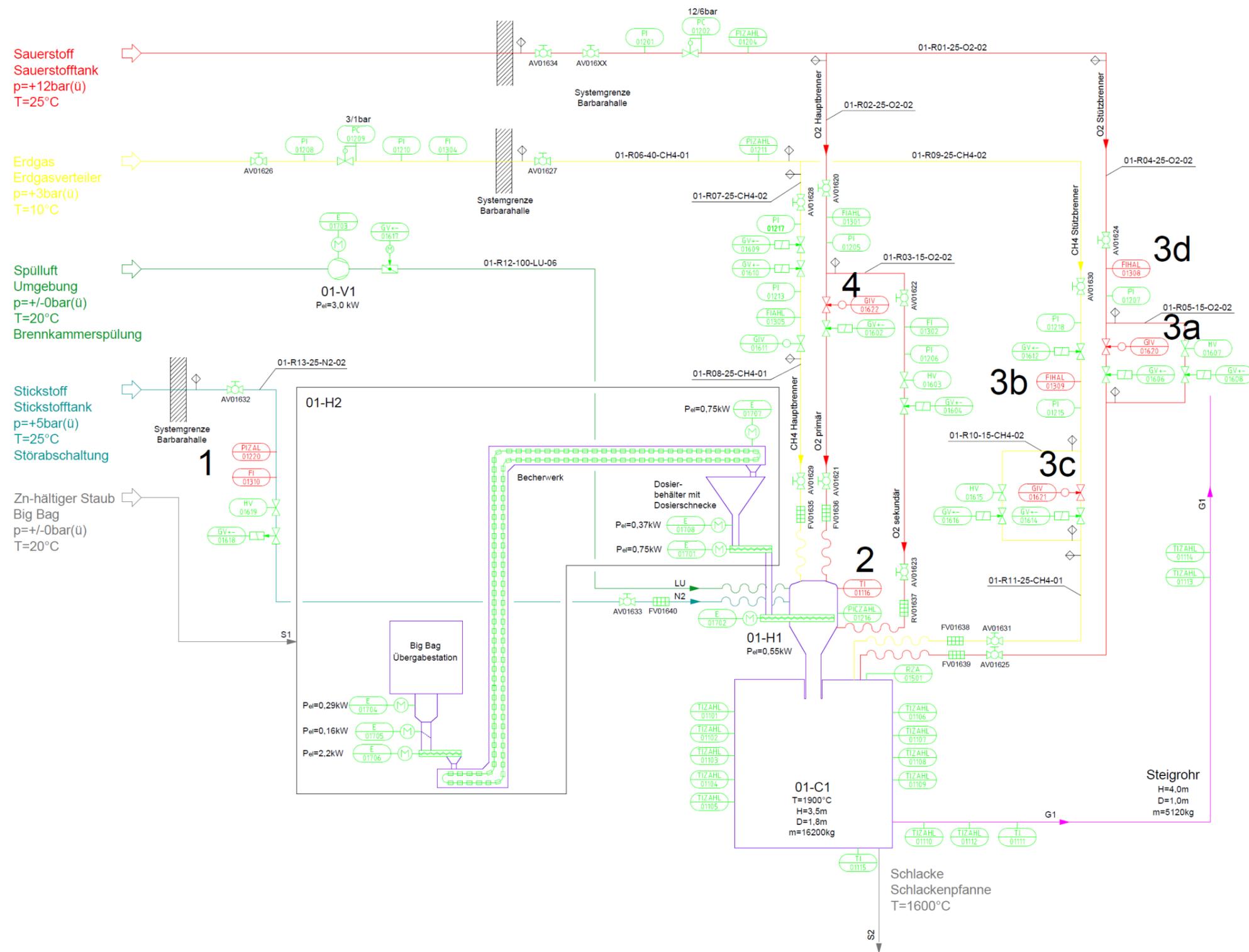


Abbildung 25: Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 1

4.2.3 Änderungen in der Prozesseinheit 1

In **Abbildung 25** ist die Prozesseinheit 1 mit den hervorgehobenen Änderungen dargestellt.

Punkt 1 kennzeichnet den Austausch der vor Ort anzeigenden Druck- (PIZAL 01220) und Durchflusssensoren (FI 01310) der Stickstoffleitung. Die Anzeigenwerte können durch die Änderungen in Echtzeit in der Prozessleitwarte abgelesen werden und es erfolgt eine Aufzeichnung der Sensordaten, sodass diese für spätere Auswertungen verfügbar sind. Die Regelung wird mit dem Handregelventil vor Ort durchgeführt, wobei sich die Regeltätigkeit auf wenige Regelungen pro Versuchsreihe beschränkt.

Punkt 2 markiert das zusätzlich eingebaute Thermoelement (TI 01116) am Kopf, das ein ebenfalls an dieser Stelle befindliches Thermoelement, welches vor Ort abzulesen ist, ergänzt. Die Vorteile der Echtzeitablesung und Auswertung sind analog zu Punkt 1. Durch das Thermoelement wird die Anlagensicherheit erhöht, da ein Ansteigen der Kopftemperatur durch den Operator früher bemerkt wird. Die im Flash-Reaktor-Kopf verbauten Dichtungen haben eine maximale Einsatztemperatur von 150°C. In der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) wird ein Alarm ausgelöst, bei einer Kopftemperatur von 80°C ausgelöst, ohne dass ein Störfallszenario eingeleitet wird.

Punkt 3 bezeichnet die Änderungen am Stützbrenner, bei dem die Regelung manuell mit Handregelventilen durchgeführt werden musste. Die Regelventile (3a O₂ (GIV 01620), 3c CH₄ (01621)) und Durchflussmesser (3b O₂ (FIHAL 01309), 3d CH₄ (FIHAL 01308)) für die Betriebsmedien Erdgas und Sauerstoff wurden ersetzt und sind jetzt von der Prozessleitwarte aus steuerbar. Die Regelbereiche der neuen Regelventile sind auf geringere Gasdurchflüsse ausgelegt, um während der Aufheizphase und bei geringeren Temperaturen in der Anlage ein besseres Regelverhalten zu gewährleisten.

Punkt 4 kennzeichnet den Austausch eines Regelventiles (GIV 01622), welches für die Durchflussregelung des Primärsauerstoffes zuständig ist. Das Regelverhalten des Ventiles, welches gebraucht zur Verfügung gestellt wurde, war nicht mehr zufriedenstellend und es wurde im Rahmen der Umbauarbeiten an der Gasregelstrecke ausgetauscht.

Durch die Änderungen in Prozesseinheit 1 wurde der Automatisierungsgrad der Anlage stark gesteigert. Der Stickstoffverbrauch konnte bisher aufgrund der fehlenden Durchflussaufzeichnung nur über die Änderung der Tankanzeige berechnet werden und die Regelung des Stützbrenners per Hand über die überdimensionierte Regelstrecke war aufwendig. Die Trägheit der Anlage machte zahlreiche manuelle Regelungen pro Versuchsreihe notwendig. Die lückenlose Aufzeichnung der Durchflüsse der gesamten Gasregelstrecke erleichtert nun die Auswertung der Versuchsreihen. Beim Stützbrenner sind die Aufzeichnungen der Durchflüsse der Betriebsmedien von besonderer Bedeutung, da mit genaueren Daten eine Optimierung der Verbräuche und der Energiebilanz einhergeht.

4.2.4 Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 2

Der Prozesseinheit 2 wurde das Abgassystem, das sich aus dem Konverter, der Quenche, dem Airmix, dem Tuchfilter und dem Saugzuggebläse zusammensetzt, zugeteilt. Die Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 2 ist in **Abbildung 27** zu sehen. [22]

Über die gesamte Abgasstrecke sind Thermoelemente verbaut, welche die Temperaturen der jeweiligen Anlagenteile messen und den Kühlbedarf für das Abgas vorgeben. Das Abgas wird im Konverter und in der Quenche durch Zweistoffdüsen mit Wasser als Kühlmedium und Druckluft als Zerstäubermedium gekühlt. Im Konverter wird der zur Nachverbrennung benötigte Sauerstoff ebenfalls über die Zweistoffdüse eingebracht, wodurch der Sauerstoff ebenfalls als Zerstäubermedium verwendet wird. Die Kühlung des Abgasstromes erfolgt über eine Konverterlanze und die sechs Quenchenlanzen.

Die Regelstrecken für die Betriebsmedien Druckluft, Sauerstoff und Wasser sind analog aufgebaut. **Abbildung 26** zeigt die Regelstrecke anhand des Betriebswassers der Quenche.

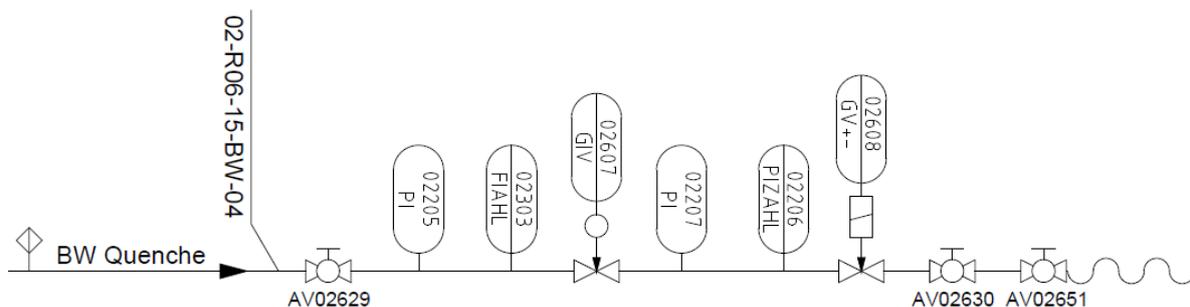


Abbildung 26: Regelstrecke Betriebswasser Quenche [22]

Das Betriebsmedium, in diesem Fall Betriebswasser, fließt von links nach rechts durch den ersten Absperrhahn, durch den die komplette Regelstrecke von der Versorgung abgeschnitten werden kann. Dies kann bei Wartungsarbeiten oder während eines Schadensfalls geschehen. Der nachfolgende Druckmesser misst den Druck in der Wasserleitung vor dem Durchflussmesser und dem Regelventil. Der Durchflussmesser misst den aktuellen Durchfluss und gibt diesen an das Prozessleitsystem weiter. Der aktuelle Durchfluss wird mit dem eingestellten Sollwert verglichen und bei einer Abweichung die Position des Reglers im Regelventil verändert. Zwei weitere Druckmesser, wobei einer vor Ort, der andere im Prozessleitstand visualisiert ist, messen den Druck nach dem Regelventil. Durch die Druckmessung vor und nach dem Regelventil kann dieses auf Dichtheit geprüft werden. Das Magnetventil komplettiert die Regelstrecke, wobei der Operator mit diesem von der Warte aus die Wasserversorgung der Lanzen öffnen oder schließen kann.

Die Hauptleitung wird auf 6 Abnehmer aufgeteilt, welche die einzelnen Quenchenlanzen versorgen. Vor der Aufteilung ist ein Absperrhahn installiert, um im Ruhezustand der Anlage bei allen Quenchenlanzen die Wasserversorgung zu sperren. Zusätzlich ist in jedem dieser Abnehmer ein Absperrhahn verbaut, um bei Bedarf einzelne Quenchenlanzen von der Wasserversorgung zu trennen.

Das Betriebswasser wird von der Betriebswasserpumpe auf den, für die Zweistoffdüsen nötigen Vordruck gebracht und über die Regelstrecke vom Tank zu den Düsen gefördert. Da der Vordruck und die Menge des benötigten Wassers proportional zur Anlagentemperatur und dem Druckluftverbrauch sind, wurde eine Bypass-Regelung eingebaut. Die Pumpe sollte immer konstant am ausgelegten Betriebspunkt arbeiten. Bei Phasen geringeren Wasserverbrauches, beispielsweise während des Hochfahrens, wird der Bypass geöffnet und das nicht zur Kühlung benötigte Wasser fließt über den Bypass wieder in den Wassertank. Damit ist eine konstante Auslastung der Pumpe über die gesamte Betriebsdauer sichergestellt. Erst bei reduzierenden Betriebsbedingungen wird die volle Pumpenleistung benötigt, es wird der Bypass geschlossen und der gesamte Förderdruck der Pumpe steht an der Düse zur Verfügung.

Durch das Airmixgebläse kann die Temperatur vor dem Filtereingang geregelt werden. Die dabei verwendeten Filterschläuche haben eine Einsatztemperatur von 150°C. Durch kontrollierte Luftzugabe mit dem Airmixgebläse kann die Temperatur nahe dieser Grenze gehalten werden. Eine höhere Abgastemperatur nach dem Filter ermöglicht auch eine höhere Kamintemperatur und dadurch einen höheren natürlichen Zug. Ein höherer Volumenstrom an Abgas senkt auch die Wasserbeladung und vermeidet die Bildung von Kondenswasser in den kälteren Anlagenteilen nach dem Filter.

Sollten höhere Abgastemperaturen als 180°C vor dem Filter anstehen, muss der Abgasstrom über die Bypassleitung in den Kamin geführt werden. Dies schützt die Filterschläuche und das Saugzuggebläse, welches den Unterdruck in der Brennkammer regelt.

Um zu gewährleisten, dass die brennbaren Gase, die im Normalbetrieb des Flash-Reaktors entstehen, im Konverter vollständig nachverbrannt werden, befindet sich in der Abgasstrecke eine Gasanalyse für die Detektion von Sauerstoff und Kohlenmonoxid. Diese ist aufgrund der hohen Abgastemperaturen und der Staubbiladung nach dem Filter angeordnet. [22]

4.2.5 Änderungen in der Prozesseinheit 2

Punkt 1 bezeichnet die einzige Änderung in der Prozesseinheit 2, wobei ein vor Ort abzulesendes Temperaturelement (TI 02111) nach dem Staubfilter durch ein in der Prozessleitwarte visualisiertes ersetzt wurde. Dies ist in **Abbildung 27** dargestellt.

Die Vorteile sind eine lückenlose Prozessdatenerfassung über die gesamte Abgasstrecke sowie die Möglichkeit, die Verluste im Filterhaus für die Energiebilanz der Anlage zu berechnen.

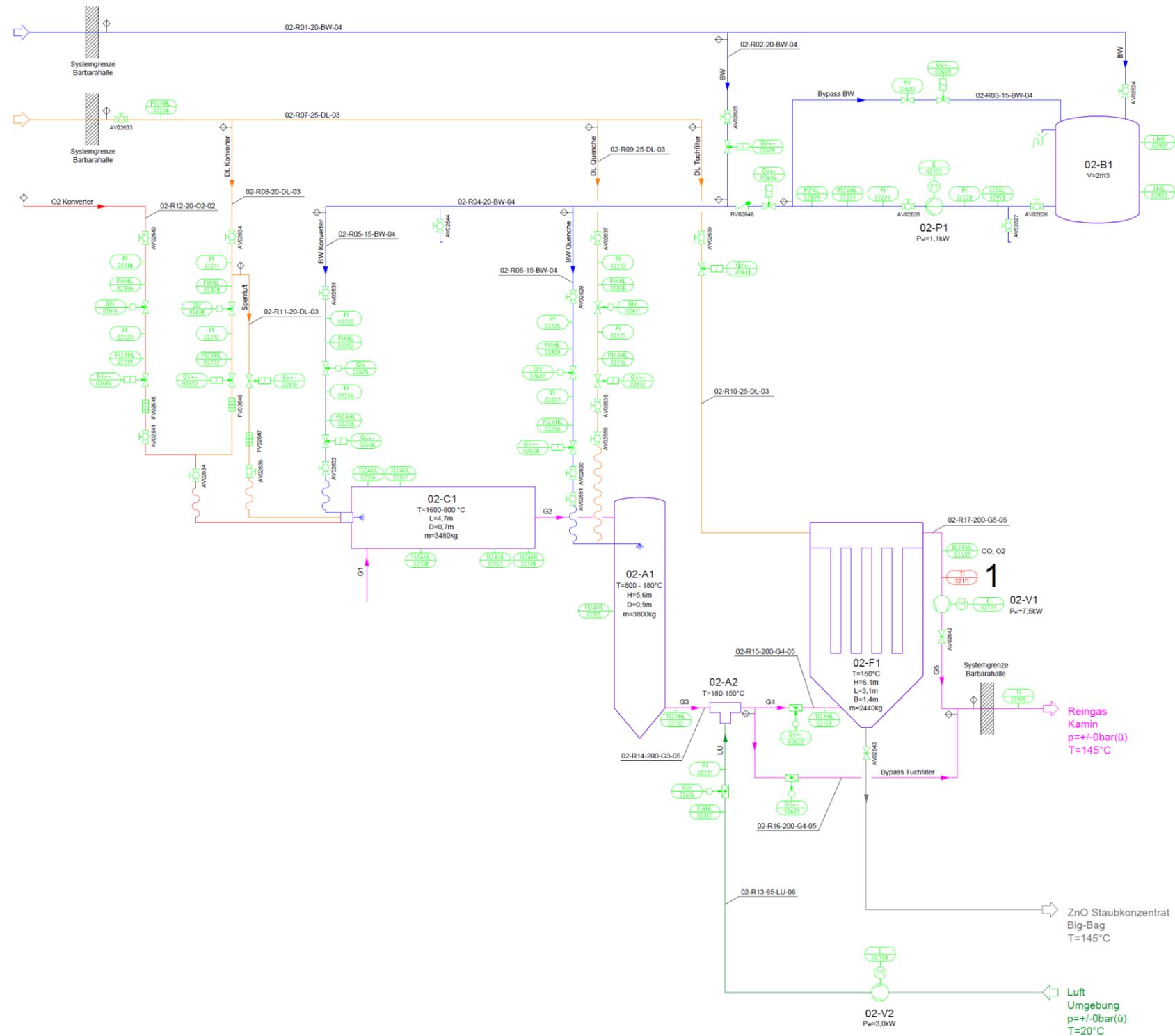


Abbildung 27: Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 2

4.2.6 Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 3

Der Prozesseinheit 3 wurde das Kühlswassersystem, welches in **Abbildung 29** dargestellt ist, zugeordnet.

Das Kühlswassersystem hat die Aufgabe, drei als kritisch errechnete Teilbereiche der Anlage, welche in **Abbildung 28** gezeigt werden, vor Überhitzung zu schützen:

- Den in Kapitel 4 beschriebenen Kühltopf (Hauptbrenner)
- Den Stahlbau im Bereich des Überganges von der Brennkammer zum Steigrohr (Wurzelkühlung)
- Das Schauglas des Pyrometers im Bereich des Steigrohres (Stutzenkühlung)

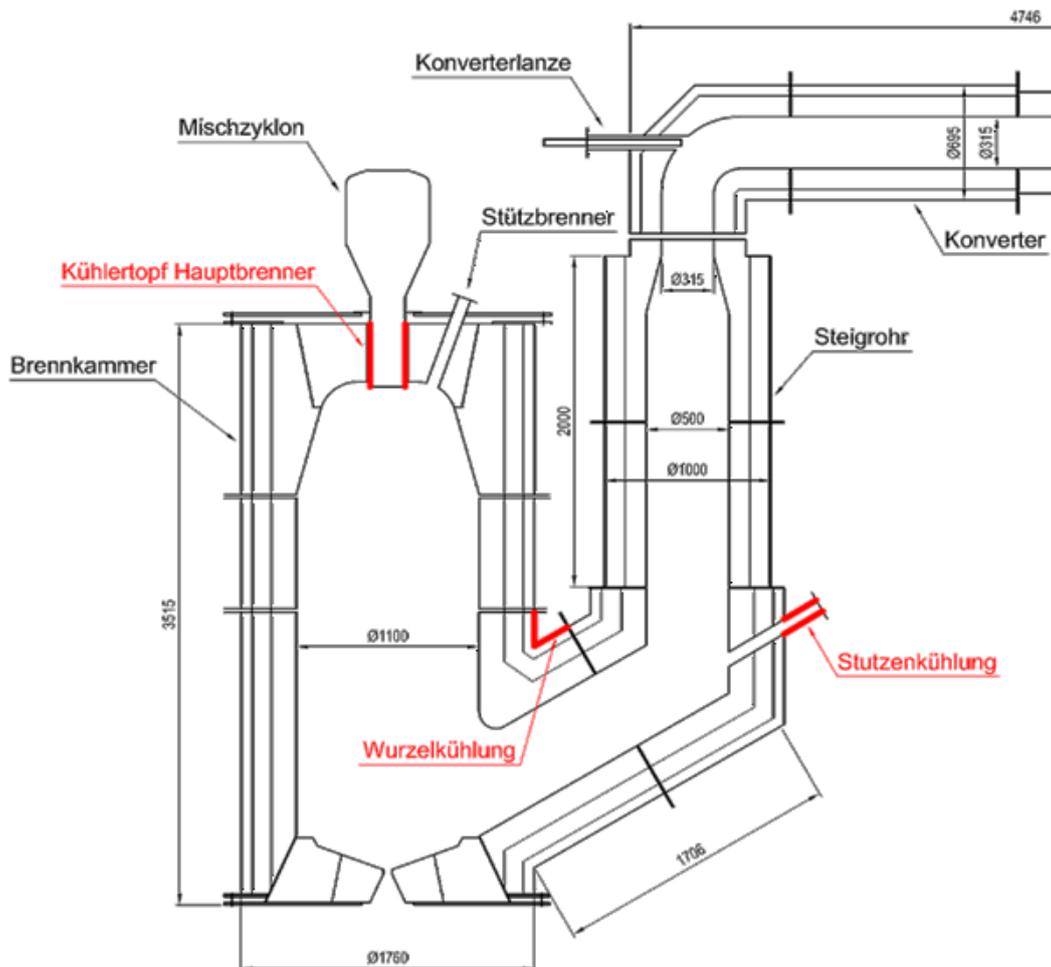


Abbildung 28: Kühlflächenanordnung am Flash-Reaktor [22]

Das Kühlwassersystem besteht aus einem teiloffenen Kühlwasserkreislauf und einem geschlossenen Kühlmittelkreislauf, die über einen Wärmeübertrager miteinander verbunden sind [22]. Die Umwälzung im Kühlwasserkreislauf erfolgt durch die Kühlwasserpumpe, welche den Kühlwasservorlauf zu den einzelnen Kühlflächen pumpt. Das Kühlwasser wird in den Kühlflächen durch den vorherrschenden Temperaturunterschied erwärmt und fließt als Kühlwasserrücklauf durch das Rohrleitungssystem zum Wärmeübertrager, der das erwärmte Kühlwasser kontinuierlich rückkühlt.

Die Aufteilung des Kühlwassers auf die einzelnen Stränge erfolgt mittels Strangregulierventilen. Durch diese kann ein definierter Massenstrom zu jeder Kühlfläche geleitet und im Schadensfall kann der komplette Kühlstrang vom Hauptsystem abgetrennt werden, um die Anlage nicht durch eintretendes Kühlwasser zu fluten.

Der Kühlmittelkreislauf wird durch eine separate Kühlmittelpumpe umgewälzt. Diese führt das Kühlmedium durch den Wärmeübertrager auf das Außendach, wo das erwärmte Kühlmedium durch einen Luftkühler rückgekühlt wird. Im Falle einer Störabschaltung, wie beispielsweise NOT-Aus oder Ausfall von Prozesseinheit 03, wird das Kühlwassersystem direkt über die Betriebswasserzuleitung mit Frischwasser gespeist.

Die Überwachung im Kühlwasserkreislauf erfolgte vor den Umbaumaßnahmen durch ein vor Ort abzulesendes Thermoelement in jedem Rücklaufstrang und ein in der Prozessleitwarte visualisiertes Flowmeter des Gesamtrücklaufes. Jeweils ein in der Prozessleitwarte dargestelltes Thermoelement ist vor und nach dem Wärmeübertrager installiert.

Im Kühlmittelkreislauf waren je ein in der Prozessleitwarte abzulesendes Flowmeter und Thermoelement verbaut. Ein vor Ort abzulesendes Thermoelement vervollständigte diese Anordnung.

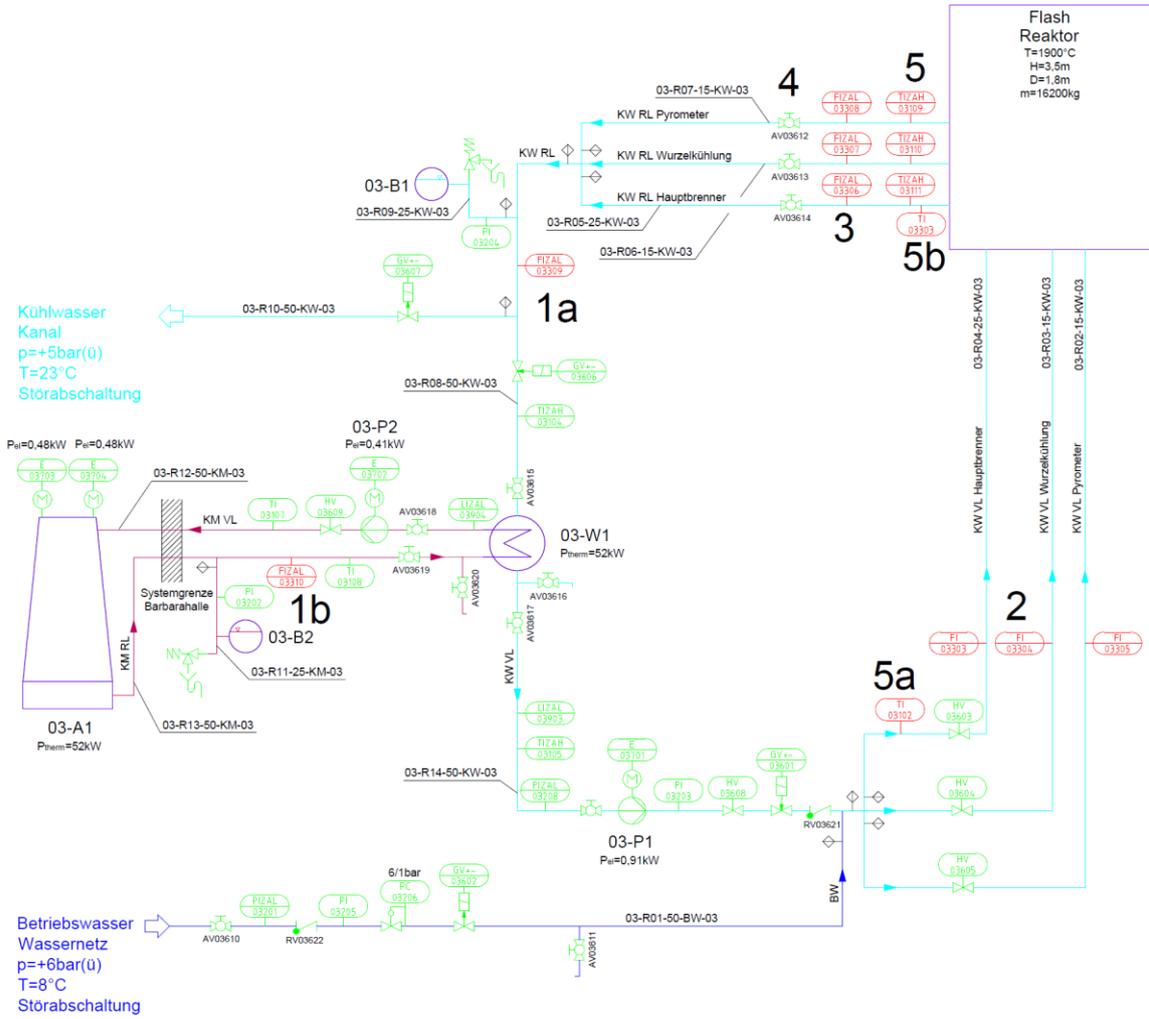


Abbildung 29: Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 3

4.2.7 Änderungen in der Prozesseinheit 3

Punkt 1 kennzeichnet den Austausch der Flowmeter im Kühlwasserkreislauf (1a FIZAL 03309) und im Kühlmittelkreislauf (1b FIZAL 03310), da diese nicht zufriedenstellend arbeiteten. Die Flowmeter belegten sich mit Verunreinigungen und lösten daher Störfallszenarien aus.

Punkt 2 und Punkt 3 markieren den Einbau von Flowmetern in den Kühlwassersträngen. (Punkt 2 Vorlauf (FIZAL 03303; FIZAL 03304; FIZAL 03305), Punkt 3 Rücklauf) (FIZAL 03306; FIZAL 03307; FIZAL 03308).

Im Verlauf der Versuchskampagnen ist bereits einmal ein Schadensereignis an einer der Kühlflächen eingetreten. Aus diesem Grund ist eine Differenzdurchflussüberwachung der einzelnen Kühlstränge installiert worden. Durch die Differenzdurchflussüberwachung mittels Flowmetern in den einzelnen Kühlsträngen, lässt sich eine Leckage schnell erkennen und einem Teilbereich zuordnen. Anschließend kann der betreffende Kühlstrang mit den Absperrventilen vom restlichen System abgetrennt werden, wobei die Funktionsfähigkeit der anderen Teilbereiche erhalten bleibt.

Es wurde in jedem Kühlstrang eine Vor- und Rücklaufüberwachung mittels Flowmeter installiert. Diese werden miteinander verglichen und sollte der Vorlauf größer sein als der Rücklauf, wird ein Störfallszenario ausgelöst. Das Messprinzip ist ein, sich proportional zur Strömungsgeschwindigkeit drehendes Flügelrad. Die aktuelle Drehzahl wird auf den Durchfluss pro Stunde extrapoliert. Durch die Hochrechnung treten beim Anzeigewert des Durchflusses Schwankungen auf. Um nicht bei jeder Schwankung ein Störfallszenario auszulösen, muss die Abweichung über einen Zeitraum von zehn Sekunden mehr als 10% des Vorlaufwertes betragen. Wenn der Vorlauf kontinuierlich größer ist als der Rücklauf, muss eine Undichtheit im System vorliegen.

Eine Leckage im Kühlwasserkreislauf kann der Operator nun an 3 verschiedenen Parametern erkennen:

1. Am Abfall des Kühlwasserdruckes
2. Am Abfall des Gesamtrückflusses
3. Dem Nicht-Übereinstimmen der Vor- und Rückläufe der einzelnen Kühlwasserstränge

Durch die dreifach redundante Absicherung kann auch bei Defekt eines der Messinstrumente ein sicherer Betrieb der Anlage gewährleistet werden.

Punkt 4 markiert den Einbau von Absperrhähnen im Kühlwasserrücklauf (AV 03612, AV 03613, AV 03614). Diese sind nötig, um im Schadensfall den Vordruck für die Pumpe zu halten und nicht das Kühlwasser über den Rücklauf der Stränge in die Anlage zu drücken.

Punkt 5 kennzeichnet den Austausch der Temperaturelemente (TIZAH 03309, TIZAH 03310, TIZAH 03311), die für die Überwachung der Kühlwasserrückläufe zuständig waren. Diese wurden durch Thermoelemente, welche in der Prozessleitwarte abzulesen sind, ersetzt.

Jenes Thermoelement, welches den Rücklauf des Kühlwassers aus dem Kühltopf überwachte, wurde direkt nach Austritt des Kühlwassers aus dem Topf installiert. Dies soll eine Verfälschung der Temperaturanzeige durch die Leitungen ausschließen und eine schnellere Reaktion auf Temperaturspitzen im Kühltopf ermöglichen.

Zwei ausgebaute, vor Ort abzulesende Thermoelemente wurden im Vor- und Rücklauf des Hauptbrenners verbaut (Punkt 5a; TI 03302 Vorlauf, Punkt 5b; TI 03303 Rücklauf). Dies gewährleistet eine Temperaturmessung der am höchsten beanspruchten Kühlfläche während eines Stromausfalles und gibt Aufschluss über die Erwärmung des Kühlwassers im Rohrleitungssystem.

4.2.8 Änderungen der Mess- und Regeltechnik

Der Automatisierungsgrad konnte durch den Austausch von vor Ort zu bedienenden Armaturen durch aus der Prozessleitwarte ansteuerbare Armaturen erheblich erhöht werden. Die Anlagensicherheit wurde durch den Einbau zusätzlicher Mess- und Regeltechnik sowie der Überarbeitung der Störfallszenarien ebenfalls erhöht.

Tabelle 7 fasst die neuen Komponenten der Mess- und Regeltechnik zusammen.

Tabelle 7: Neue Komponenten der Mess- und Regeltechnik

Funktion	Nr.	Text	Basis - Daten			Information	Gerätebezeichnung
			Medium	T [°C]	V [Nm ³ /h]		
FIAHL	01308	Sauerstoffdurchfluss Stützbrenner	O2 g	10	85	+6000	Austausch für Vorortanzeige 01303 Durchflussmesser
FIAHL	01309	Erdgasdurchfluss Stützbrenner	CH4 g	6	48	+1000	Austausch für Vorortanzeige 01306 Durchflussmesser
FI	01310	Stickstoffdurchfluss Notaus	N2 g	20	170	+5000	Austausch für Vorortanzeige 01307 Durchflussmesser
GIV	01620	Elektrisches Regelventil Sauerstoff für Stützbrenner	O2 g	10	85	+6000	Austausch für Handregelventil 01605 Magnetventil
GIV	01621	Elektrisches Regelventil Erdgas für Stützbrenner	CH4 g	6	48	+1000	Austausch für Handregelventil 01613 Magnetventil
GIV	01622	Elektrisches Regelventil Primärsauerstoff	O2 g	25	100	+6000	Austausch für Regelventil 01601 Magnetventil
TIZAHL	02111	Temperatur Abgas 5 nach Tuchfilter	G5 g	145	1182	-29	Austausch für Vorortanzeige 02104 Thermoelement
TIZAH	03109	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Pyrometer	KW l	60	0,24	+1000	Keller Kabelfühler Thermoelement
TIZAH	03110	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung	KW l	60	0,20	+1000	Keller Kabelfühler Thermoelement
TIZAH	03111	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner	KW l	60	1,20	+1000	Direkt am Kopf (1OG) Kabelfühler Thermoelement
FI	03304	Strömungswächter Kühlwasservorlauf Wurzelkühlung	KW l	45	0,20	+1000	- Strömungswächter
FI	03305	Strömungswächter Kühlwasservorlauf Pyrometer	KW l	45	0,24	+1000	- Strömungswächter
FIZAL	03306	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner	KW l	60	1,20	+1000	- Strömungswächter
FIZAL	03307	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung	KW l	60	0,20	+1000	- Strömungswächter
FIZAL	03308	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Pyrometer	KW l	60	0,24	+1000	- Strömungswächter
FIZAL	03309	Strömungswächter Pumpe 03-P1	KW l	45	5	+1000	Austausch für Strömungswächter 03301 Strömungswächter
FIZAL	03310	Strömungswächter Pumpe 03-P2	KM l	55	3,4	+1200	Austausch für Strömungswächter 03302 Strömungswächter

4.3 Neustrukturierung der Funktionsbeschreibung

Die Funktionsbeschreibung dient als Grundlage für die Programmierung der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) und für den Betrieb der Flash-Reaktor Anlage. Hier werden alle Betriebszustände und Störabschaltungen, sowie deren Auslöser beschrieben. Die Programmierung der SPS, erfolgte auf Basis der Funktionsbeschreibung von einer Fremdfirma. Das verwendete Modell ist eine Simatic-S7 der Firma Siemens und die Programmierung erfolgte in Step7 V5.4.

Die Neustrukturierung der Funktionsbeschreibung hatte folgende Punkte abzudecken:

- Die Implementierung der neu verbauten Mess- und Regeltechnik
- Die Überarbeitung der Störabschalt Szenarien
- Die Neustrukturierung der Funktionsbeschreibung, um ein übersichtlicheres Dokument zu schaffen
- Die Alarmwerte der Anlage mit den im Betrieb vorherrschenden Verhältnissen abzustimmen

Die gesamte Funktionsbeschreibung ist Anhang D beigefügt, in diesem Kapitel der Arbeit werden die Änderungen vorgestellt. Zu diesem Zweck wird die Funktionsbeschreibung kapitelweise aufgearbeitet, um die Änderungen klarer nachvollziehen zu können.

Inhaltliche Abänderungen der überarbeiteten Funktionsbeschreibung im Anhang zur Originalversion sind in kursiver Schriftart hervorgehoben. Zum besseren Verständnis der Änderungen wird empfohlen, diese gemeinsam mit der überarbeiteten Funktionsbeschreibung aus dem Anhang zu verwenden.

4.3.1 Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 1 Einleitung

Grundsätzlich existieren 4 Betriebsarten (BA). Die BA-„Hand“, auf welche in Kapitel 4.3.3 eingegangen wird, sowie die Betriebsarten „Kalt“ „Warm“ und „Normal“, wobei die Betriebsart „Normal“ in Kapitel 4.3.5 beschrieben wird. Jede Betriebsart ist für einen bestimmten Einsatz- und Temperaturbereich konzipiert und besitzt teilweise unterschiedliche Alarmfunktionen.

Die BA-Kalt dient grundsätzlich zum An- und Abfahren der Anlage in einem Temperaturbereich unter 850°C mit Hilfe des Stützbrenners, der über eine Flammenüberwachung verfügt.

Die beiden zur Überwachung herangezogenen Thermoelemente sind 01101 und 01105, jene beiden, die am tiefsten in der Feuerfestausmauerung verbaut sind. Ein Umschalten auf die BA-Warm ist erst möglich, wenn die Brennkammertemperatur über 850°C beträgt.

In der BA-Warm ist es möglich, die Anlage ohne Flammenüberwachung zu betreiben. In dieser Betriebsart kann der Hauptbrenner gezündet und die Anlage auf Betriebstemperatur hochgefahren werden.

Aufgrund der baulichen Gegebenheiten im Reaktor ist der Stützbrenner außermittig und in einem Winkel verbaut. Kombiniert mit den Strömungsverhältnissen im Reaktorraum, wird ein Bereich des Reaktors im unteren Temperaturbereich besser durchwärmt. Dadurch ergeben sich im Aufheizvorgang mit dem Stützbrenner Unterschiede in der Feuerfesttemperatur, die bis zu 100°C betragen können.

In der vorangegangenen Version der Programmierung konnte unter 800°C nur die BA-Kalt, darüber nur die BA-Warm angewählt werden. Durch das asymmetrische Ansteigen der Temperaturen war es möglich, dass keine Betriebsart anwählbar war, da ein Thermoelement über der Grenztemperatur die BA-Kalt, das andere Thermoelement unter der Grenztemperatur die BA-Warm verriegelte. Es musste in dieser Phase auf die BA-Hand gewechselt werden. Es erfolgte eine Adaption der Umschaltparameter.

TI 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	<900 [°C] oder
TI 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	<900 [°C]
und		
TI 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	>850 [°C] und
TI 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	>850 [°C]

Beide Thermoelemente müssen eine Temperatur über 850°C messen und eines muss unter 900°C liegen, um den Wechsel von der BA-Kalt in die BA-Warm zu ermöglichen.

Durch die neuen Temperaturzonen ist ein Wechsel in die BA-Hand in dieser Phase des Aufheizvorganges nicht mehr nötig.

Während des Abkühlvorganges muss das Umschalten von der BA-Warm auf die BA-Kalt ebenfalls innerhalb eines bestimmten Temperaturbereiches erfolgen. Dieses wurde verbreitert, um Unterschiede in der Temperatur der Thermoelemente zu kompensieren und dem Operator einen größeren Handlungsspielraum einzuräumen. Die Bedingung muss für beide Thermoelemente erfüllt werden.

TI 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	750<x<900 [°C] und
TI 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	750<x<900 [°C]

Fällt ein Thermoelement unter 750°C bevor auf die BA-Kalt umgeschaltet wird, kommt es automatisch zu einem Prozesshalt.

4.3.2 Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 2 Ruhezustand

Im Ruhezustand wurden die Absperrventile direkt vor den Einlässen der Brenner geschlossen, um zusätzlich manuelle Redundanz zu schaffen und die Betriebsphasen deutlich voneinander abzugrenzen. Dadurch konnten die Handregelventile für die Zündmenge des Stützbrenners in ihrer aktuellen Stellung belassen werden. Dies hat den Vorteil, dass bei jeder Zündung des Stützbrenners konstante und optimale Bedingungen vorliegen.

4.3.3 Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 3 Betriebsart Hand

Wie der Funktionsbeschreibung zu entnehmen ist, dient die Betriebsart Hand der Funktionsprobe aller schaltbaren Ventile und Antriebe, sowie dem Füllen des Dosierbehälters und des Kühlwasserkreislaufes. In der Betriebsart Hand existieren keine Verriegelungen oder Störabschalt Szenarien über die SPS. Daher ist in der BA-Hand äußerste Vorsicht geboten und umsichtiges Handeln ist Grundvoraussetzung. Sind der Kühlwasserkreislauf und der Dosierbehälter gefüllt und keine Funktionstests mehr notwendig, muss umgehend auf eine der drei anderen Betriebsarten gewechselt werden.

Einige Reinigungs- und Wartungsarbeiten im laufenden Betrieb der Anlage müssen dennoch in der Betriebsart Hand durchgeführt werden. Diese Arbeiten werden zügig und unter Beachtung besonderer Sicherheitsmaßnahmen durchgeführt.

Ein Beispiel für Reinigungsarbeiten im laufenden Betrieb in der BA-Hand ist der Wechsel von zinkhaltigem Staub als Chargiermedium zu Hochofenschlacke als Einsatzmaterial. Dieser Wechsel setzt eine Reinigung des Dosiersystems voraus, um eine Kontamination des Einsatzmaterials durch das vorangegangene so gering wie möglich zu halten. Eine einzelne Ansteuerung der Motoren der Dosiereinheit und die Förderung von Restmengen aus den Dosierschnecken sind nur in der Betriebsart Hand möglich.

Aufgrund des hohen Gefährdungspotentiales für die Anlage wurde die Betriebsart Hand mit einem Passwortschutz versehen, um die Nutzung dieser Betriebsart nur für autorisiertes Personal zu ermöglichen.

In der vorangegangenen Version der Steuerungssoftware waren 4 Bedingungen vorhanden, die die BA-Hand verriegelten. Alle Bedingungen sind für den Betrieb der Anlage zu jeder Zeit und in allen Betriebsarten unbedingt erforderlich.

Für das Programm „Betriebsart Hand (BA-Hand)“ müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

LIAL 02902	Füllstandregistrierung MIN im 02-B1	> MIN
LIZAL 02903	Trockenlaufschutz Pumpe 02-P1	> MIN
LIZAL 03903	Trockenlaufschutz Pumpe 03-P1	> MIN
LIZAL 03904	Trockenlaufschutz Pumpe 03-P2	> MIN

Sollte es durch ein Schadensereignis zum Auslösen einer dieser Punkte kommen, wären alle Betriebsarten gesperrt und die Anlage nicht mehr regelbar. Daher wurde die Bedingungen aus der BA-Hand entfernt, um im Störfall die Anlage wieder in den Normalbetrieb zu überführen oder kontrolliert herunterfahren zu können. Die Bedingungen sind jetzt vor Inbetriebnahme der Anlage und dem erstmaligem Wechsel in die BA-Hand vom Operator zu überprüfen.

Die Auffüllung des Kühlwassersystems wurde in dieses Kapitel vorgezogen und mit Erfahrungswerten für den Vordruck im System ergänzt, da dies eine weitere Einschaltbedingung für die anderen Betriebsarten darstellt.

4.3.4 Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 4 Anfahren der Anlage

Folgende neu verbaute Mess- und Regeltechniksensoren, sind jetzt zum Anfahren der Anlage als Bedingungen in der SPS implementiert.

PIZAL 01220	Stickstoffdruck Hauptleitung	> ALARM LOW
TIZAH 03109	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Pyrometerkühlung	< ALARM HIGH
TIZAH 03110	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung	< ALARM HIGH
TIZAH 03111	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner	< ALARM HIGH
FIZAL 03306	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner	> ALARM LOW
FIZAL 03307	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung	>ALARM LOW
FIZAL 03308	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Pyrometer	> ALARM LOW

Folgende Unterkapitel wurden neu strukturiert und ergänzt:

- 4.1.1 Inbetriebnahme Prozesseinheit 01: Flash-Reaktor inkl. Brennkammer und Steigrohr
- 4.1.2 Inbetriebnahme Prozesseinheit 02: Abgassystem (Konverter, Quenche, Airmix und Filter)

Die Neustrukturierung betrifft insbesondere die Abgaskühlung, um den Verbrauch an Betriebswasser und das daraus entstehende Kondenswasser in der Abgasstrecke so gering wie möglich zu halten.

Unterkapitel 4.1.1: Inbetriebnahme Prozesseinheit 01: Flash-Reaktor inkl. Brennkammer und Steigrohr

Dieses Unterkapitel befasst sich mit der Inbetriebnahme und dem Aufheizen des Reaktorraumes. Durch den veränderten Ruhezustand der Anlage sind jetzt mehr Absperrhähne zu öffnen, was nun ergänzt wurde.

Die Bypass-Handregelventile für den Stützbrenner sind bereits auf die richtige Zündmenge eingestellt und in dieser Stellung zu belassen. Nach Zündung des Stützbrenners sind die Zweistoffdüsen des Konverters und der Quenche mit Druckluft zu beaufschlagen, um eine thermische Beschädigung zu verhindern. Diese beiden Unterpunkte wurden eingefügt.

Der Hauptbrenner ist so früh wie möglich zu zünden, da er sich durch ein besseres Regelverhalten und eine homogenere Temperaturverteilung charakterisiert.

Der optimale Betriebspunkt der Anlage wurde bei 1900°C erwartet. Die ersten Versuchsreihen zeigten eine deutlich bessere Performance bei 1700°C. Eine Temperatur in der Funktionsbeschreibung einer Versuchsanlage vorzugeben scheint nicht sinnvoll, daher wurden diese Vorgaben entfernt und die Betriebstemperatur als zu wählender Parameter offen gelassen.

Unterkapitel 4.1.2: Inbetriebnahme Prozesseinheit 02: Abgassystem (Konverter, Quenche, Airmix und Filter)

Dieses Unterkapitel beschäftigt sich mit der Abgaskühlung und der Inbetriebnahme des Abgassystems. Es wurde die Inbetriebnahme des Airmix-Gebläses vorgezogen, um den Betriebswassereinsatz zu minimieren. Dieser wird erst ab Beginn des Chargierens von Staub vorgeschlagen. Die daraus resultierende höhere Abgastemperatur erhöht die Temperatur im Filterhaus sowie im Kamin und es entsteht in diesen weiter hinten in der Abgasstrecke gelegenen Anlagenteilen weniger Kondenswasser.

Die in der vorangegangenen Version der Funktionsbeschreibung vorgeschlagenen Temperaturen zur Inbetriebnahme der Kühleinrichtungen von Konverter und Quenche wurden angehoben, um eine höhere Abgastemperatur zu bewirken.

4.3.5 Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 5 Normalbetrieb der Anlage

Der Normalbetrieb der Anlage ist für einen längerfristigen, kontinuierlichen Produktionsbetrieb gedacht. Hier wird mithilfe aller aktiven Alarme Staub dosiert. Dieses Kapitel wurde neu strukturiert und ermöglicht jetzt ein leichteres und übersichtlicheres Umstellen der Anlage von der Aufheizphase in den Produktionsbetrieb.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln wurde die vorgegebene Betriebstemperatur entfernt und mit Richtwerten für die wichtigsten Sensoren der Anlage in Abhängigkeit der Betriebstemperatur ergänzt.

Die neue Struktur des Kapitels enthält jetzt folgende Unterpunkte:

- 5.1 Vorbereiten der Anlage zum Staubdosieren
 - 5.1.1 Inbetriebnahme des Betriebswassersystems für Konverter und Quenche
 - 5.1.2 Umstellen des Brenners auf reduzierende Bedingungen und Einschalten der Nachverbrennung
 - 5.1.3 Inbetriebnahme des Filters
- 5.2 Regelung durch den Operator von der Warte aus
- 5.3 Regelung durch den Operator per Hand
- 5.4 Regelstrecken und Steuergeräte

Die erhöhte Anzahl der Unterkapitel schlüsselt die einzelnen Teilschritte des komplexen Umschaltvorganges besser auf. In Unterkapitel 5.1.1 sind zusätzlich Regelbereiche für die Konvertertemperatur aus dem Erfahrungsschatz festgehalten, um die Kohlenmonoxidbildung bei der Nachverbrennung zu minimieren.

4.3.6 Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 6 Herunterfahren der Anlage

Analog zum Kapitel 5 der Funktionsbeschreibung wurden neue Unterkapitel verfasst, die folgende Themengebiete abdecken:

- 6.1 Stoppen des Staubeintrages und Herstellen des Normalzustandes
- 6.2 Herunterfahren der Anlage und Überführen in den Ruhezustand

4.3.7 Änderung der Funktionsbeschreibung - Kapitel 7 Störabschaltungen

Es gibt 5 verschiedene „Störabschaltungen der Anlage“, in welchen die Anlage selbständig von der SPS in einen sicheren Zustand gebracht wird. Aufgrund von sicherheitstechnischen Betrachtungen und Überlegungen wurden folgende Programme für die „Störabschaltungen der Anlage“ definiert:

Prozesshalt

Ausfall von Betriebswasserpumpe 02-P1

Ausfall von Prozesseinheit 03

Stromausfall

NOT-Aus

Für jedes dieser Programme wurde festgelegt, welche Ventile und Antriebe von der speicherprogrammierbaren Steuerung geschaltet werden bzw. durch welche Bedingungen die entsprechende Störabschaltung ausgelöst wird.[22]

Es wurden die Erfahrungswerte aus den bisherigen Versuchskampagnen genutzt und die neu verbaute Mess- und Regeltechnik in die Störfallszenarien eingearbeitet.

Prozesshalt

Ist die Anlage im Produktionsbetrieb, d.h. es wird mithilfe aller aktiven Alarme Staub dosiert und der Operator bemerkt ein akutes Problem, sollte ein Prozesshalt ausgelöst werden. Dieses Szenario stoppt die Staubdosierung, die Brenner sowie die Nachverbrennung nach 10 Sekunden und leitet gasförmigen Stickstoff in die Anlage, während das Kühlwassersystem in Betrieb bleibt. Die Anlage ist sofort in einem sicheren Zustand und erlaubt dem Operator, sich mit der Lösungsfindung zu beschäftigen. Ein Prozesshalt sollte dann ausgelöst werden, wenn Unklarheit über den vorliegenden Betriebszustand herrscht.

Für das Störfallszenario „Prozesshalt“ wurden 2 neue Auslösekriterien in die SPS integriert. Das Drücken des „Prozesshalt“-Buttons auf den Schaltschränken muss einen Prozesshalt auslösen. Diese Maßnahme wurde in die SPS bereits implementiert, sie wurde aber nicht in der Funktionsbeschreibung dokumentiert. Des Weiteren soll bei Abfall der Temperatur der Thermoelemente TI 01101 und TI 01105 unter 750°C - und es ist nicht die Betriebsart Kalt angewählt - ein Prozesshalt ausgelöst werden. Diese Maßnahme soll sicherstellen, dass bei jeder Anlagentemperatur die richtige Betriebsart angewählt ist.

Ausfall von Prozesseinheit 03

Das Störfallszenario „Ausfall von Prozesseinheit 03“ ist für einen Schadensfall des Kühlwassersystems ausgelegt worden. In diesem Szenario wird das im Normalbetrieb der Anlage geschlossene Kühlwassersystem geöffnet und durch ein offenes, mit Frischwasser gespeistes System ersetzt. Der Wärmeübertrager und das Rückkühlsystem auf dem Dach des Gebäudes werden daher nicht mehr benötigt. Ein Beispiel für das Auslösen dieses Schadensfalles wäre das Überschreiten der Temperaturgrenzen im Kühlwasserrücklauf.

Die neu verbauten Mess- und Regeltechniksensoren werden hier in die SPS integriert. Anstatt den Betrieb in den Prozesseinheiten 1 und 2 normal weiterlaufen zu lassen, wird für diese jetzt ein Prozesshalt ausgelöst. Der Operator wird entlastet und die Anlage selbständig in einen sicheren Zustand überführt.

Die folgenden Auslösekriterien wurden eingefügt:

1. Bei einer Kühlwasser-Rücklauftemperatur > 80 [°C].

TIZAH 03109	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Pyrometerkühlung	> 80 [°C]
TIZAH 03110	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung	> 80 [°C]
TIZAH 03111	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner	> 80 [°C]

2. Bei Abweichung der Kühlwasserströme

FIZAL 03306	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Pyrometerkühlung	$< 0,9 * FI$ 03303
FIZAH 03307	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung	$< 0,9 * FI$ 03304
FIZAH 03308	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner	$< 0,9 * FI$ 03305

Die neu eingebauten Thermoelemente lösen bei einer Überschreitung der maximalen Rücklautemperatur das Störfallszenario aus. Ebenso wird das Störfallszenario ausgelöst, wenn die Vor- und Rückläufe der einzelnen Stränge zueinander eine Abweichung aufweisen. Sollte eine Abweichung mit dem Faktor 0,9 länger als 10 Sekunden auftreten wird das Störfallszenario ausgelöst. Der Faktor 0,9 bedeutet dass der Wert des FI 03305 mit 0,9 multipliziert und dann mit dem Wert des FIZAH 03308 verglichen wird. Wird die Bedingung $FIZAH\ 03308 < 0,9 * FI\ 03305$ länger als 10 Sekunden erfüllt, tritt das Störfallszenario ein.

Bei den Störfallszenarien „Ausfall von Betriebswasserpumpe 02-P1“, „Stromausfall“ sowie „NOT-Aus“ waren keine Änderungen erforderlich.

Im Anhang der Funktionsbeschreibung sind alle Alarmwerte der einzelnen Mess- und Regeltechnikensensoren in Tabellenform gelistet. Die Auslegung erfolgte zusammen mit dem Engineering der Anlage auf eine Betriebstemperatur von 1900°C. Nach dem Vergleich mit den Datenaufzeichnungen der Versuchsreihen erfolgte eine Anpassung an die tatsächlich vorherrschenden Betriebsbedingungen der Anlage.

Die Neustrukturierung der Funktionsbeschreibung hat insbesondere für weniger routinierte Operatoren der Anlage einen übersichtlichen Leitfaden geschaffen. Für die Alarmwerte sollte regelmäßig eine Aktualisierung vorgenommen werden, da diese in der Visualisierung des Steuerprogrammes an die Einsatzbedingungen angepasst werden können.

5 Schlussfolgerung und Ausblick

Der neue Flash-Reaktor Kopf hat sich im ersten Praxistest ausgezeichnet bewährt. Eine Leistungssteigerung der Förderrate war problemlos möglich. Weitere Leistungstests der Förderrate werden zeigen, ob sich das System auch bei höheren Förderraten bewiesen kann. Im Betrieb mit 100 kg/h kam es zu keinerlei Rückstau von Eintragsmaterial, die einen diskontinuierlichen Betrieb notwendig machten. Bei optischer Kontrolle durch das Schauglas, gab es keinen Hinweis auf Strähnenbildung oder anderen Phänomenen, die gegen eine weitere Leistungssteigerung sprechen. Die Ausbildung von Anbackungen am unteren Ende des Kühltropfes ist dennoch aufgetreten, hier besteht noch Optimierungspotential.

Beim Übergang vom konischen Mittelteil, auf den zylindrischen Kühltropf ist beim Aktuellen Design eine Kante vorhanden, die den Aufbau einer Rotationsströmung stört. Diese Problemstellung konnte beim alten Design des Kopfes nicht erkannt werden. Die radiale Einbringung des Sekundärsauerstoffes am unteren Teil des konischen Mittelteiles, sorgte für eine starke Verwirbelung des Staubes in diesem Bereich.

Der mittlere Teil und der Kühltropf, sollten leicht konisch und aus einem Teil ausgeführt werden, um den Staub direkt in die Brennerflamme zu führen. Damit sollte das Aufschmelzverhalten des Staubes weiter verbessert werden.

Der Kopf sollte unterhalb der Eintragsschnecke nur mehr eine Öffnung aufweisen, die des Sekundärsauerstoffeinlasses. Beim aktuellen Kopfdesign stören der Stickstoffeintrag und das Spülluftgebläse den Aufbau der Strömung. Durch den großen Durchmesser des Spülluftgebläseanschlusses, wird Staub durch die ausgebildete Rotationsströmung in die Zuleitung des Spülluftgebläses gedrückt.

Ein kurzes Anfahren des Gebläses am Ende des Dosiervorgangs verhindert eine Verfälschung der Massenbilanz, ist aber keine optimale Lösung. Die Anschlüsse müssen aus Sicherheitsgründen im oberen Kopfteil positioniert werden, da es bei einem Eintragsstop oder Störfall des Brenners, durch den Aufstieg von heißem Gasen sehr schnell zu einem Anstieg der Kopftemperatur kommt. Aus diesem Grund muss die Kühlvorrichtung mit Druckluft oder Stickstoff im oberen Kopfteil vorhanden sein. Ein geringer Volumenstrom reicht aus, um einem Temperaturanstieg entgegenzuwirken.

Ein Lösungsansatz wäre der Verschluss des Spülluftgebläseanschlusses mit einem Blindflansch, da dieses nur während des Aufheizens mit dem Stützbrenner benötigt wird.

Ein Blindflansch für den Anschluss der Eintragsschnecke wäre ebenfalls anzudenken. Bei Reinigungs- oder Wartungsarbeiten muss die Dichtheit des Kopfes gewährleistet sein, da es durch unkontrollierten Falschlufteintrag zu einem Temperaturabfall in der Reaktorkammer und zu einem Temperaturanstieg in den hinteren Anlagenteilen kommen kann.

Die maximale Abweichung der Kühlstränge zueinander ist Initial mit dem Faktor 0,9 bestimmt worden. Der Kühlwasserbedarf an der Wurzelkühlung und am Pyrometer ist geringer als am Kühltopf. Aus den geringeren Strömungsgeschwindigkeiten resultieren höhere Messungenaugigkeiten, die eine Anpassung des Faktors notwendig machten. Die Schwankungen der Anzeigewerte könnten durch einen Mittelwert über die letzten 2 Sekunden minimiert werden. Somit wäre ein Trend, beispielsweise beim Abfall des Rücklaufdurchflusses leichter erkennbar.

Während eines Störfalles wird der Bypass im Konverter geöffnet und die gesamte verfügbare Druckluft strömt durch die Konverterdüse um diese zu kühlen. In diesem Bypass sind keine Regeleinrichtungen die den Volumenstrom regulieren verbaut. Sind die Reserven im Pufferbehälter der Druckluft verbraucht, strömt die gesamte vom Kompressor geleistete Kapazität durch diese Rohrleitung. Der Einbau eines Strangreguliertventiles wäre sinnvoll.

6 Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

1. **Antrekowitsch, J.** *Aufbereitung komplexer schwermetallhaltiger Reststoffe aus der Metallurgie.* Montanuniversität Leoben : s.n., 2009. Habilitation.
2. **Kepplinger, W.** *Skriptum Werkstoffe der Verfahrenstechnik.* Montanuniversität Leoben : s.n., 2008.
3. **Telle, R.** *Feuerfeste Werkstoffe.* s.l. : Springer Verlag Heidelberg, 2007. Online ISBN 978-3-540-49469-0.
4. **Hasse, S.** *Gießerei-Lexikon 2008.* s.l. : Fachverlag Schiele & Schoen, 2008. ISBN 9783794907533.
5. **Geith, M. and M. Buchebner.** *Die Feuerfestzustellung von RH-Anlagen.* Leoben : RHI Refractories, 2003.
6. **Håvard, M.** *Compatibility Study of Carbon-Based Refractory Materials utilized in Silicomanganese Production Furnaces.* s.l. : Norwegian University of Science and Technology, Department of Materials Science and Engineering, 2011.
7. **Hloben, P.** *Refractory materials: Major industrial applications.* Bryanston, South Africa : REXXON Corp., 2000. ISBN 0620258675, 9780620258678.
8. **Duncanson, P.L. and J.D. Toth.** *The truth and myth of freeze lining technology for submerged arc furnaces.* Columbia, Tennessee USA : UCAR Carbon Company Inc.
9. **Sylvén, P.** *The UCAR refractory Advantage for blast furnaces.* Rancho : GrafTech International, 2006.
10. **Sylvén, P., P. L. Duncanson and L. Fontes.** *Selecting lining materials to achieve long and productive blast furnace hearth campaigns.* s.l. : Graftech International, 2012.
11. **Coetzee, C., P.H. Lamont, P.L. Duncanson and P. Sylven.** *GrafTech Installation of Jindal 2 FeCr Furnance.* s.l. : GrafTech International, 2009.
12. **Zietsman, J. H.** *Interactions between freeze lining and slag bath in ilmenite smelting.* University of Pretoria : s.n., 2004.
13. **Pethke, J., T. Stisovic and P. Sylvén.** *New hearth lining direction at Salzgitter Flachstahl blast furnace B.* 2004.

14. **van Laar, R. and K. Andreev.** *Blast furnace bottom and hearth – expansion considerations.* Indianapolis, USA : AIStech, 2007.
15. **Campforts, M.** *The formation of freeze linings: a microstructural perspective.* s.l. : K.U.Leuven, Umicor, 2009.
16. **Sylvén, P. and P. L. Duncanson.** *Record breaking blast furnace hearth campaigns - an update 2010.* s.l. : UCAR Refractory Systems and GrafTech International, 2010.
17. **Pethke, J., T. Mirkovic, V. Hille and R. Hebel.** *Blast furnace hearth campaigns with different hearth designs at Salzgitter Flachstahl.* Stahleisen Communications . s.l. : Stahl und Eisen Nr.4, 2012.
18. **Coetzee, C., P.H. Lamont, D. Bessinger, J. Rabe, J. Zietzman and J. Müller.** *Application of UCAR® CHILL KOTE™ lining to ilmenite smelting.* 2007.
19. **Schönberg, A.** *Verfahrenstechnische Auslegung einer Flash-Reaktor Pilotanlage zum Einschmelzen schwermetallbelasteter Stäube.* Diplomarbeit. Technische Universität Graz : s.n., 2011.
20. **Delfs, N.** *Detail Engineering sowie Inbetriebnahme einer Flash-Reaktor Pilotanlage zum Einschmelzen schwermetallbelasteter Stäube.* Masterarbeit. Montanuniversität Leoben : s.n., 2010.
21. **Houben, J.** *Design of a cyclone for dispersion of dust.* Montanuniversität Leoben : s.n., 2011.
22. **Werner, A.** *Planung und Bau einer Flash Reaktor Pilotanlage zum Einschmelzen schwermetallbelasteter Stäube Schwerpunkt EMSR-Technik.* Masterarbeit. Montanuniversität Leoben : s.n., 2010.
23. **DIN 19227 Teil 1.** Graphische Symbole und Kennbuchstaben für die Prozessleittechnik - Darstellung von Aufgaben. 1993.
24. **DIN 19227 Teil 2.** Graphische Symbole und Kennbuchstaben für die Prozessleittechnik - Darstellung von Einzelheiten. 1991.
25. **ÖNORM EN 746 Teil 2.** Industrielle Thermoprozessanlagen- Sicherheit und Schutz an Feuerungen und Brennstoffführungssysteme. 1997.

6.2 Abkürzungsverzeichnis

BA	Betriebsart
Al ₂ O ₃	Aluminiumoxid
ca.	circa
cm	Zentimeter
EMSR-Technik	Elektro- Mess- Steuer und Regeltechnik
kg/h	Kilogramm pro Stunde
kW/m ²	Kilowatt pro Quadratmeter
mm	Millimeter
mm ²	Quadratmillimeter
MSR	Mess- und Regeltechnik
R&I	Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TE	Thermoelemente
x ₁₀	Charakteristischer Durchmesser x ₁₀
x ₅₀	Charakteristischer Durchmesser x ₅₀
x ₉₀	Charakteristischer Durchmesser x ₉₀
W/mK	Watt pro Meter und Kelvin
°	Grad
°C	Grad Celsius
°C/cm	Grad Celsius pro Zentimeter

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wärmeleitfähigkeiten von freeze-layer Materialien[9][11] [13].....	9
Tabelle 2: Konzeptvergleich freeze-layer - Isolation	19
Tabelle 3: Temperaturvergleich des Hochofens B der Salzgitter Flachstahl mit und ohne freeze-layer [10]	20
Tabelle 4: Simulationsergebnisse für $\Theta = 0^\circ$ [21]	31
Tabelle 5: Simulationsergebnisse für die rechteckige Einlaufgeometrie[21]	33
Tabelle 6: Abkürzungsverzeichnis der Mess- und Regeltechnik [22].....	42
Tabelle 7: Neue Komponenten der Mess- und Regeltechnik.....	55

6.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Isolationskonzept einer Feuerfestausmauerung [7]	5
Abbildung 2: Wärmleitfähigkeit von feuerfesten Werkstoffen [2]	6
Abbildung 3: Freeze-lining Konzept einer Feuerfestausmauerung [7]	8
Abbildung 4: Seitenwand eines freeze-lining Konzeptes [8]	12
Abbildung 5: Zustellung eines Hochofen mit Abnutzungserscheinungen [17]	14
Abbildung 6: Boden eine Hochofens mit dem freeze-layer Konzept [17]	15
Abbildung 7: Periodische Ausbildung einer Schutzschicht [17]	16
Abbildung 8: Spaltbildung in freeze-linings [17]	17
Abbildung 9: Ausbildung von Zonen geringerer Festigkeit [17]	18
Abbildung 10: Prozessschema des RecoDust Verfahrens [19]	22
Abbildung 11: Flash-Reaktor Kopf im Urzustand	25
Abbildung 12: Mittelteil mit Ringleitung des Flash-Reaktor Kopfes im Urzustand	27
Abbildung 13: Modell des Mittelteils mit Ringleitung des Flash-Reaktor Kopfes im Urzustand	27
Abbildung 14: Zonen thermischer Beanspruchung des Kühltopfes	29
Abbildung 15: Beispielhafte Auswertung von 2 Simulationsergebnissen [21]	30
Abbildung 16: Verweilzeit der Partikel im Zyklon [21]	34
Abbildung 17: Abweichung der Partikelflugbahn vom mittleren Durchmesser [21]	35
Abbildung 18: Oberteil des überarbeiteten Flash-Reaktor Kopfes... Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Abbildung 19: Innenseite des oberen Kopfteiles mit Brennerführungen	37
Abbildung 20: Überarbeiteter Flash-Reaktor Kopf	38
Abbildung 21: Überarbeiteter Kühltopf	39
Abbildung 22: Graphische Darstellung der M&R – Stellen [22]	40
Abbildung 23: Symbole der Mess- und Regeltechnik [22]	41
Abbildung 24: Bezeichnung der Mess- und Regeltechnik [22]	41
Abbildung 25: Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 1	45
Abbildung 26: Regelstrecke Betriebswasser Quenche [22]	47
Abbildung 27: Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 2	50
Abbildung 28: Kühlflächenanordnung am Flash-Reaktor [22]	51

Abbildung 29: Mess- und Regeltechnik der Prozesseinheit 3.....53

Anhang A: Simulationsbericht

1 Graphs

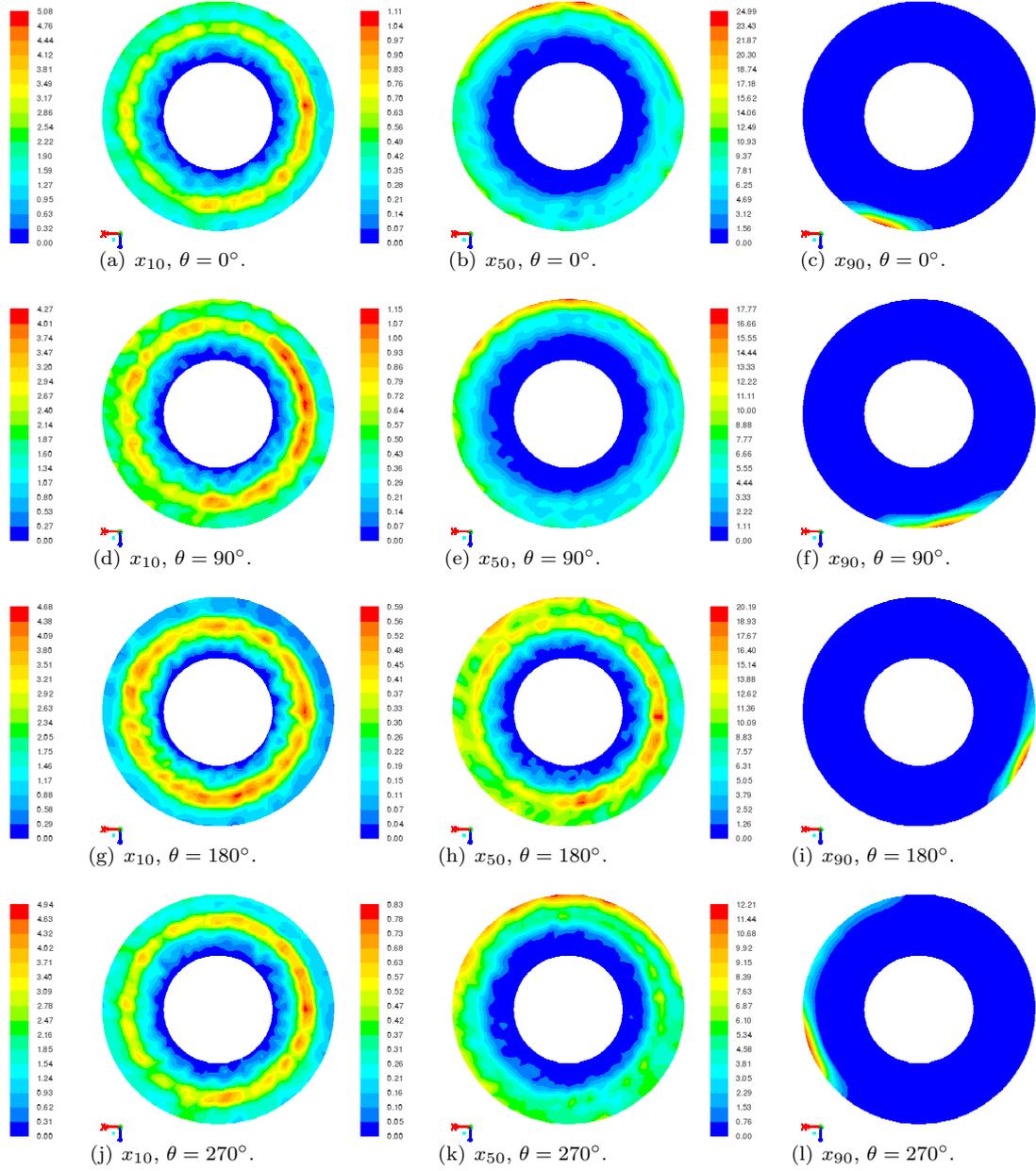


Figure 1: Inlet $\frac{a}{b} = 1$.

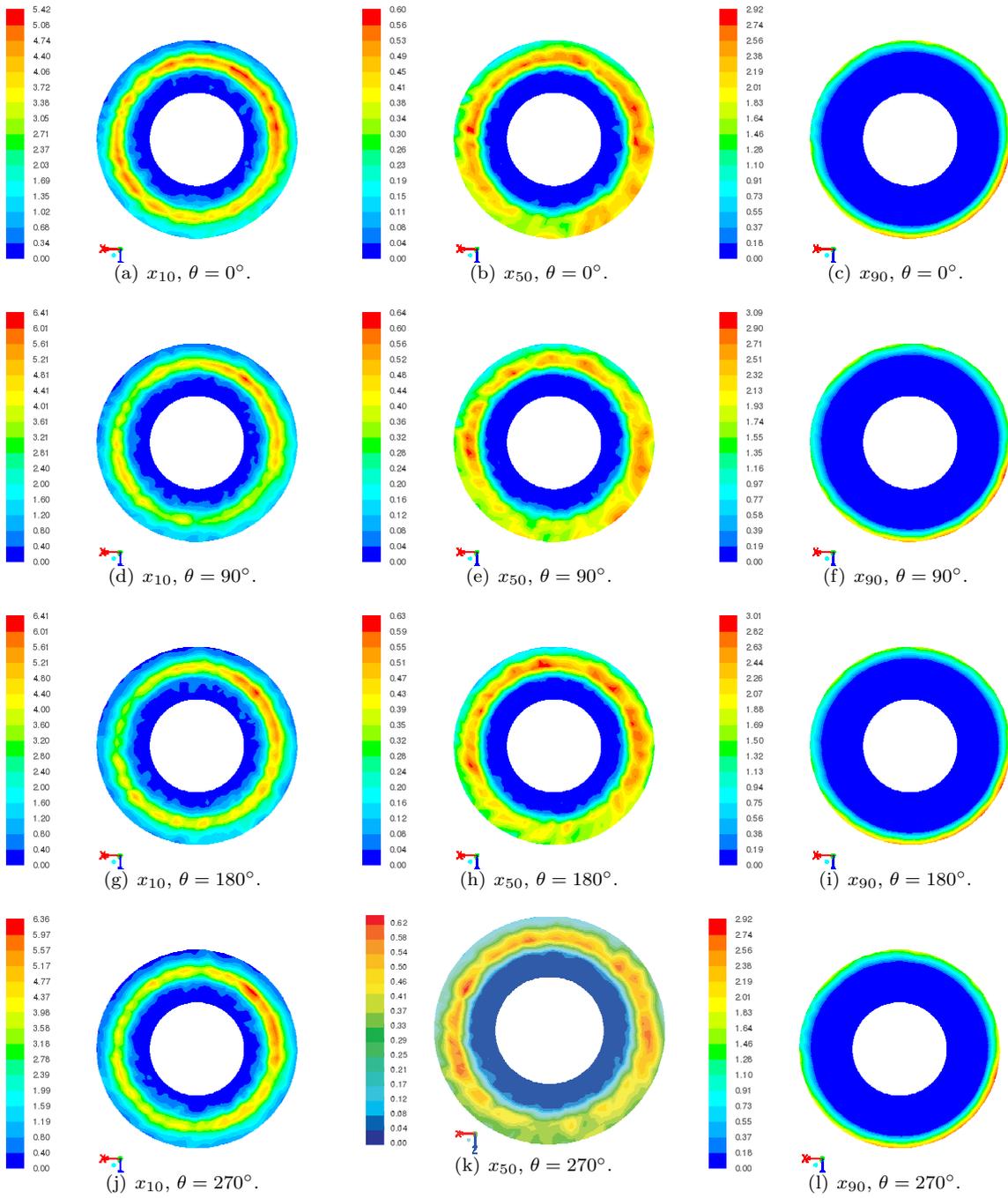
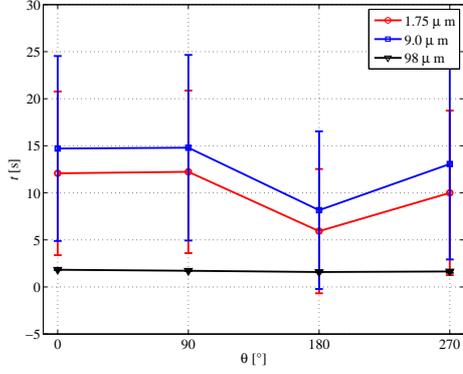
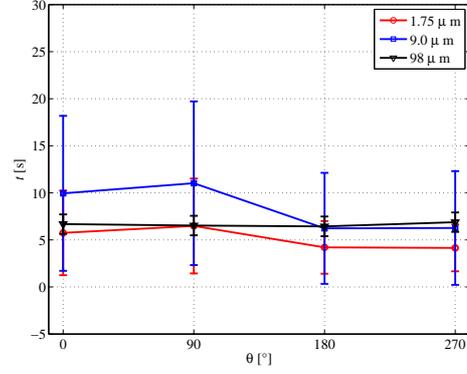


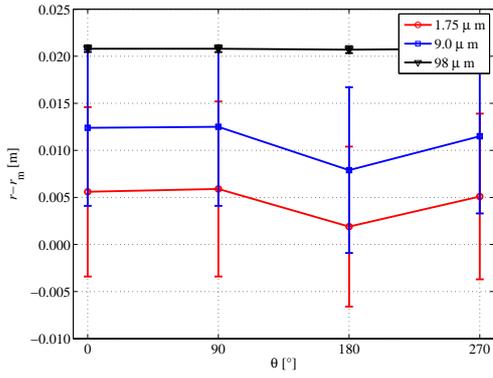
Figure 2: Inlet $\frac{a}{b} = 2$.



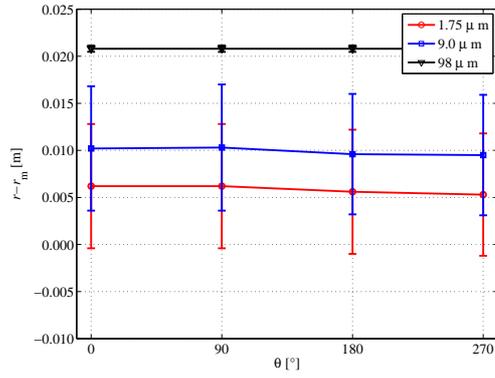
(a) Residence time.



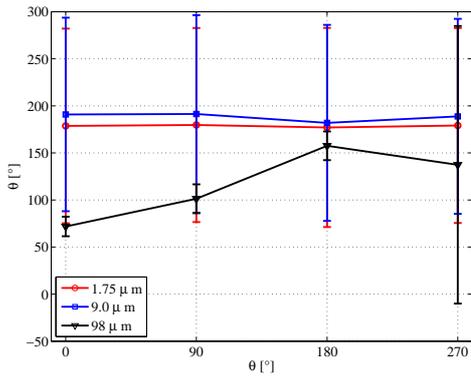
(b) Residence time.



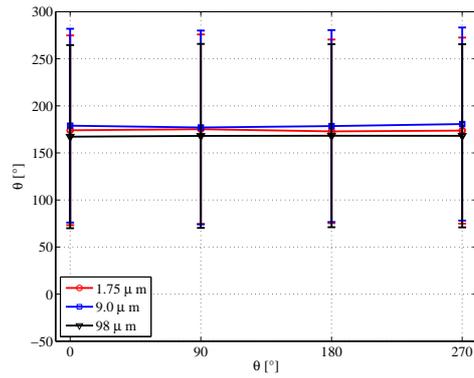
(c) Radial position.



(d) Radial position.



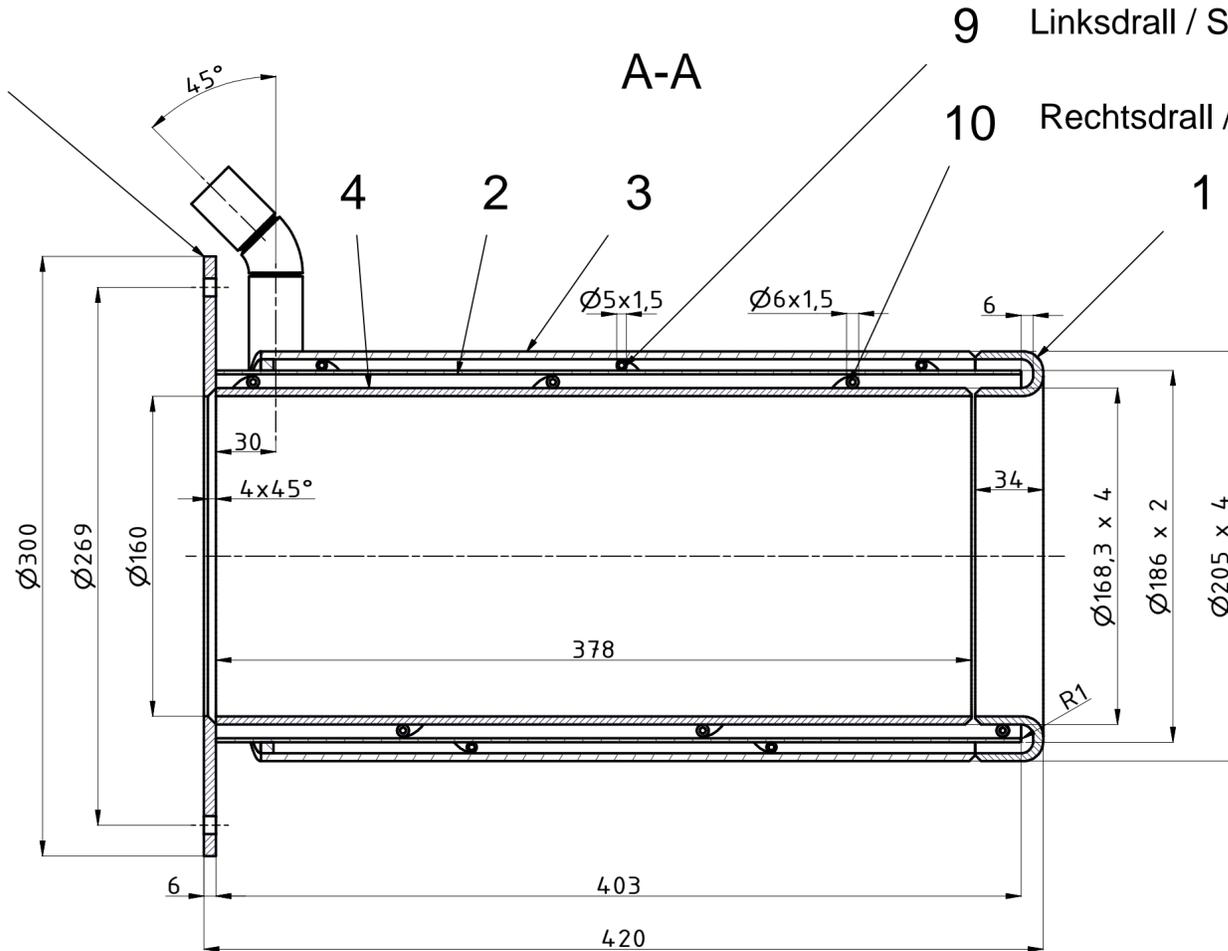
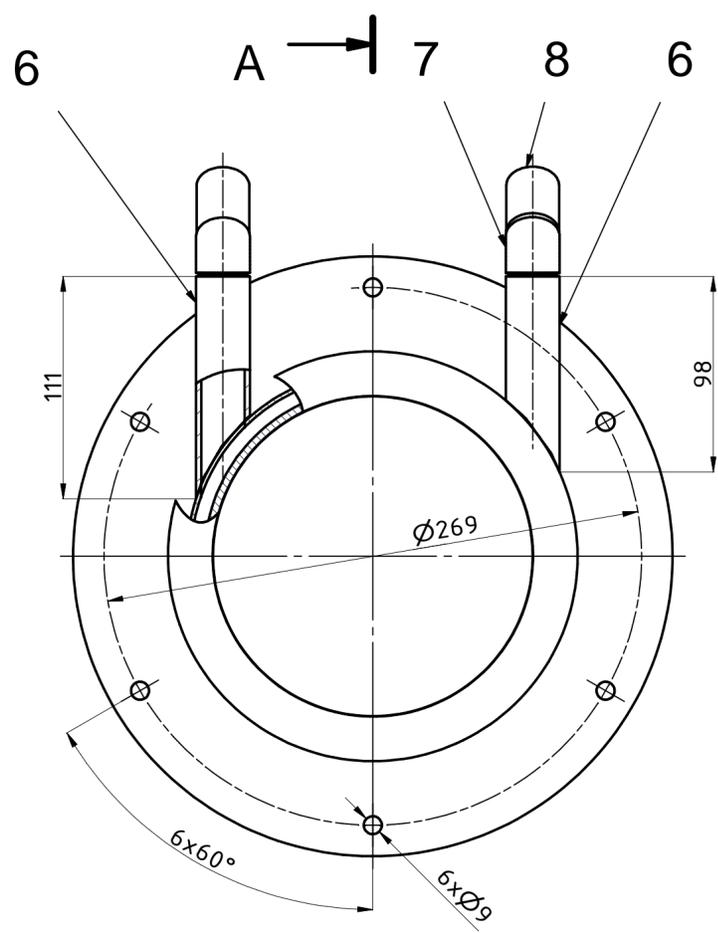
(e) Angle.



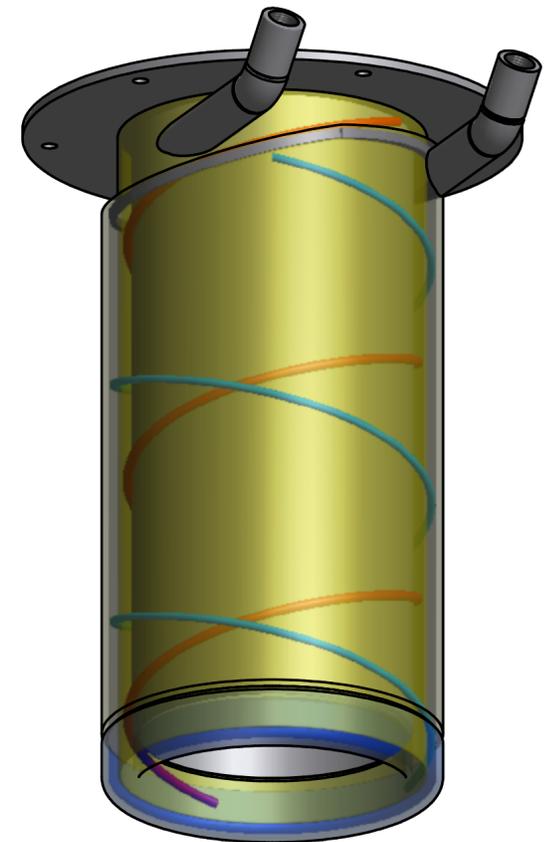
(f) Angle.

Figure 3: Inlet configurations: $\frac{a}{b} = 1$ (left); $\frac{a}{b} = 2$ (right).

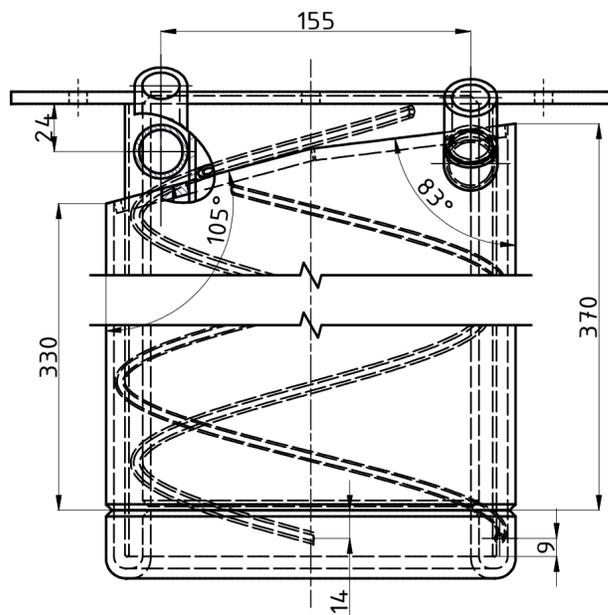
Anhang B: Konstruktionszeichnung des Kühltopfes



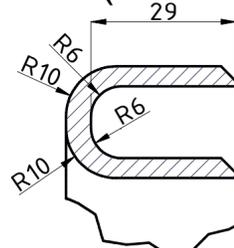
- 9 Linksdrall / Steigung 150 mm
- 10 Rechtsdrall / Steigung 150 mm



A →

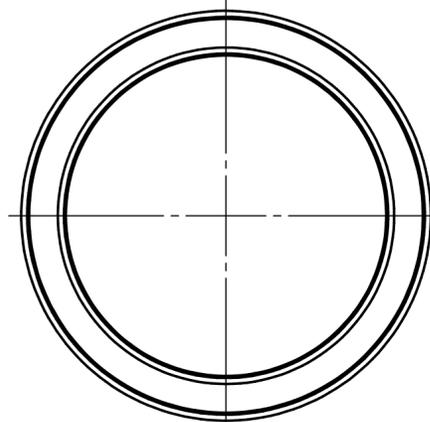


D (1:1)

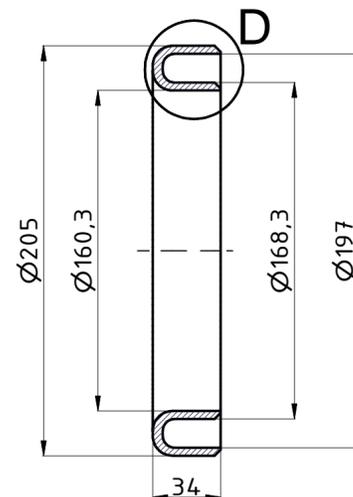


Pos. 1

B →

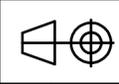


B-B



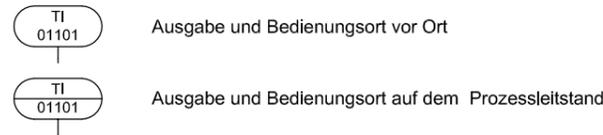
Pos.Nr.	Anz.	Bezeichnung	Norm	Abmessg.	Werkstoff	Bemerkung
10	1	Rohr 6 x 1,5			1.4571	
9	1	Rohr 5 x 1,5			1.4571	
8	2	Muffe G 1/2"	DIN 2986		1.4571	
7	2	Bogen 45-3- 26,9x2,6	DIN 2605		1.4571	
6	2	Rohr 26,9 x 2,6	DIN 2448		1.4571	anpassen
5	1	Blech s=6 mm			1.4571	
4	1	Rohr 168,3 x 4	DIN 2448		1.4841	
3	1	Blech 4			1.4841	
2	1	Blech 2			1.4841	
1	1	Rund 205 (Blech 35)			1.4841	

Stückliste

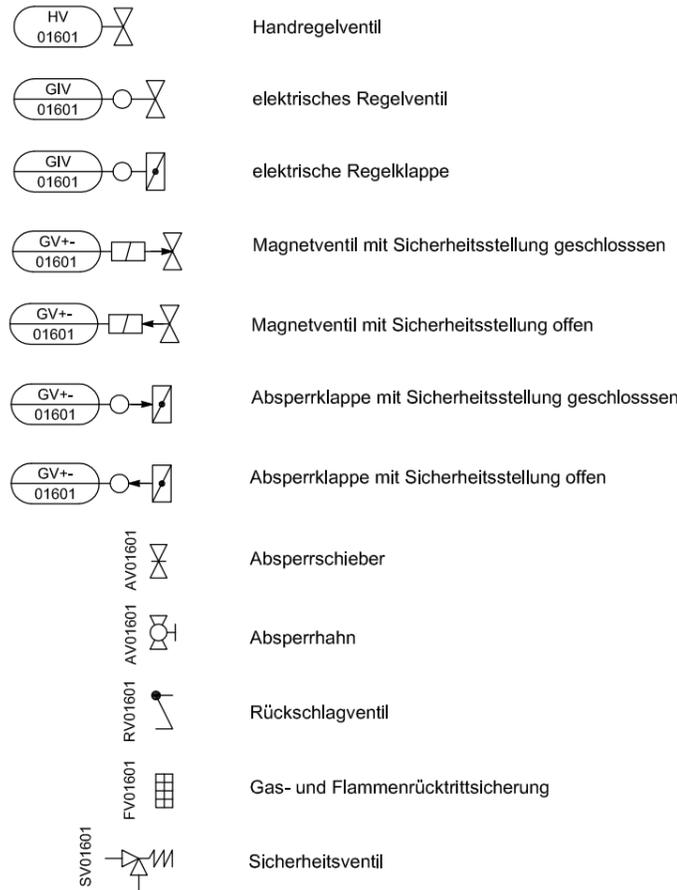
 Metallbau Anlagenservice ISO 9001 Leitungsbau	 Flanschachsen lochfrei	 Freimaltoleranz nach DIN 2768	WA Nr. AB	Kunde TPT
Flashreaktor			Zg.Nr. 726-09-34	Masse 22 kg
Kühlertopf			Ers.f.:	Ers.d.:

Anhang C: Legende

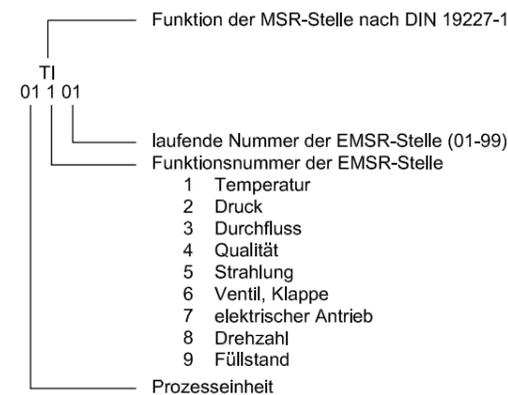
Graphische Darstellung der EMSR-Stellen



Graphische Darstellung der Armaturen



Bezeichnung der EMSR-Stellen



Abkürzungszeichen der EMSR-Stellen

TI	Temperaturanzeige
TIZAHL	Temperaturanzeige mit Alarm High und Low als Schutzeinrichtung
TIZAH	Temperaturanzeige mit Alarm High als Schutzeinrichtung
PI	Druckanzeige
PIZAHL	Druckanzeige mit Alarm High und Low als Schutzeinrichtung
PICZAHL	Druckanzeige mit selbstständiger Regelung und Alarm High und Low als Schutzeinrichtung
PC	Druckminderer
FI	Durchflussanzeige
FIZAL	Durchflussanzeige mit Alarm Low als Schutzeinrichtung
FIAHL	Durchflussanzeige mit Alarm High und Low
QIZAHL	Qualitätsanzeige mit Alarm High und Low als Schutzeinrichtung
RZA	Strahlungsgröße mit Alarm als Schutzeinrichtung
AV	handbetätigtes Absperrventil oder Absperrschieber
GV+-	elektrisches Absperrventil oder Absperrklappe
GVI	elektrisches Regelventil oder Regelklappe
FV	Gas- und Flammenrücktrittsicherung
HV	handbetätigtes Regelventil
RV	Rückschlagventil
SV	Sicherheitsventil
E	elektrischer Antrieb
LIAH	Füllstandsanzeige mit Alarm High
LIAL	Füllstandsanzeige mit Alarm Low
LIZAL	Füllstandsanzeige mit Alarm Low als Schutzeinrichtung

Bezeichnung der Rohrleitungen



Rohrmaterialien

01	mittelschweres Gewinderohr (nahtlos)
02	Kupferrohr
03	Mapress C-Stahl Systemrohr (Werkstoff 1.0034)
04	Mapress Edelstahl Systemrohr (Werkstoff 1.4401)
05	Stahlrohr (Werkstoff P235GH (H1))
06	Stahlrohr (Werkstoff S355J2H)

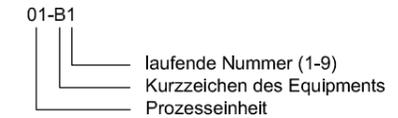
Medium

BW	Betriebswasser
CH4	Erdgas
DL	Druckluft
FF	Feuerfest
G1	Abgas 1
G2	Abgas 2
G3	Abgas 3
G4	Abgas 4
G5	Abgas 5 (Reingas)
KM	Kühlmittel
KW	Kühlwasser
LU	Luft
N2	Stickstoff
O2	Sauerstoff
S1	Zn-hältiger Staub
S2	Schlacke
S3	ZnO Staubkonzentrat

Prozesseinheiten

01	Flash-Reaktor inkl. Steigrohr und Förder- und Dosiereinheit
02	Abgassystem (Konverter, Quenche, Airmix, Filter)
03	Kühlwassersystem

Bezeichnung des Equipments



Kurzzeichen des Equipments

A	Apparate
B	Behälter
C	chemischer Reaktor
F	Filter
H	Fördereinrichtung
P	Pumpen
V	Gebläse
W	Wärmetauscher
X	sonstige Geräte

Equipmentbezeichnung im R&I-Schema

01-C1	Flash-Reaktor inkl. Steigrohr
01-H1	Eintragsschnecke
01-H2	Förder- und Dosiersystem
01-V1	Spülluftgebläse
02-A1	Quenche
02-B1	Wasserbehälter
02-C1	Konverter
02-F1	Tuchfilter
02-P1	Betriebswasserpumpe
02-V1	Saugzuggebläse
02-V2	Airmixgebläse
03-A1	Wasserkühler
03-B1	Ausdehnungsgefäß Kühlwasser
03-B2	Ausdehnungsgefäß Kühlmittel
03-P1	Kühlwasserpumpe
03-P2	Kühlmittelpumpe
03-W1	Wärmetauscher

		Datum:	Institut:
			Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik Montanuniversität Leoben
			Projekt:
			Flash-Reaktor Leoben
			Beschreibung:
			Beschreibung zum R&I-Schema
Bearb.	Andrea Werner	28.04.2010	Format: A3

Anhang D: Funktionsbeschreibung

Funktionsbeschreibung Flash-Reaktor Pilotanlage

erstellt am
Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik

verfasst von
Andrea Werner
überarbeitet von
Bernhard Geier

Leoben, August 2011

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	1
2 RUHEZUSTAND DER ANLAGE	3
3 BETRIEBSART HAND (BA-HAND)	6
3.1 <i>Inbetriebnahme Prozesseinheit 03: Kühlwassersystem.....</i>	<i>9</i>
4 ANFAHREN DER ANLAGE	11
4.1 <i>Anfahren aus dem kalten Zustand</i>	<i>12</i>
4.1.1 <i>Inbetriebnahme Prozesseinheit 01: Flash-Reaktor inkl. Brennkammer und Steigrohr</i>	<i>12</i>
4.1.2 <i>Inbetriebnahme Prozesseinheit 02: Abgassystem (Konverter, Quenche, Airmix und Filter)</i>	<i>16</i>
4.1.3 <i>Inbetriebnahme des Betriebswassersystems für Konverter und Quenche.....</i>	<i>17</i>
4.2 <i>Anfahren nach Kurzstillstand < 850 [°C] (BA-Kalt).....</i>	<i>18</i>
4.3 <i>Anfahren nach Kurzstillstand > 850 [°C] (BA- Warm)</i>	<i>18</i>
5 NORMALBETRIEB DER ANLAGE	19
5.1 <i>Vorbereiten der Anlage zum Staubdosieren</i>	<i>20</i>
5.1.1 <i>Inbetriebnahme des Betriebswassersystems für Konverter und Quenche.....</i>	<i>20</i>
5.1.2 <i>Umstellen des Brenners auf reduzierende Bedingungen und Einschalten der Nachverbrennung</i>	<i>21</i>
5.1.3 <i>Inbetriebnahme des Filters.....</i>	<i>22</i>
5.2 <i>Regelung durch den Operator von der Warte aus</i>	<i>22</i>
5.3 <i>Regelung durch den Operator per Hand.....</i>	<i>23</i>
5.4 <i>Regelstrecken und Steuergeräte</i>	<i>24</i>
6 HERUNTERFAHREN DER ANLAGE.....	25
6.1 <i>Stoppen des Staubeintrages und Herstellen des Normalzustandes</i>	<i>25</i>
6.2 <i>Herunterfahren der Anlage und überführen in den Ruhezustand</i>	<i>27</i>
7 STÖRABSCHALTUNGEN DER ANLAGE.....	I
7.1 <i>Prozesshalt.....</i>	<i>I</i>
7.2 <i>Ausfall von Betriebswasserpumpe 02-P1</i>	<i>II</i>
7.3 <i>Ausfall von Prozesseinheit 03.....</i>	<i>IV</i>
7.4 <i>Stromausfall.....</i>	<i>VI</i>

7.5	NOT-Aus.....	VII
ANHANG I	GRENZWERTE FÜR ALARME	X
ANHANG II	BERECHNUNG BRENNKAMMERSPÜLZEIT	II
ANHANG III	BERECHNUNG BRENNKAMMERVERWEILZEIT.....	III
ANHANG IV	CHECKLISTE HOCHFahren.....	III
HANDBETRIEB:	III
KALTBETRIEB	III

1 Einleitung

Grundsätzlich existieren bei der Flash-Reaktor Anlage vier Betriebsarten, die unterschiedlichen Zwecken dienen. Das sind die Betriebsarten (BA):

- „BA-Hand“
- „BA-Kalt“
- „BA-Warm“
- „BA-Normal“

In der BA-Hand kann eine Funktionsprobe aller schaltbaren Ventile und Antriebe durchgeführt werden. Darüber hinaus wird in dieser BA der Dosierbehälter (Grund: Falschlufteintrag) gefüllt und der Kühlwasserkreislauf gefüllt und eingeschaltet (siehe Anhang IV). So werden die nötigen Voraussetzungen für das Umschalten auf eine andere Betriebsart geschaffen.

Hochfahren und Betreiben der Anlage in der BA-Hand ist unbedingt zu vermeiden, da in dieser Betriebsart keine Verriegelungen über die SPS existieren. Daher ist in der BA-Hand äußerste Vorsicht geboten und umsichtiges Handeln ist Grundvoraussetzung! Die BA-Hand ist mit einem Passwortschutz versehen. Sind der Kühlwasserkreislauf und der Dosierbehälter gefüllt und sind keine Funktionstests mehr notwendig muss umgehend auf eine der drei anderen Betriebsarten gewechselt werden.

Die BA-Kalt dient grundsätzlich zum An- und Abfahren der Anlage in einem Temperaturbereich *unter* 850°C mit Hilfe des Stützbrenners, der über eine Flammenüberwachung verfügt.

TI 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	<900 [°C] oder
TI 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	<900 [°C]

In dieser Betriebsart ist der Hauptbrenner, der über keine Flammenüberwachung verfügt, verriegelt und kann daher nicht gezündet werden. Außerdem ist die Sauerstoffzufuhr für den Konverter (02615) verriegelt. Um den Stützbrenner zünden zu können, muss die Brennkammer 8 Minuten über das Spülluftgebläse (01-V1) gespült werden. Nach dem Ausschalten des Spülluftgebläses muss innerhalb von 60 Sekunden der Feuerungsautomat gezündet werden, da sonst die Freigabe für das Zünden des Stützbrenners erlischt. Ein Umschalten auf die BA-Warm ist erst möglich, wenn die Brennkammertemperatur *über* 850 °C beträgt.

TI 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	>850 [°C]
		und
TI 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	>850 [°C]

In der BA-Warm ist es möglich die Anlage ohne Flammenüberwachung zu betreiben. Somit kann der Hauptbrenner gezündet und die Anlage auf Betriebstemperatur hochgefahren werden. Außerdem ist die Sauerstoffzufuhr für den Konverter (02615) freigeschaltet. Prinzipiell ist es möglich in dieser Betriebsart Staub zu dosieren, jedoch wird dringend empfohlen auf die BA-Normal zu wechseln, da in dieser Betriebsart alle Alarme für den Normalbetrieb der Anlage aktiv sind. Voraussetzung für ein Umschalten auf die BA-Normal ist das Erreichen der Brennkammertemperatur von 1400°C.

TI 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi) oder	>1400 [°C]
TI 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	>1400 [°C]

Das Umschalten von der BA-Warm auf die BA-Kalt kann nur innerhalb eines bestimmten Temperaturfensters erfolgen. Diese Bedingung muss für beide Thermoelemente erfüllt werden.

TI 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	750<x<900 [°C]
		und
TI 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	750<x<900 [°C]

Fällt ein Thermoelement unter 750°C bevor auf die BA-Kalt umgeschaltet wird, kommt es automatisch zu einem Prozesshalt.

In der BA-Normal kann mit der Hilfe aller aktiven Alarme Staub eingesetzt werden. Daher wird dringend empfohlen für das Einsetzen von Staub auf die BA-Normal zu wechseln.

Bei einem Stromaus oder Watchdog Alarm ist ein Neustart des Computers erforderlich.

2 Ruhezustand der Anlage

Im „Ruhezustand der Anlage“ müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Die Absperrventile in den Hauptleitungen der Betriebsmedien Sauerstoff, Erdgas, Betriebswasser, Druckluft und Stickstoff und der Absperrschieber des Tuchfilters müssen geschlossen sein. Die Absperrschieber vor den Flammrückschlagventilen sind ebenfalls geschlossen.

AV 01621	Absperrventil Sauerstoff Primär	ZU
AV 01623	Absperrventil Sauerstoff Sekundär	ZU
AV 01625	Absperrventil Sauerstoff Stützbrenner	ZU
AV 01627	Hauptabsperrventil Erdgas	ZU
AV 01629	Absperrventil Erdgas Hauptbrenner	ZU
AV 01631	Absperrventil Erdgas Stützbrenner	ZU
AV 01632	Hauptabsperrventil Stickstoff	ZU
AV 01633	Absperrventil Stickstoff	ZU
AV 01634	Hauptabsperrventil Sauerstoff	ZU
AV 02624	Hauptabsperrventil Betriebswasser	ZU
AV 02625	Hauptabsperrventil Betriebswasser (Stromaus)	ZU
AV 02633	Hauptabsperrventil Druckluft	ZU
AV 02639	Absperrschieber Tuchfilter	ZU
AV 03610	Hauptabsperrventil Betriebswasser Kühlkreislauf (Stromaus)	ZU

Alle übrigen Absperrventile und Absperrschieber der Anlage sind offen.

2. Alle Magnetventile und Klappen der Anlage sind in ihrer Sicherheitsstellung.

GV+- 01602	Magnetventil Primärsauerstoff	ZU
GV+- 01604	Magnetventil Sekundärsauerstoff	ZU
GV+- 01606	Sauerstoff Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01608	Sauerstoff-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01609	Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 1	ZU
GV+- 01610	Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 2	ZU
GV+- 01612	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner vor Bypass	ZU
GV+- 01614	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner nach Bypass	ZU
GV+- 01616	Erdgas-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01617	Klappe für Brennkammerspülluft	ZU
GV+- 01618	Magnetventil Stickstoffspülung NOT-Aus	AUF
GV+- 02603	Magnetventil Betriebswasser für Bypass Konverterwasser	ZU
GV+- 02604	Magnetventil für Betriebswasser Konverter und Quenche	ZU
GV+- 02606	Magnetventil Konverterwasser	ZU
GV+- 02608	Magnetventil Quenchewasser	ZU
GV+- 02610	Magnetventil Konverterdruckluft (Sperrluft)	AUF
GV+- 02612	Magnetventil Quenchedruckluft	AUF

GV+- 02613	Magnetventil Filterdruckluft	ZU
GV+- 02615	Magnetventil Konvertersauerstoff	ZU
GV+- 02619	Magnetventil Betriebswasser (Stromaus zu)	ZU
GV+- 02620	Klappe Abgas 4 vor Tuchfilter 02-F1	ZU
GV+- 02621	Klappe Bypass Tuchfilter 02-F1	AUF
GV+- 02622	Magnetventil Konverterdruckluft	ZU
GV+- 03601	Magnetventil für Kühlwasservorlauf	ZU
GV+- 03602	Magnetventil für Kühlwasservorlauf (Stromaus)	AUF
GV+- 03606	Magnetventil für Kühlwasserrücklauf	ZU
GV+- 03607	Magnetventil für Kühlwasserrücklauf (Stromaus)	AUF

3. Alle elektrischen Regelventile und elektrischen Regelklappen sind geschlossen bzw. in ihrer Sicherheitsstellung.

GIV 01611	elektrisches Regelventil Erdgas für Hauptbrenner	ZU
GIV 01620	elektrisches Regelventil Sauerstoff Stützbrenner	ZU
GIV 01621	elektrisches Regelventil Erdgas Stützbrenner	ZU
GIV 01622	elektrisches Regelventil Primärsauerstoff	ZU
GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	ZU
GIV 02607	elektrisches Regelventil Quenchwasser	ZU
GIV 02611	elektrisches Regelventil Quenchedruckluft	AUF
GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	ZU
GIV 02616	elektrische Regelklappe Kühlluft Airmix	ZU
GIV 02618	elektrisches Regelventil Konverterdruckluft	ZU

4. Die folgenden Handregelventile der Prozesseinheit 1 sind geschlossen.

HV 01603	Handregelventil Sekundärsauerstoff	ZU
----------	------------------------------------	----

5. Alle anderen Handregelventile der Prozesseinheit 1, 2 und 3 bleiben in der Ventilstellung, die sich durch das erstmalige Hochfahren der Anlage ergab, geöffnet.

HV 01619	Handregelventil Stickstoffspülung	AUF
HV 02602	Handregelventil Betriebswasser für Bypass Konverterwasser	AUF
HV 03603	Handregelventil Kühlwasservorlauf Hauptbrenner	AUF
HV 03604	Handregelventil Kühlwasservorlauf Wurzelkühlung	AUF
HV 03605	Handregelventil Kühlwasservorlauf Pyrometergehäuse und –stutzen	AUF
HV 03608	Handregelventil Kühlwasservorlauf	AUF
HV 03609	Handregelventil Kühlmittelvorlauf	AUF

6. Alle Motoren der Anlage sind ausgeschaltet.

E 01701	elektrischer Antrieb Dosierschnecke	AUS
E 01702	elektrischer Antrieb Eintragsschnecke 01-H1	AUS
E 01703	elektrischer Antrieb Spülluftgebläse 01-V1	AUS
E 01704	elektrischer Antrieb Unwuchtmotor	AUS
E 01705	elektrischer Antrieb Sieb	AUS
E 01706	elektrischer Antrieb Förderschnecke	AUS
E 01707	elektrischer Antrieb Winkelbecherwerk	AUS
E 01708	elektrischer Antrieb Paddel	AUS
E 02701	elektrischer Antrieb Abgasgebläse 02-V1	AUS
E 02702	elektrischer Antrieb Betriebswasserpumpe 02-P1	AUS
E 02703	elektrischer Antrieb Airmixgebläse 02-V2	AUS
E 03701	elektrischer Antrieb Kühlwasserpumpe 03-P1	AUS
E 03702	elektrischer Antrieb Kühlmittelpumpe 03-P2	AUS
E 03703	elektrischer Antrieb 1 Wasserkühler 03-A1	AUS
E 03704	elektrischer Antrieb 2 Wasserkühler 03-A1	AUS

3 Betriebsart Hand (BA-Hand)

Das Programm „Betriebsart Hand (BA-Hand)“ dient der Funktionsprobe aller schaltbaren Ventile und Antriebe, sowie zum Befüllen des Kühlkreislaufs und des Dosierbehälters. *Des weiteren wird in dieser Betriebsart die Druckluftversorgung sichergestellt.*

Vor Inbetriebnahme müssen folgende Punkte überprüft werden:

LIAL 02902	Füllstandregistrierung MIN im 02-B1	> MIN
LIZAL 02903	Trockenlaufschutz Pumpe 02-P1	> MIN
LIZAL 03903	Trockenlaufschutz Pumpe 03-P1	> MIN
LIZAL 03904	Trockenlaufschutz Pumpe 03-P2	> MIN

1. Herstellen der Druckluftversorgung

Erster Schritt ist das Einschalten des Kompressors anschließend wird das Hauptabsperrventil geöffnet.

BEDIENUNG VOR ORT

AV02633	Hauptabsperrventil Druckluft	AUF
---------	------------------------------	-----

2. Funktionsprobe der Magnetventile und Klappen.

ICON AUF DER WARTE

GV+- 01602	Magnetventil Primärsauerstoff	AUF/ZU
GV+- 01604	Magnetventil Sekundärsauerstoff	AUF/ZU
GV+- 01606	Sauerstoff Magnetventil für Stützbrenner	AUF/ZU
GV+- 01608	Sauerstoff-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	AUF/ZU
GV+- 01609	Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 1	AUF/ZU
GV+- 01610	Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 2	AUF/ZU
GV+- 01612	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner vor Bypass	AUF/ZU
GV+- 01614	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner nach Bypass	AUF/ZU
GV+- 01616	Erdgas-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	AUF/ZU
GV+- 01617	Klappe für Brennkammerspülluft	AUF/ZU
GV+- 01618	Magnetventil Stickstoffspülung NOT-Aus	ZU/AUF
GV+- 02603	Magnetventil Betriebswasser für Bypass Konverterwasser	AUF/ZU
GV+- 02604	Magnetventil für Betriebswasser Konverter und Quenche	AUF/ZU
GV+- 02606	Magnetventil Konverterwasser	AUF/ZU
GV+- 02608	Magnetventil Quenchwasser	AUF/ZU
GV+- 02610	Magnetventil Konverterdruckluft (Sperrluft)	ZU/AUF
GV+- 02612	Magnetventil Quenchedruckluft	ZU/AUF
GV+- 02613	Magnetventil Filterdruckluft	AUF/ZU
GV+- 02615	Magnetventil Konvertersauerstoff	AUF/ZU
GV+- 02619	Magnetventil Betriebswasser (Stromaus zu)	AUF/ZU
GV+- 02620	Klappe Abgas 4 vor Tuchfilter 02-F1	AUF/ZU

GV+- 02621	Klappe Bypass Tuchfilter 02-F1	ZU/AUF
GV+- 02622	Magnetventil Konverterdruckluft	AUF/ZU
GV+- 03601	Magnetventil für Kühlwasservorlauf	AUF/ZU
GV+- 03602	Magnetventil für Kühlwasservorlauf (Stromaus)	ZU/AUF
GV+- 03606	Magnetventil für Kühlwasserrücklauf	AUF/ZU
GV+- 03607	Magnetventil für Kühlwasserrücklauf (Stromaus)	ZU/AUF

3. Funktionsprobe der elektrischen Regelventile und Regelklappen.

ICON AUF DER WARTE

GIV 01611	elektrisches Regelventil Erdgas für Hauptbrenner	REGELBETRIEB EIN /AUS
<i>GIV 01620</i>	<i>elektrisches Regelventil Sauerstoff für Stützbrenner</i>	<i>REGELBETRIEB EIN /AUS</i>
<i>GIV 01621</i>	<i>elektrisches Regelventil Erdgas für Stützbrenner</i>	<i>REGELBETRIEB EIN /AUS</i>
<i>GIV 01622</i>	<i>elektrisches Regelventil Primärsauerstoff</i>	<i>REGELBETRIEB EIN /AUS</i>
GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	REGELBETRIEB EIN /AUS
GIV 02607	elektrisches Regelventil Quenchwasser	REGELBETRIEB EIN /AUS
GIV 02611	elektrisches Regelventil Quenchedruckluft	REGELBETRIEB EIN /AUS
GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	REGELBETRIEB EIN /AUS
GIV 02616	elektrische Regelklappe Kühlluft Airmix	REGELBETRIEB EIN /AUS
GIV 02618	elektrisches Regelventil Konverterdruckluft	REGELBETRIEB EIN /AUS

4. Funktionsprobe der elektrischen Antriebe.

ICON AUF DER WARTE

E 01701	elektrischer Antrieb Dosierschnecke	EIN/AUS
E 01702	elektrischer Antrieb Eintragsschnecke 01-H1	EIN/AUS
E 01703	elektrischer Antrieb Spülluftgebläse 01-V1	EIN/AUS
E 01704	elektrischer Antrieb Unwuchtmotor	EIN/AUS
E 01705	elektrischer Antrieb Sieb	EIN/AUS
E 01706	elektrischer Antrieb Förderschnecke	EIN/AUS
E 01707	elektrischer Antrieb Winkelbecherwerk	EIN/AUS
E 01708	elektrischer Antrieb Paddel	EIN/AUS

E 02701	elektrischer Antrieb Abgasgebläse 02-V1	EIN/AUS
E 02702	elektrischer Antrieb Betriebswasserpumpe 02-P1	EIN/AUS
E 02703	elektrischer Antrieb Airmixgebläse 02-V2	EIN/AUS
E 03701	elektrischer Antrieb Kühlwasserpumpe 03-P1	EIN/AUS
E 03702	elektrischer Antrieb Kühlmittelpumpe 03-P2	EIN/AUS
E 03703	elektrischer Antrieb 1 Wasserkühler 03-A1	EIN/AUS
E 03704	elektrischer Antrieb 2 Wasserkühler 03-A1	EIN/AUS

5. *Über das Förder- und Dosiersystem wird der Dosierbehälter bis zum Erreichen des Betriebsniveaus mit Staub befüllt. Die Big-Bags oder Fässer mit Staub werden von einem Operator mit Hilfe des Hallenkrans an der Big-Bag Ladestation ordnungsgemäß und zeitgerecht angebracht.*

ICON AUF DER WARTE

	<i>Steuergerät Dosiereinheit</i>	<i>AKTIV</i>
<i>E 01707</i>	<i>elektrischer Antrieb Winkelbecherwerk</i>	<i>HANDBETRIEB</i>
<i>E 01706</i>	<i>elektrischer Antrieb Förderschnecke</i>	<i>HANDBETRIEB</i>
<i>E 01705</i>	<i>elektrischer Antrieb Sieb</i>	<i>HANDBETRIEB</i>
<i>E 01704</i>	<i>elektrischer Antrieb Unwuchtmotor</i>	<i>HANDBETRIEB</i>

Im Handbetrieb müssen die Motoren der Antriebe einzeln geschaltet werden.

Im Steuerbetrieb werden die elektrischen Antriebe der Fördereinheit diskontinuierlich angesteuert. Die Dosiereinheit fördert den Staub kontinuierlich zu der Eintragsschnecke.

3.1 Inbetriebnahme Prozesseinheit 03: Kühlwassersystem

1. Rückkühler einschalten

E 03703	elektrischer Antrieb 1 Wasserkühler 03-A1	EIN
E 03704	elektrischer Antrieb 2 Wasserkühler 03-A1	EIN

2. Das Absperrventil für das Betriebswasser in der Betriebswasserzuleitung ist vom Operator von Hand zu öffnen.

BEDIENUNG VOR ORT

AV 03610	Hauptabsperrventil Betriebswasser Kühlkreislauf (Stromaus)	AUF
----------	--	-----

3. Die Magnetventile werden angesteuert.

ICON AUF DER WARTE

GV+ - 03601	Magnetventil Kühlwasser Vorlauf	AUF
GV+ - 03602	Magnetventil Kühlwasser Vorlauf (Stromaus)	AUF
GV+ - 03606	Magnetventil Kühlwasser Rücklauf	AUF
GV+ - 03607	Magnetventil Kühlwasser Rücklauf (Stromaus)	ZU

4. Kühlwasserkreislauf auf 2,3 bar aufdrücken.

PIZAL- 03208	Druck Kühlwasserkreislauf	~2,3 bar
GV+ - 03602	Magnetventil Kühlwasser Vorlauf (Stromaus)	ZU

Der Vordruck der Pumpe sollte bei Betrieb dieser zwischen 1,3 und 1,6 bar liegen. Beim Anfahren der Anlage muss das System auf Dichtheit überprüft werden. Im Falle eines Störfalles, der die Prozesseinheit 03 betrifft, müssen die Temperaturen, sowie die Strömungswächter in den Kühlsträngen überprüft werden.

5. Die Kühlwasserpumpe 03-P1 und die Kühlmittelpumpe 03-P2 wird eingeschaltet.

ICON AUF DER WARTE

E 03701	elektrischer Antrieb Kühlwasserpumpe 03-P1	EIN
E 03702	elektrischer Antrieb Kühlmittelpumpe 03-P2	EIN

6. Die Handregelventile werden vom Operator, aufgrund der Rücklauftemperatur des Kühlwassers (maximal 60 [°C]) im laufenden Betrieb der Anlage, per Hand eingestellt bzw. nachgeregelt.

ICON AUF DER WARTE

TIZAH 03109	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Pyrometerkühlung	< 60 [°C]
TIZAH 03110	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung	< 60 [°C]
TIZAH 03111	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner	< 60 [°C]

BEDIENUNG VOR ORT

HV 03603	Handregelventil Kühlwasservorlauf Hauptbrenner	HANDREGELUNG
HV 03604	Handregelventil Kühlwasservorlauf Wurzelkühlung	HANDREGELUNG
HV 03605	Handregelventil Kühlwasservorlauf Pyrometerkühlung	HANDREGELUNG

4 Anfahren der Anlage

Der Füllstand des Sauerstoff- und Stickstofftanks ist vom Operator vor Ort zu überprüfen und zu notieren. Weiteres muss je nach geplanter Betriebslänge der Anlage für eine durchgehende Sauerstoffversorgung durch Sauerstofftransport-LKW gesorgt werden.

Als Freigabe (allgemeine Freigaben) für das Anfahren der Anlage müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

PIZAHL 01204	Sauerstoffdruck in Hauptleitung	> ALARM LOW
PIZAHL 01204	Sauerstoffdruck in Hauptleitung	< ALARM HIGH
PIZAHL 01211	Erdgasdruck in Hauptleitung	> ALARM LOW
<i>PIZAL 01220</i>	<i>Stickstoffdruck Hauptleitung</i>	<i>> ALARM LOW</i>
PIZAHL 02208	Druck Druckluftleitung	> ALARM LOW
PIZAHL 02208	Druck Druckluftleitung	< ALARM HIGH
PIZAHL 03201	Druck Betriebswasserleitung	> ALARM LOW
PIZAHL 03201	Druck Betriebswasserleitung	< ALARM HIGH
LIAL 02902	Füllstandregistrierung MIN im 02-B1	> MIN
LIZAL 02903	Trockenlaufschutz Pumpe 02-P1	> MIN
LIZAL 03903	Trockenlaufschutz Pumpe 03-P1	> MIN
LIZAL 03904	Trockenlaufschutz Pumpe 03-P2	> MIN
E 03701	elektrischer Antrieb Kühlwasserpumpe 03-P1	EIN
E 03702	elektrischer Antrieb Kühlmittelpumpe 03-P2	EIN
E 03703	elektrischer Antrieb 1 Wasserkühler 03-A1	EIN
E 03704	elektrischer Antrieb 2 Wasserkühler 03-A1	EIN
<i>TIZAH 03109</i>	<i>Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Pyrometerkühlung</i>	<i>< ALARM HIGH</i>
<i>TIZAH 03110</i>	<i>Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung</i>	<i>< ALARM HIGH</i>
<i>TIZAH 03111</i>	<i>Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner</i>	<i>< ALARM HIGH</i>
<i>FIZAL 03306</i>	<i>Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner</i>	<i>> ALARM LOW</i>
<i>FIZAL 03307</i>	<i>Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung</i>	<i>>ALARM LOW</i>
<i>FIZAL 03308</i>	<i>Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Pyrometer</i>	<i>> ALARM LOW</i>

Die Grenzwerte für die Alarmer der einzelnen Messstellen befinden sich in Anhang I.

4.1 Anfahren aus dem kalten Zustand

Anfahren aus dem kalten Zustand bedeutet dass Anfahren der Anlage bei einer Temperatur unter 850°C. Im Programm „Anfahren aus dem kalten Zustand“ werden die folgenden Schritte ausgeführt, wobei sichergestellt sein muss, dass der Stützbrenner und die Lanzen beim Konverter und bei der Quenche in sicherer Position installiert sind. Das Hochfahren der Anlage bis zur Betriebstemperatur geschieht unter oxidierenden Bedingungen ($\lambda > 1$). Erst nach Erreichen der Betriebstemperatur, und unmittelbar vor der Dosierung des Staubes wird auf reduzierende Bedingungen umgestellt ($\lambda < 1$). Weiteres sind die vorgeschriebenen Aufheizgeschwindigkeiten für das Feuerfestmaterial zu beachten.

Wichtig: Die Inbetriebnahme der Prozesseinheiten soll nicht gestaffelt nach der folgenden Beschreibung vorgenommen werden sondern gleichzeitig, in Abstimmung mit der in der Anlage vorherrschenden Temperatur.

4.1.1 Inbetriebnahme Prozesseinheit 01: Flash-Reaktor inkl. Brennkammer und Steigrohr

1. Die Absperrventile in der Sauerstoffhauptleitung, der Erdgashauptleitung und der Stickstoffleitung sind vom Operator von Hand zu öffnen.

BEDIENUNG VOR ORT

AV 01621	Absperrventil Sauerstoff Primär	AUF
AV 01623	Absperrventil Sauerstoff Sekundär	AUF
AV 01625	Absperrventil Sauerstoff Stützbrenner	AUF
AV 01627	Hauptabsperrventil Erdgas	AUF
AV 01629	Absperrventil Erdgas Hauptbrenner	AUF
AV 01631	Absperrventil Erdgas Stützbrenner	AUF
AV 01632	Hauptabsperrventil Stickstoff	AUF
AV 01633	Absperrventil Stickstoff	AUF
AV 01634	Hauptabsperrventil Sauerstoff	AUF

2. Das Handregelventil für die Stickstoffspülung wird vom Operator, gemäß dem berechneten Volumenstroms für die Stickstoffspülung, per Hand eingestellt.

HV 01619	Handregelventil Stickstoffspülung NOT-Aus	HANDREGELUNG
----------	---	--------------

3. Die Magnetventile und Klappen werden angesteuert.

ICON AUF DER WARTE

GV+- 02620	Klappe Abgas 4 vor Tuchfilter 02-F1	AUF
GV+- 02621	Klappe Bypass Tuchfilter 02-F1	ZU
GV+- 01618	Magnetventil Stickstoffspülung NOT-Aus	ZU
GV+- 01612	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner vor Bypass	AUF
FI 01310	Stickstoffdurchfluss NOT-Aus	ISTWERTANZEIGE

Nach Öffnen des Hauptabsperrentils für Stickstoff und der Einstellung des Stickstoffbedarfs über das Handregelventil muss das Magnetventil für die Stickstoffspülung umgehend geschlossen werden, da sonst über längerer Zeit Stickstoff in die Brennkammer strömt.

4. *Die Bypass-Handregelventile für den Stützbrenner sind bereits auf die richtige Zündmenge eingestellt und in dieser Stellung zu belassen.*
5. Das Spülluftgebläse 01-V1 wird für 8 min eingeschaltet um die Brennkammer zu spülen. Die Ermittlung der Brennkammerspülzeit ist aus Anhang II zu entnehmen.

ICON AUF DER WARTE

GV+- 01617	Klappe für Brennkammerspülluft	AUF
E 01703	elektrischer Antrieb Spülluftgebläse 01-V1	EIN

6. Nach dem Ende der Brennkammerspülung wird der Feuerungsautomat eingeschaltet. Über den Feuerungsautomat werden die Stützbrennermagnetventile geöffnet und es erfolgt die Zündung über den Zündtrafo. Überwacht wird die Zündung über die UV-Sonde des Feuerungsautomaten. *Zu beachten ist dabei, dass nur 60 Sekunden Zeit ist um den Feuerungsautomat nach Ende der Brennkammerspülung zu betätigen. Verstreicht diese Zeitspanne ist eine erneute Brennkammerspülung notwendig.*

ICON AUF DER WARTE

	Feuerungsautomat	AKTIV
GV+- 01606	Sauerstoff Magnetventil für Stützbrenner	AUF
GV+- 01608	Sauerstoff-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	AUF
GV+- 01614	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner nach Bypass	AUF
GV+- 01616	Erdgas-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	AUF

Im Falle einer Störabschaltung des Stützbrenners schließt der Feuerungsautomat die Stützbrennermagnetventile. Um den Stützbrenner über den Feuerungsautomaten erneut zünden zu können, muss die Brennkammer wieder 8 min gespült werden. Erst danach erhält der Feuerungsautomat die Freigabe für das Zünden des Stützbrenners.

7. *Nach Zündung des Stützbrenners sind die 2-Stoff-Düsen des Konverters und der Quenche mit Druckluft zu beaufschlagen, um eine thermische Beschädigung zu verhindern. Dies ist im Kapitel 4.1.2.2 Inbetriebnahme der Quenche und 4.1.2.3 Inbetriebnahme des Konverters nachzulesen.*
8. Nach erfolgter Zündung wird das Abgasgebläse 02-V1 eingeschaltet (Regelstrecke Abgasgebläse 02-V1 siehe Kapitel 5.4, Punkt 1).

ICON AUF DER WARTE

E 02701	elektrischer Antrieb Abgasgebläse 02-V1	REGELBETRIEB
---------	---	--------------

9. Laut den Aufheizkurven des Feuerfestherstellers wird die Brennkammertemperatur mit Hilfe des Stützbrenners langsam gesteigert.

ICON AUF DER WARTE

FI 01308	Sauerstoffdurchfluss Stützbrenner	ISTWERTANZEIGE
FI 01309	Erdgasdurchfluss Stützbrenner	ISTWERTANZEIGE
GIV 01620	elektrisches Regelventil Sauerstoff Stützbrenner	REGELBETRIEB
GIV 01621	elektrisches Regelventil Erdgas Stützbrenner	REGELBETRIEB

Für die Bestimmung der Brennkammertemperatur beim Hochfahren stehen zwei Temperaturmessstellen zur Verfügung.

TI 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	150-1800 [°C]
TI 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	150-1800 [°C]

Die Temperaturmessstelle TI 01115 wird ab einer Brennkammertemperatur > 850 [°C] über den Schlackenabstich entfernt.

10. Ab einer Brennkammertemperatur von über 850 [°C] wird der Hauptbrenner gestartet.

ICON AUF DER WARTE

GV+- 01602	Magnetventil Primärsauerstoff	AUF
GV+- 01604	Magnetventil Sekundärsauerstoff	AUF
GV+- 01609	Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 1	AUF
GV+- 01610	Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 2	AUF

Die Regelung des Hauptbrenners erfolgt durch den Operator von der Warte aus.

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 01622	elektrisches Regelventil Primärsauerstoff	REGELBETRIEB
FIAHL 01301	Sauerstoffdurchfluss primär (Hauptbrenner)	ISTWERTANZEIGE
GIV 01611	elektrisches Regelventil Erdgas für Hauptbrenner	REGELBETRIEB
FIAHL 01305	Erdgasdurchfluss Hauptbrenner	ISTWERTANZEIGE

11. Der Stützbrenner wird abgeschaltet. Der Feuerungsautomat des Stützbrenners ist bis ca.800[°C] Brennkammertemperatur aktiv.

ICON AUF DER WARTE

GV+- 01606	Sauerstoff Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01608	Sauerstoff-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01612	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner vor Bypass	ZU
GV+- 01614	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner nach Bypass	ZU

GV+- 01616	Erdgas-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GIV 01620	elektrisches Regelventil Sauerstoff Stützbrenner	ZU
GIV 01621	elektrisches Regelventil Erdgas Stützbrenner	ZU

12. Die Absperrventile vor den Flammrückschlagventilen sind zu schließen und der Stützbrenner ist von einem Operator zu demontieren.

BEDIENUNG VOR ORT

AV 01625	Absperrventil Sauerstoff für Stützbrenner	ZU
AV 01631	Absperrventil Erdgas für Stützbrenner	ZU

13. Mit Hilfe des Hauptbrenners wird die Temperatur der Brennkammer auf die Betriebstemperatur gesteigert.

14. Bei Erreichen der gewünschten Betriebstemperatur BT und vollständiger Funktionsfähigkeit der anderen Prozesseinheiten ist der Betriebszustand der Anlage erreicht.

TI 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	Betriebstemperatur [°C]
TI 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	Betriebstemperatur [°C]

4.1.2 Inbetriebnahme Prozesseinheit 02: Abgassystem (Konverter, Quenche, Airmix und Filter)

4.1.2.1 Inbetriebnahme des Airmix

Ab einer Abgasaustrittstemperatur > 150 [°C] aus der Quenche muss mit Hilfe des Airmixgebläse 02-V2 das Abgas auf < 150 [°C] abgekühlt werden.

TIZ AHL 02102	Temperatur Abgas 3 nach Quenche	> 150 [°C]
TIZ AHL 02103	Temperatur Abgas 4 nach Airmix	< 150 [°C]

1. Das Airmixgebläse 02-V2 wird eingeschaltet.

ICON AUF DER WARTE

E 02703	elektrischer Antrieb Airmixgebläse 02-V2	EIN
---------	--	-----

2. Die Regelung der Kühlluft erfolgt durch den Operator von der Warte aus.

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02616	elektrische Regelklappe Kühlluft Airmix	REGELBETRIEB
FIA HL 02307	Durchfluss Kühlluft für Airmix	ISTWERTANZEIGE

4.1.2.2 Inbetriebnahme der Quenche

Ab einer Abgasaustrittstemperatur von > 180 [°C] aus dem Konverter muss mit Hilfe der 2-Stoff-Düsen (Druckluft oder Betriebswasser/Druckluft) in der Quenche das Abgas auf ~ 180 [°C] abgekühlt werden.

TIZ AHL 02101	Temperatur Abgas 2 nach Konverter (Profil 3_Konverter)	> 180 [°C]
TIZ AHL 02102	Temperatur Abgas 3 nach Quenche	~ 180 [°C]

1. Die Magnetventile werden angesteuert.

ICON AUF DER WARTE

GV+- 02608	Magnetventil Quenchewasser	AUF
GV+- 02612	Magnetventil Quenchedruckluft	AUF
GV+- 02610	Magnetventil Konverterdruckluft (Sperrluft)	ZU

2. Die Regelung des Betriebswassers und der Druckluft für die 2-Stoff-Düsen in der Quenche erfolgt durch den Operator von der Warte aus.

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02607	elektrisches Regelventil Quenchewasser	REGELBETRIEB
FIAHL 02303	Durchfluss Quenchewasser	ISTWERTANZEIGE
GIV 02611	elektrisches Regelventil Quenchedruckluft	REGELBETRIEB
FIAHL 02305	Durchfluss Quenchedruckluft	ISTWERTANZEIGE

4.1.2.3 Inbetriebnahme des Konverters

Ab einer Abgasaustrittstemperatur > 900 [°C] aus dem Konverter muss mit Hilfe der 2-Stoff-Düse (Druckluft oder Druckluft/Betriebswasser beim Haltebetrieb, Betriebswasser-Sauerstoff im Chargierbetrieb) im Konverter das Abgas auf > 850 [°C] abgekühlt werden. Wird bei reduzierender Betriebsweise bei einer Temperatur unter ca. 850 °C mit Wasser gekühlt, kommt es erfahrungsgemäß zur CO-Bildung

TIZ AHL 02101	Temperatur Abgas 2 nach Konverter (Profil 3_Konverter)	> 900 [°C]
TIZ AHL 02101	Temperatur Abgas 2 nach Konverter (Profil 3_Konverter)	> 850 [°C]

1. Die Magnetventile werden angesteuert.

ICON AUF DER WARTE

GV+- 02603	Magnetventil Betriebswasser für Bypass Konverterwasser	ZU
GV+- 02606	Magnetventil Konverterwasser	AUF
GV+- 02622	Magnetventil Konverterdruckluft	AUF

2. Die Regelung des Betriebswassers und der Druckluft für die 2-Stoff-Düse im Konverter erfolgt durch den Operator von der Warte aus.

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	REGELBETRIEB
FIAHL 02302	Durchfluss Konverterwasser	ISTWERTANZEIGE
GIV 02618	elektrisches Regelventil Konverterdruckluft	REGELBETRIEB
FIAHL 02308	Durchfluss Konverterdruckluft	ISTWERTANZEIGE

4.1.3 Inbetriebnahme des Betriebswassersystems für Konverter und Quenche

Betriebswasser wird im Normalfall erst während Staubdosierens benötigt. Sollte eine Abgaseintrittstemperatur beim Hochfahren von >150 [°C] in den Filter erreicht werden und diese durch Druckluft- oder Airmixeinsatz nicht mehr verringert werden können, muss die Inbetriebnahme und der Einsatz zur Kühlung früher erfolgen. In diesem Fall ist der Punkt 5.1.1 Inbetriebnahme des Betriebswassersystems für Konverter und Quenche vorzuziehen.

4.2 Anfahren nach Kurzstillstand < 850 [°C] (BA-Kalt)

Das Anfahren nach einen Kurzstillstand bei einer Brennkammertemperatur von < 850 [°C] kann nur über den Stützbrenner erfolgen, da nur dieser über eine Flammenüberwachung verfügt. Der Feuerungsautomat des Stützbrenners ist bis 800 [°C] aktiv.

4.3 Anfahren nach Kurzstillstand > 850 [°C] (BA- Warm)

Das Anfahren nach einen Kurzstillstand bei einer Brennkammertemperatur > 850 [°C] kann direkt über den Stützbrenner oder den Hauptbrenner erfolgen. Der Feuerungsautomat ist ab einer Brennkammertemperatur von > 850 [°C] inaktiv.

5 Normalbetrieb der Anlage

Im Programm „Normalbetrieb der Anlage“ können über die Eintragungsschnecke maximal 300 [kg/h] Staub in den Flash-Reaktor eingetragen werden. *Die Brennkammertemperatur beträgt 1650-1900 [°C], die Konverter-Austrittstemperatur >850 [°C], die Quencheaustrittstemperatur ~180 [°C] und die Airmix-Austrittstemperatur <150 [°C].*

Bei der Betriebstemperatur BT sollten die Temperaturelemente in der Anlage folgende Richtwerte anzeigen.

TIZ AHL 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	~BT -100 [°C]
TIZ AHL 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	~BT -100 [°C]
TIZ AHL 01109	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	~BT -200 [°C]
TIZ AHL 01110	Temperatur Feuerfest in Steigrohr (Profil 1_Steigrohr-Knie)	~BT -100 [°C]
TIZ AHL 02101	Temperatur Abgas 2 nach Konverter (Profil 3_Konverter)	>850 [°C]
TIZ AHL 02102	Temperatur Abgas 3 nach Quenche	~180 [°C]
TIZ AHL 02103	Temperatur Abgas 4 nach Airmix	<150 [°C]
TI 02104	Temperatur Abgas 5 nach Tuchfilter	~145 [°C]
TIZ AH 03109	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Pyrometerkühlung	< 60 [°C]
TIZ AH 03110	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung	< 60 [°C]
TIZ AH 03111	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner	< 60 [°C]

Durch den Staubeintrag kann die Brennkammertemperatur nicht mehr mit der Temperaturmessstelle TI 01111 (Pyrometer) bestimmt werden.

5.1 Vorbereiten der Anlage zum Staubdosieren

5.1.1 Inbetriebnahme des Betriebswassersystems für Konverter und Quenche

Übersteigt die Abgasaustrittstemperatur trotz Druckluftkühlung 180 °C am Quenchenausgang (TI 02102) oder soll Staub dosiert werden, muss das Betriebswassersystem für Konverter und Quenche vom Operator in Betrieb genommen werden.

TIZ AHL 02102 Temperatur Abgas 3 nach Quenche > 180 [°C]

1. Die Magnetventile werden angesteuert.

ICON AUF DER WARTE

GV+- 02604 Magnetventil für Betriebswasser Konverter und Quenche AUF

GV+- 02619 Magnetventil Betriebswasser (Stromaus zu) ZU

2. Das Absperrventil für das Betriebswasser bei Stromaus in der Betriebswasserzuleitung ist vom Operator von Hand zu öffnen.

BEDIENUNG VOR ORT

AV 02625 Hauptabsperrentil Betriebswasser (Stromaus) AUF

3. Die Betriebswasserpumpe 02-P1 wird eingeschaltet.

ICON AUF DER WARTE

E 02702 elektrischer Antrieb Betriebswasserpumpe 02-P1 EIN

4. Nachdem die Betriebswasserpumpe 02-P1 den Betriebsdruck aufgebaut hat (ca. 1 min nach Einschalten von 02-P1) wird die Bypassleitung für das Konverterwasser geöffnet.

ICON AUF DER WARTE

GV+- 02603 Magnetventil Betriebswasser für Bypass Konverterwasser AUF

Das Handregelventil wird vom Operator per Hand nach dem berechneten Wasserverbrauch des Konverters im Normalbetrieb sowie der Temperatur eingestellt.

BEDIENUNG VOR ORT

HV 02602 Handregelventil Betriebswasser für Bypass Konverterwasser HANDREGELUNG

5.1.2 Umstellen des Brenners auf reduzierende Bedingungen und Einschalten der Nachverbrennung

Nach Erreichen der Betriebstemperatur (BT) und vor dem Staubeinsatz, wird der Hauptbrenner auf reduzierende Bedingungen umgestellt.

TI 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	~ BT - 100 [°C]
TI 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	~ BT - 100 [°C]

Bei der Umstellung auf reduzierende Bedingungen muss der Operator darauf achten, dass die Brennkammertemperatur weiterhin konstant bleibt (Nachregeln von Sauerstoff und Erdgas bei Hauptbrenner von der Warte aus).

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 01622	elektrisches Regelventil Primärsauerstoff	REGELBETRIEB
FIAHL 01301	Sauerstoffdurchfluss primär (Hauptbrenner)	ISTWERTANZEIGE
GIV 01611	elektrisches Regelventil Erdgas für Hauptbrenner	REGELBETRIEB
FIAHL 01305	Erdgasdurchfluss Hauptbrenner	ISTWERTANZEIGE

Der Operator startet die Nachverbrennung im Konverter. Dies erfolgt durch die Umstellung der 2-Stoff-Düse im Konverter von Druckluft auf Sauerstoff oder bei höheren Temperaturen auf Wasser/Sauerstoff. Die Regelung des Sauerstoffs für die 2-Stoff-Düse im Konverter erfolgt durch den Operator von der Warte aus.

ICON AUF DER WARTE

GV+- 02622	Magnetventil Konverterdruckluft	ZU
GV+- 02615	Magnetventil Konvertersauerstoff	AUF

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	REGELBETRIEB
FIAHL 02306	Durchfluss Konvertersauerstoff	ISTWERTANZEIGE
GIV 02618	elektrisches Regelventil Konverterdruckluft	ZU

Im Abgas, nach dem Konverter, darf kein CO entstehen und die Abgastemperatur muss weiterhin >850 [°C] betragen (oxidierende Bedingungen nach Konverter, Nachregeln von Sauerstoff und Wasser bei der Konverterdüse von der Warte aus).

TIZ AHL 02101	Temperatur Abgas 2 nach Konverter (Profil 3_Konverter)	> 850 [°C]
QIZ AHL 02401	Abgasqualität (O ₂ und CO) aus Filter	<0,02 % CO

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	REGELBETRIEB
FIAHL 02302	Durchfluss Konverterwasser	ISTWERTANZEIGE
GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	REGELBETRIEB
FIAHL 02306	Durchfluss Konvertersauerstoff	ISTWERTANZEIGE

5.1.3 Inbetriebnahme des Filters

Vor der Staubdosierung wird der Filter in Betrieb genommen. Die Reinigung des Filters erfolgt nach Bedarf.

ICON AUF DER WARTE

GV+- 02613	Magnetventil Filterdruckluft Steuergerät Filter 02-F1	AUF AKTIV
------------	--	--------------

5.2 Regelung durch den Operator von der Warte aus

Im Programm „Normalbetrieb der Anlage“ kann durch den Operator von der Warte aus Folgendes geregelt werden.

1. Staubmenge in Flash-Reaktor

BEDIENUNG AUF DER WARTE

E 01702	elektrischer Antrieb Eintragsschnecke 01-H1	REGELBETRIEB
---------	---	--------------

2. Sauerstoffdurchfluss Hauptbrenner

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 01622	elektrisches Regelventil Primärsauerstoff	REGELBETRIEB
FIAHL 01301	Sauerstoffdurchfluss primär (Hauptbrenner)	ISTWERTANZEIGE

3. Erdgasdurchfluss Hauptbrenner

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 01611	elektrisches Regelventil Erdgas für Hauptbrenner	REGELBETRIEB
FIAHL 01305	Erdgasdurchfluss Hauptbrenner	ISTWERTANZEIGE

4. Sauerstoffdurchfluss Konverter

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	REGELBETRIEB
FIAHL 02306	Durchfluss Konvertersauerstoff	ISTWERTANZEIGE

5. Wasserdurchfluss Konverter

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	REGELBETRIEB
FIAHL 02302	Durchfluss Konverterwasser	ISTWERTANZEIGE

6. Druckluftdurchfluss Quenche

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02611	elektrisches Regelventil Quenchedruckluft	REGELBETRIEB
FIAHL 02305	Durchfluss Quenchedruckluft	ISTWERTANZEIGE

7. Wasserdurchfluss Quenche

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02607	elektrisches Regelventil Quenchewasser	REGELBETRIEB
FIAHL 02303	Durchfluss Quenchewasser	ISTWERTANZEIGE

8. Luftdurchfluss Airmix

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02616	elektrische Regelklappe Kühlluft Airmix	REGELBETRIEB
FIAHL 02307	Durchfluss Kühlluft für Airmix	ISTWERTANZEIGE

5.3 Regelung durch den Operator per Hand

- Die Handregelventile der Prozesseinheit 3 können vom Operator aufgrund der Rücklauftemperatur des Kühlwassers (maximal 60 [°C]) im laufenden Betrieb der Anlage per Hand nachgeregelt werden.

ICON AUF DER WARTE

<i>TIZAH 03109</i>	<i>Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Pyrometerkühlung</i>	<i>< 60 [°C]</i>
<i>TIZAH 03110</i>	<i>Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung</i>	<i>< 60 [°C]</i>
<i>TIZAH 03111</i>	<i>Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner</i>	<i>< 60 [°C]</i>

BEDIENUNG VOR ORT

HV 03603	Handregelventil Kühlwasservorlauf Hauptbrenner	HANDREGELUNG
HV 03604	Handregelventil Kühlwasservorlauf Wurzelkühlung	HANDREGELUNG
HV 03605	Handregelventil Kühlwasservorlauf Pyrometerkühlung	HANDREGELUNG

- Der Sekundärsauerstoff kann vom Operator im laufenden Betrieb der Anlage per Hand nachgeregelt werden.

BEDIENUNG VOR ORT

HV 01603	Handregelventil Sekundärsauerstoff	HANDREGELUNG
FI 01302	Sauerstoffdurchfluss sekundär	ISTWERTANZEIGE

5.4 Regelstrecken und Steuergeräte

Im Programm „Normalbetrieb der Anlage“ sind folgende Regelstrecken vorhanden.

Abgasgebläse 02-V1: Unterdruck in Flash-Reaktor

Messglied:	PICZAHL 01216	Unterdruckanzeige in Flash-Reaktor
Stellglied:	E 02701	elektrischer Antrieb Abgasgebläse 02-V1
Sollwert:	5[mbar] Unterdruck gegen Atmosphärendruck	
Istwert:	Analogausgang PICZAHL 01216	

Im Programm „Normalbetrieb der Anlage“ sind folgende Steuergeräte aktiv.

	Steuereinheit Wasserkühler 03-A1	AKTIV
	Steuereinheit Filter 02-F1	AKTIV
	Steuergerät Dosiereinheit	AKTIV
E 01704	elektrischer Antrieb Unwuchtmotor	STEUERBETRIEB
E 01705	elektrischer Antrieb Sieb	STEUERBETRIEB
E 01706	elektrischer Antrieb Förderschnecke	STEUERBETRIEB
E 01707	elektrischer Antrieb Winkelbecherwerk	STEUERBETRIEB

6 Herunterfahren der Anlage

6.1 Stoppen des Staubeintrages und Herstellen des Normalzustandes

1. Der Staubeintrag stoppt

ICON AUF DER WARTE

E 01702	elektrischer Antrieb Eintragsschnecke 01-H1	AUS
	Steuereinheit Dosiereinheit	INAKTIV
E 01704	elektrischer Antrieb Unwuchtmotor	AUS
E 01705	elektrischer Antrieb Sieb	AUS
E 01706	elektrischer Antrieb Förderschnecke	AUS
E 01707	elektrischer Antrieb Winkelbecherwerk	AUS

Dabei hat der Operator darauf zu achten, dass die Brennkammertemperatur weiterhin konstant bleibt und die Abgasaustrittstemperatur aus dem Konverter weiterhin > 850 [°C] beträgt (Nachregeln von Sauerstoff und Erdgas bei dem Hauptbrenner bzw. Sauerstoff und Wasser bei der Konverterdüse). Zudem darf kein CO im Abgas enthalten sein.

TI 01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	~BT - 100 [°C]
TI 01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	~BT - 100 [°C]
TIZ AHL 02101	Temperatur Abgas 2 nach Konverter (Profil 3_Konverter)	> 850 [°C]
QIZ AHL 02401	Abgasqualität (O2 und CO) aus Filter	<0,02 % CO

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 01622	elektrisches Regelventil Primärsauerstoff	REGELBETRIEB
FIAHL 01301	Sauerstoffdurchfluss primär (Hauptbrenner)	ISTWERTANZEIGE
GIV 01611	elektrisches Regelventil Erdgas für Hauptbrenner	REGELBETRIEB
FIAHL 01305	Erdgasdurchfluss Hauptbrenner	ISTWERTANZEIGE
GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	REGELBETRIEB
FIAHL 02302	Durchfluss Konverterwasser	ISTWERTANZEIGE
GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	REGELBETRIEB
FIAHL 02306	Durchfluss Konvertersauerstoff	ISTWERTANZEIGE

2. Der Hauptbrenner wird vom Operator von der Warte aus auf oxidierende Bedingungen ($\lambda > 1$) umgeschaltet.

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 01622	elektrisches Regelventil Primärsauerstoff	REGELBETRIEB
FIAHL 01301	Sauerstoffdurchfluss primär (Hauptbrenner)	ISTWERTANZEIGE
GIV 01611	elektrisches Regelventil Erdgas für Hauptbrenner	REGELBETRIEB
FIAHL 01305	Erdgasdurchfluss Hauptbrenner	ISTWERTANZEIGE

BEDIENUNG VOR ORT

HV 01603	Handregelventil Sekundärsauerstoff	ZU
----------	------------------------------------	----

Dabei hat der Operator darauf zu achten, dass die Brennkammertemperatur weiterhin konstant bleibt und die Abgasaustrittstemperatur aus dem Konverter weiterhin > 850 [°C] beträgt (eventuelles Nachregeln von Sauerstoff und Erdgas bei dem Hauptbrenner bzw. Sauerstoff und Wasser bei der Konverterdüse).

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 01601	elektrisches Regelventil Primärsauerstoff	REGELBETRIEB
FIAHL 01301	Sauerstoffdurchfluss primär (Hauptbrenner)	ISTWERTANZEIGE
GIV 01611	elektrisches Regelventil Erdgas für Hauptbrenner	REGELBETRIEB
FIAHL 01305	Erdgasdurchfluss Hauptbrenner	ISTWERTANZEIGE
GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	REGELBETRIEB
FIAHL 02302	Durchfluss Konverterwasser	ISTWERTANZEIGE
GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	REGELBETRIEB
FIAHL 02306	Durchfluss Konvertersauerstoff	ISTWERTANZEIGE

3. Der Hauptbrenner muss 8 min auf oxidierenden Bedingungen gefahren werden (oxidierenden Bedingungen im ganzen Abgassystem).
4. Falls die Kühlung mit Druckluft ausreicht, um die Temperatur zu halten kann das Betriebswasser ausgeschaltet werden.

BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02603	Magnetventil Konverterwasser Bypass	AUF
GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	ZU
GIV 02606	Magnetventil Konverterwasser	ZU
GIV 02607	elektrisches Regelventil Konverterwasser	ZU
GIV 02608	Magnetventil Konverterwasser	ZU

5. *Der Filter wird außer Betrieb genommen*

ICON AUF DER WARTE

GV+- 02613 Magnetventil Filterdruckluft ZU

Die Anlage läuft jetzt wieder im Normalzustand, bei weiterer Staubdosierung muss sie wieder auf reduzierende Bedingungen umgestellt werden (vgl. Kap. 5).

6.2 **Herunterfahren der Anlage und überführen in den Ruhezustand**

Vor dem Herunterfahren der Anlage muss diese mindestens 8 Minuten oxidierend betrieben werden (vgl. Kapitel 6.1). Das Herunterfahren der Anlage erfolgt in den Betriebsarten Warm und Kalt, abhängig von den Temperaturen.

1. *Der Hauptbrenner wird ausgeschaltet*

GV+- 01602 Magnetventil Primärsauerstoff ZU

GV+- 01604 Magnetventil Sekundärsauerstoff ZU

GV+- 01609 Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 1 ZU

GV+- 01610 Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 2 ZU

GIV 01622 elektrisches Regelventil Primärsauerstoff ZU

GIV 01611 elektrisches Regelventil Erdgas für Hauptbrenner ZU

2. *Die Prozesseinheit 02 wird je nach Betriebstemperatur schrittweise außer Betrieb genommen.*

ICON AUF DER WARTE

GV+- 02604 Magnetventil für Betriebswasser Konverter und Quenche ZU

GV+- 02606 Magnetventil Konverterwasser ZU

GV+- 02610 Magnetventil Konverterdruckluft (Sperrluft) ZU

GV+- 02615 Magnetventil Konvertersauerstoff ZU

GV+- 02622 Magnetventil Konverterdruckluft AUF

GV+- 02619 Magnetventil Betriebswasser (Stromaus zu) ZU

GV+- 02608 Magnetventil Quenchewasser ZU

GV+- 02612 Magnetventil Quenchedruckluft AUF

GV+- 02613 Magnetventil Filterdruckluft ZU

GV+- 02620 Klappe Abgas 4 vor Tuchfilter 02-F1 ZU

GV+- 02621 Klappe Bypass Tuchfilter 02-F1 AUF

Steuereinheit Filter INAKTIV

ICON AUF DER WARTE

E 02701 elektrischer Antrieb Abgasgebläse 02-V1 AUS

E 02702 elektrischer Antrieb Betriebswasserpumpe 02-P1 AUS

E 02703 *elektrischer Antrieb Airmixgebläse 02-V2* AUS
 BEDIENUNG AUF DER WARTE

GIV 02605 *elektrisches Regelventil Konverterwasser* ZU
 GIV 02614 *elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff* ZU
 GIV 02618 *elektrisches Regelventil Konverterdruckluft* ZU
 GIV 02607 *elektrisches Regelventil Quenchwasser* ZU
 GIV 02611 *elektrisches Regelventil Quenchedruckluft* AUF
 GIV 02616 *elektrische Regelklappe Kühlluft Airmix* ZU

BEDIENUNG VOR ORT

AV 01634 *Hauptabsperrentil Sauerstoff* ZU
 AV 01627 *Hauptabsperrentil Erdgas* ZU
 AV 02625 *Hauptabsperrentil Betriebswasser (Stromaus)* ZU
 AV 01632 *Hauptabsperrentil Stickstoff* ZU

BEDIENUNG VOR ORT

AV 02633 *Hauptabsperrentil Druckluft* ZU

3. Die Prozesseinheit 03 wird erst vom Operator außer Betrieb genommen, wenn die Anlage auf Umgebungstemperatur abgekühlt ist.

BEDIENUNG VOR ORT

AV 03610 *Hauptabsperrentil Betriebswasser Kühlkreislauf (Stromaus)* ZU

ICON AUF DER WARTE

E 03701 *elektrischer Antrieb Kühlwasserpumpe 03-P1* AUS
 E 03702 *elektrischer Antrieb Kühlmittelpumpe 03-P2* AUS
 Steuereinheit Wasserkühler 03-A1 INAKTIV

ICON AUF DER WARTE

GV+- 03601 *Magnetventil Kühlwasser Vorlauf* ZU
 GV+- 03602 *Magnetventil Kühlwasser Vorlauf (Stromaus)* AUF
 GV+- 03606 *Magnetventil Kühlwasser Rücklauf* ZU
 GV+- 03607 *Magnetventil Kühlwasser Rücklauf (Stromaus)* AUF

7 Störabschaltungen der Anlage

Beim Auslösen einer Störabschaltung, mit Ausnahme von Kapitel 7.4 Stromausfall, ist das Abgassystem der Anlage noch 10 sec in Betrieb um die reduzierenden Abgase aus der Brennkammer und dem Steigrohr noch nachzuverbrennen bzw. abzukühlen. Siehe hierzu auch Anhang III.

7.1 Prozesshalt

Im Programm „Prozesshalt“ werden folgende Schritte ausgeführt:

1. Folgende Antriebe werden sofort nach Auslösen des Prozesshalt geschaltet.

GV+- 01602	Magnetventil Primärsauerstoff	ZU
GV+- 01604	Magnetventil Sekundärsauerstoff	ZU
GV+- 01606	Sauerstoff Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01608	Sauerstoff-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01609	Erdgas Magnetventil 1 für Hauptbrenner	ZU
GV+- 01610	Erdgas Magnetventil 2 für Hauptbrenner	ZU
GV+- 01612	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner vor Bypass	ZU
GV+- 01614	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner nach Bypass	ZU
GV+- 01616	Erdgas-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01617	Klappe für Brennkammerspülluft	ZU
GV+- 01618	Magnetventil Stickstoffspülung NOT-Aus	AUF
GV+- 02619	Magnetventil Betriebswasser (Stromaus zu)	ZU
E 01702	elektrischer Antrieb Eintragsschnecke 01-H1	AUS
E 01703	elektrischer Antrieb Spülluftgebläse 01-V1	AUS
E 01704	elektrischer Antrieb Unwuchtmotor	AUS
E 01705	elektrischer Antrieb Sieb	AUS
E 01706	elektrischer Antrieb Förderschnecke	AUS
E 01707	elektrischer Antrieb Winkelbecherwerk	AUS
E 02702	elektrischer Antrieb Betriebswasserpumpe 02-P1	EIN
	Steuergerät Dosiereinheit	INAKTIV

2. Folgende Antriebe werden 10 sec nach Auslösen des Prozesshalts geschaltet. Die Regelventile sind innerhalb der 10 sec noch im Regelbetrieb.

GV+- 02603	Magnetventil Betriebswasser für Bypass Konverterwasser	AUF
GV+- 02604	Magnetventil für Betriebswasser Konverter und Quenche	ZU
GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	ZU
GV+- 02606	Magnetventil Konverterwasser	ZU
GIV 02607	elektrisches Regelventil Quenchewasser	ZU
GV+- 02608	Magnetventil Quenchewasser	ZU
GV+- 02610	Magnetventil Konverterdruckluft (Sperrluft)	AUF
GIV 02611	elektrisches Regelventil Quenchedruckluft	AUF

GV+- 02612	Magnetventil Quenchedruckluft	AUF
GV+- 02613	Magnetventil Filterdruckluft	ZU
GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	ZU
GV+- 02615	Magnetventil Konvertersauerstoff	ZU
GIV 02616	elektrische Regelklappe Kühlluft Airmix	ZU
GIV 02618	elektrisches Regelventil Konverterdruckluft	ZU
GV+- 02620	Klappe Abgas 4 vor Tuchfilter 02-F1	ZU
GV+- 02621	Klappe Bypass Tuchfilter 02-F1	AUF
GV+- 02622	Magnetventil Konverterdruckluft	ZU
E 02701	elektrischer Antrieb Abgasgebläse 02-V1	AUS
E 02703	elektrischer Antrieb Airmixgebläse 02-V2	AUS

3. Die Prozesseinheit 03 bleibt in Betrieb

Das Programm „Prozesshalt“ wird ausgelöst durch:

1. Durch einen Operator mittels Icon von der Warte aus.
2. *Durch den Operator mittels „Prozesshalt“-Button auf den Schaltschränken*
3. *Bei Abfall der Temperatur unter 750 °C und es ist nicht die Betriebsart Kalt angewählt*
4. Durch Auslösen eines Druckalarms der Betriebsmedien.

PIZ AHL 01204	Sauerstoffdruck in Hauptleitung	< ALARM LOW
PIZ AHL 01204	Sauerstoffdruck in Hauptleitung	> ALARM HIGH
PIZ AHL 01211	Erdgasdruck in Hauptleitung	< ALARM LOW
PIZ AHL 02208	Druck Druckluftleitung	< ALARM LOW
PIZ AHL 02208	Druck Druckluftleitung	> ALARM HIGH
PIZ AHL 03201	Druck Betriebswasserleitung	< ALARM LOW
PIZ AHL 03201	Druck Betriebswasserleitung	> ALARM HIGH

5. Durch den Ausfall des Abgasgebläses 02-V1

E 02701	elektrischer Antrieb Abgasgebläse 02-V1	STÖRMELDUNG
---------	---	-------------

7.2 Ausfall von Betriebswasserpumpe 02-P1

Bei Ausfall der Betriebswasserpumpe 02-P1 werden der Konverter und die Quenche über die Betriebswasserleitung für Stromaus 10 sec mit Wasser versorgt.

Im Programm „Ausfall von Betriebswasserpumpe 02-P1“ werden folgende Schritte ausgeführt:

1. Folgende Antriebe werden sofort geschaltet.

GV+- 01602	Magnetventil Primärsauerstoff	ZU
GV+- 01604	Magnetventil Sekundärsauerstoff	ZU
GV+- 01606	Sauerstoff Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01608	Sauerstoff-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU

GV+- 01609	Erdgas Magnetventil 1 für Hauptbrenner	ZU
GV+- 01610	Erdgas Magnetventil 2 für Hauptbrenner	ZU
GV+- 01612	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner vor Bypass	ZU
GV+- 01614	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner nach Bypass	ZU
GV+- 01616	Erdgas-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01617	Klappe für Brennkammerspülluft	ZU
GV+- 01618	Magnetventil Stickstoffspülung NOT-Aus	AUF
GV+- 02603	Magnetventil Betriebswasser für Bypass Konverterwasser	ZU
GV+- 02604	Magnetventil für Betriebswasser Konverter und Quenche	ZU
GV+- 02613	Magnetventil Filterdruckluft	ZU
GIV 02616	elektrische Regelklappe Kühlluft Airmix	ZU
GV+- 02619	Magnetventil Betriebswasser (Stromaus zu)	AUF
GV+- 02620	Klappe Abgas 4 vor Tuchfilter 02-F1	ZU
GV+- 02621	Klappe Bypass Tuchfilter 02-F1	AUF
E 01702	elektrischer Antrieb Eintragsschnecke 01-H1	AUS
E 01703	elektrischer Antrieb Spülluftgebläse 01-V1	AUS
E 01704	elektrischer Antrieb Unwuchtmotor	AUS
E 01705	elektrischer Antrieb Sieb	AUS
E 01706	elektrischer Antrieb Förderschnecke	AUS
E 01707	elektrischer Antrieb Winkelbecherwerk	AUS
E 02701	elektrischer Antrieb Abgasgebläse 02-V1	AUS
E 02702	elektrischer Antrieb Betriebswasserpumpe 02-P1	AUS
E 02703	elektrischer Antrieb Airmixgebläse 02-V2	AUS
	Steuergerät Dosiereinheit	INAKTIV

2. Folgende Antriebe werden 10 sec nach dem Auslösen geschaltet. Die Regelventile sind innerhalb der 10 sec noch im Regelbetrieb.

GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	ZU
GV+- 02606	Magnetventil Konverterwasser	ZU
GIV 02607	elektrisches Regelventil Quenchewasser	ZU
GV+- 02608	Magnetventil Quenchewasser	ZU
GV+- 02610	Magnetventil Konverterdruckluft (Sperrluft)	AUF
GIV 02611	elektrisches Regelventil Quenchedruckluft	AUF
GV+- 02612	Magnetventil Quenchedruckluft	AUF
GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	ZU
GV+- 02615	Magnetventil Konvertersauerstoff	ZU
GIV 02618	elektrisches Regelventil Konverterdruckluft	ZU
GV+- 02619	Magnetventil Betriebswasser (Stromaus zu)	ZU
GV+- 02622	Magnetventil Konverterdruckluft	ZU

2. Bei Abweichung der Kühlwasserströme

<i>FIZAL 03306</i>	<i>Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Pyrometerkühlung</i>	<i>< 0,9 * FI 03303</i>
<i>FIZAH 03307</i>	<i>Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung</i>	<i>< 0,9 * FI 03304</i>
<i>FIZAH 03308</i>	<i>Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner</i>	<i>< 0,9 * FI 03305</i>

3. Durch den Ausfall von Kühlwasserpumpe 03-P1.

E 03701	elektrischer Antrieb Kühlwasserpumpe 03-P1	AUS
---------	--	-----

4. Durch den Ausfall von Kühlmittelpumpe 03-P2.

E 03702	elektrischer Antrieb Kühlmittelpumpe 03-P2	AUS
---------	--	-----

5. Durch den Ausfall des Wasserkühler 03-A1.

Wasserkühler 03-A1 STÖRMELDUNG

6. Durch Auslösen des Trockenlaufschutzes der Pumpe 03-P1.

LIZAL 03903	Trockenlaufschutz Pumpe 03-P1	< MIN
-------------	-------------------------------	-------

7. Durch Auslösen des Trockenlaufschutzes der Pumpe 03-P2.

LIZAL 03904	Trockenlaufschutz Pumpe 03-P2	< MIN
-------------	-------------------------------	-------

8. Durch Auslösen des Strömungswächters der Pumpe 03-P1.

<i>FIZAL 03309</i>	<i>Strömungswächter Pumpe 03-P1</i>	<i>< MIN</i>
--------------------	-------------------------------------	-----------------

9. Durch Auslösen des Strömungswächters der Pumpe 03-P2.

<i>FIZAL 03310</i>	<i>Strömungswächter Pumpe 03-P2</i>	<i>< MIN</i>
--------------------	-------------------------------------	-----------------

10. Durch Auslösen des Druckalarms im Kühlwasserkreislauf.

PIZ AHL 03208	Druck Kühlwasserkreislauf	< MIN
PIZ AHL 03208	Druck Kühlwasserkreislauf	> MAX

Bei Eintritt des Punktes 2 Abweichung der Kühlwasserströme muss zusätzlich eine Handabspernung des jeweiligen Stranges vor Ort durchgeführt werden. Dies sind konkret:

<i>Störfall</i>	<i>Ventile</i>
<i>FIZAL 03308 Pyrometerkühlung</i>	<i>AV03612</i>
<i>FIZAL 03307 Wurzelkühlung</i>	<i>AV03613</i>
<i>FIZAL 03306 Hauptbrenner</i>	<i>AV03614</i>

7.4 Stromausfall

Im Programm „Stromausfall“ werden folgende Schritte ausgeführt:

1. Folgende Antriebe werden sofort aufgrund des fehlenden Stroms geschaltet.

GV+- 01602	Magnetventil Primärsauerstoff	ZU
GV+- 01604	Magnetventil Sekundärsauerstoff	ZU
GV+- 01606	Sauerstoff Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01608	Sauerstoff-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01609	Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 1	ZU
GV+- 01610	Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 2	ZU
GV+- 01612	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner vor Bypass	ZU
GV+- 01614	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner nach Bypass	ZU
GV+- 01616	Erdgas-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01617	Klappe für Brennkammerspülluft	ZU
GV+- 01618	Magnetventil Stickstoffspülung NOT-Aus	AUF
GV+- 02603	Magnetventil Betriebswasser für Bypass Konverterwasser	ZU
GV+- 02604	Magnetventil für Betriebswasser Konverter und Quenche	ZU
GV+- 02612	Magnetventil Quenchedruckluft	AUF
GV+- 02613	Magnetventil Filterdruckluft	ZU
GV+- 02620	Klappe Abgas 4 vor Tuchfilter 02-F1	ZU
GV+- 02621	Klappe Bypass Tuchfilter 02-F1	AUF
GV+- 03601	Magnetventil für Kühlwasservorlauf	ZU
GV+- 03602	Magnetventil für Kühlwasservorlauf (Stromaus)	AUF
GV+- 03606	Magnetventil für Kühlwasserrücklauf	ZU
GV+- 03607	Magnetventil für Kühlwasserrücklauf (Stromaus)	AUF
E 01702	elektrischer Antrieb Eintragsschnecke 01-H1	AUS
E 01703	elektrischer Antrieb Spülluftgebläse 01-V1	AUS
E 01704	elektrischer Antrieb Unwuchtmotor	AUS
E 01705	elektrischer Antrieb Sieb	AUS
E 01706	elektrischer Antrieb Förderschnecke	AUS
E 01707	elektrischer Antrieb Winkelbecherwerk	AUS
E 02701	elektrischer Antrieb Abgasgebläse 02-V1	AUS
E 02702	elektrischer Antrieb Betriebswasserpumpe 02-P1	AUS
E 02703	elektrischer Antrieb Airmixgebläse 02-V2	AUS
E 03701	elektrischer Antrieb Kühlwasserpumpe 03-P1	AUS
E 03702	elektrischer Antrieb Kühlmittelpumpe 03-P2	AUS
E 03703	elektrischer Antrieb 1 Wasserkühler 03-A1	AUS
E 03704	elektrischer Antrieb 2 Wasserkühler 03-A1	AUS
	Steuergerät Dosiereinheit	INAKTIV

2. Folgende Antriebe werden über eine Notstromversorgung (USV), für eine Dauer von 10 sec ab dem Stromausfall, versorgt.

GV+- 02619	Magnetventil Betriebswasser (Stromaus zu)	AUF
GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	REGELBETRIEB
GV+- 02606	Magnetventil Konverterwasser	AUF
GIV 02607	elektrisches Regelventil Quenchwasser	REGELBETRIEB
GV+- 02608	Magnetventil Quenchwasser	AUF
GV+- 02610	Magnetventil Konverterdruckluft (Sperrluft)	ZU
GIV 02611	elektrisches Regelventil Quenchedruckluft	REGELBETRIEB
GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	REGELBETRIEB
GV+- 02615	Magnetventil Konvertersauerstoff	AUF
GIV 02618	elektrisches Regelventil Konverterdruckluft	REGELBETRIEB
GV+- 02622	Magnetventil Konverterdruckluft	AUF

3. Nach den 10 sec gehen die über die Notstromversorgung versorgten Regel- und Magnetventile in ihre Sicherheitsstellung.

GV+- 02619	Magnetventil Betriebswasser (Stromaus zu)	ZU
GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	ZU
GV+- 02606	Magnetventil Konverterwasser	ZU
GIV 02607	elektrisches Regelventil Quenchwasser	ZU
GV+- 02608	Magnetventil Quenchwasser	ZU
GV+- 02610	Magnetventil Konverterdruckluft (Sperrluft)	AUF
GIV 02611	elektrisches Regelventil Quenchedruckluft	AUF
GIV+- 02612	Magnetventil Quenchedruckluft	AUF
GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	ZU
GV+- 02615	Magnetventil Konvertersauerstoff	ZU
GIV 02618	elektrisches Regelventil Konverterdruckluft	ZU
GV+- 02622	Magnetventil Konverterdruckluft	ZU

7.5 NOT-Aus

Im Programm „NOT-Aus“ werden folgende Schritte durchgeführt:

1. Folgende Antriebe werden sofort geschaltet.

GV+- 01602	Magnetventil Primärsauerstoff	ZU
GV+- 01604	Magnetventil Sekundärsauerstoff	ZU
GV+- 01606	Sauerstoff Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01608	Sauerstoff-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01609	Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 1	ZU
GV+- 01610	Erdgas Magnetventil für Hauptbrenner 2	ZU
GV+- 01612	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner vor Bypass	ZU
GV+- 01614	Erdgas Magnetventil für Stützbrenner nach Bypass	ZU

GV+- 01616	Erdgas-Bypass Magnetventil für Stützbrenner	ZU
GV+- 01617	Klappe für Brennkammerspülluft	ZU
GV+- 01618	Magnetventil Stickstoffspülung NOT-Aus	AUF
GV+- 02619	Magnetventil Betriebswasser (Stromaus zu)	ZU
GV+- 03601	Magnetventil für Kühlwasservorlauf	ZU
GV+- 03602	Magnetventil für Kühlwasservorlauf (Stromaus)	AUF
GV+- 03606	Magnetventil für Kühlwasserrücklauf	ZU
GV+- 03607	Magnetventil für Kühlwasserrücklauf (Stromaus)	AUF
E 01702	elektrischer Antrieb Eintragsschnecke 01-H1	AUS
E 01703	elektrischer Antrieb Spülluftgebläse 01-V1	AUS
E 01704	elektrischer Antrieb Unwuchtmotor	AUS
E 01705	elektrischer Antrieb Sieb	AUS
E 01706	elektrischer Antrieb Förderschnecke	AUS
E 01707	elektrischer Antrieb Winkelbecherwerk	AUS
E 03701	elektrischer Antrieb Kühlwasserpumpe 03-P1	AUS
E 03702	elektrischer Antrieb Kühlmittelpumpe 03-P2	AUS
E 03703	elektrischer Antrieb 1 Wasserkühler 03-A1	AUS
E 03704	elektrischer Antrieb 2 Wasserkühler 03-A1	AUS
	Steuergerät Dosiereinheit	INAKTIV

2. Folgende Antriebe werden 10 sec nach Auslösen des NOT-Aus geschaltet. Die Regelventile sind innerhalb der 10 sec noch im Regelbetrieb.

GV+- 02603	Magnetventil Betriebswasser für Bypass Konverterwasser	ZU
GV+- 02604	Magnetventil für Betriebswasser Konverter und Quenche	ZU
GIV 02605	elektrisches Regelventil Konverterwasser	ZU
GV+- 02606	Magnetventil Konverterwasser	ZU
GIV 02607	elektrisches Regelventil Quenchewasser	ZU
GV+- 02608	Magnetventil Quenchewasser	ZU
GV+- 02610	Magnetventil Konverterdruckluft (Sperrluft)	AUF
GIV 02611	elektrisches Regelventil Quenchedruckluft	AUF
GV+- 02612	Magnetventil Quenchedruckluft	AUF
GV+- 02613	Magnetventil Filterdruckluft	ZU
GIV 02614	elektrisches Regelventil Konvertersauerstoff	ZU
GV+- 02615	Magnetventil Konvertersauerstoff	ZU
GIV 02616	elektrische Regelklappe Kühlluft Airmix	ZU
GIV 02618	elektrisches Regelventil Konverterdruckluft	ZU
GV+- 02620	Klappe Abgas 4 vor Tuchfilter 02-F1	ZU
GV+- 02621	Klappe Bypass Tuchfilter 02-F1	AUF
GV+- 02622	Magnetventil Konverterdruckluft	ZU
E 02701	elektrischer Antrieb Abgasgebläse 02-V1	AUS
E 02702	elektrischer Antrieb Betriebswasserpumpe 02-P1	AUS
E 02703	elektrischer Antrieb Airmixgebläse 02-V2	AUS

Das Programm „NOT-Aus“ wird ausgelöst durch:

1. Durch einen Operator mittels NOT-Aus Button auf den Schaltschränken.

INFO: FIAHL 02305 und GIV 02611 haben Sicherheitsstellung geöffnet, zeigen bei der Datenaufzeichnung jedoch Durchfluss NULL an, da sie stromlos geschaltet werden.

Anhang I Grenzwerte für Alarme

Anhang I

Funktion	Nr.	Text	Einheit	AH	AL	Einsatz der Alarme
TIZAHL	01101	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	[°C]	1750	1500	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01102	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	[°C]	1650	1350	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01103	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	[°C]	1050	750	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01104	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	[°C]	380	80	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01105	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	[°C]	1750	1500	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01106	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	[°C]	1650	1350	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01107	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	[°C]	1050	750	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01108	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 2_Flashi)	[°C]	380	80	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01109	Temperatur Feuerfest in Brennkammer (Profil 1_Flashi)	[°C]	1700	1400	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01110	Temperatur Feuerfest in Steigrohr (Profil 1_Steigrohr-Knie)	[°C]	1750	1300	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01112	Temperatur Feuerfest in Steigrohr (Profil 1_Steigrohr-Knie)	[°C]	380	20	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01113	Temperatur Feuerfest in Steigrohr (Profil 2_Steigrohr)	[°C]	1750	1300	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	01114	Temperatur Feuerfest in Steigrohr (Profil 2_Steigrohr)	[°C]	770	20	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAH	01116	Temperatur im Kopf	[°C]	100	-	Anfahren AH, Normalbetrieb AH
PIZAHL	01204	Sauerstoffdruck in Hauptleitung	[bar]	8	3	Anfahren AHL, Normalbetrieb AHL,
PIZAHL	01211	Erdgasdruck in Hauptleitung	[bar]	2,5	0,2	Anfahren AHL, Normalbetrieb AHL,
PICZAHL	01216	Unterdruckanzeige in Flash-Reaktor	[mbar]	0	-15	Anfahren AHL, Normalbetrieb AHL,
PIZAL	01220	Stickstoffdruck Hauptleitung	[bar]	-	2,5	Anfahren AL, Normalbetrieb AL,
FIAHL	01301	Sauerstoffdurchfluss primär (Hauptbrenner)	[Nm ³ /h]	120	10	Normalbetrieb AHL, Anfahren AHL,
FIAHL	01305	Erdgasdurchfluss Hauptbrenner	[Nm ³ /h]	75	10	Normalbetrieb AHL, Anfahren AHL
FIZAL	01308	Sauerstoffdurchfluss Stützbrenner	[Nm ³ /h]	45	5	Anfahren AHL, Normalbetrieb
FIZAL	01309	Erdgasdurchfluss Stützbrenner	[Nm ³ /h]	90	10	Anfahren AHL, Normalbetrieb
RZA	01501	Flammenüberwachung Stützbrenner	[nm]	-	-	Anfahren Alarm über Feuerungsautomat, Normalbetrieb kein Alarm
TIZAHL	02101	Temperatur Abgas 2 nach Konverter (Profil 3_Konverter)	[°C]	900	500	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	02102	Temperatur Abgas 3 nach Quenche	[°C]	220	150	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,
TIZAHL	02103	Temperatur Abgas 4 nach Airmix	[°C]	160	120	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL,

Funktionsbeschreibung Flash-Reaktor

Anhang I

Funktion	Nr.	Text	Einheit	AH	AL	Einsatz der Alarme
TIZ AHL	02106	Temperatur Feuerfest in Konverter (Profil 1_Konverter)	[°C]	1700	1400	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL
TIZ AHL	02107	Temperatur Feuerfest in Konverter (Profil 1_Konverter)	[°C]	700	400	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL
TIZ AHL	02108	Temperatur Feuerfest in Konverter (Profil 2_Konverter)	[°C]	1700	1000	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL
TIZ AHL	02109	Temperatur Feuerfest nach Konverter (Profil 3_Konverter)	[°C]	400	20	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL
TIZ AHL	02110	Temperatur Feuerfest in Quenche (Profil 1_Quenche)	[°C]	600	200	Anfahren AH, Normalbetrieb AHL
PIZ AHL	02201	Druck nach Pumpe 02-P1	[bar]	8	4	AHL mit EIN/AUS Pumpe 02-P1 gekoppelt
PIZ AHL	02203	Druck Konverterwasser nach Regelventil	[bar]	7	2	Normalbetrieb AHL,
PIZ AHL	02206	Druck Quenchewasser nach Regelventil	[bar]	7	2	Normalbetrieb AHL,
PIZ AHL	02208	Druck Druckluftleitung	[bar]	10	4	Anfahren AHL, Normalbetrieb AHL,
PIZ AHL	02216	Druck Quenchedruckluft nach Regelventil	[bar]	8	1	Normalbetrieb AHL
PIZ AHL	02219	Druck Konvertersauerstoff nach Regelventil	[bar]	6	1	Normalbetrieb AHL
PIZ AHL	02222	Druck Konverterdruckluft nach Regelventil	[bar]	8	1	Normalbetrieb AHL
FIA HL	02302	Durchfluss Konverterwasser	[Nm ³ /h]	1	0,05	Normalbetrieb AHL
FIA HL	02303	Durchfluss Quenchewasser	[Nm ³ /h]	1	0,05	Normalbetrieb AHL
FIA HL	02305	Durchfluss Quenchedruckluft	[Nm ³ /h]	140	0	Normalbetrieb AHL
FIA HL	02306	Durchfluss Konvertersauerstoff	[Nm ³ /h]	55	0	Normalbetrieb AHL
FIA HL	02308	Durchfluss Konverterdruckluft	[Nm ³ /h]	70	0	Normalbetrieb AHL
FIZ AL	02309	Strömungswächter Pumpe 02-P1	[cm/s]	150	2	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
QIZ AHL	02401	Abgasqualität (O ₂ und CO) aus Filter	[%] O ₂ und CO	- 1	0,5 0	Anfahren AHL, Normalbetrieb AHL
LIA H	02901	Füllstandregistrierung MAX im 02-B1	-	-	-	Anfahren AH, Normalbetrieb AH
LIAL	02902	Füllstandregistrierung MIN im 02-B1	-	-	-	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
LIZ AL	02903	Trockenlaufschutz Pumpe 02-P1	-	-	-	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
TIZ AH	03104	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf vor 03-W1	[°C]	80	-	Anfahren AH, Normalbetrieb AH
TIZ AH	03105	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf nach 03-W1	[°C]	50	-	Anfahren AH, Normalbetrieb AH
TIZ AH	03306	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner	[°C]	80	-	Anfahren AH, Normalbetrieb AH
TIZ AH	03307	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung	[°C]	80	-	Anfahren AH, Normalbetrieb AH

Anhang I

Funktion	Nr.	Text	Einheit	AH	AL	Einsatz der Alarme
TIAZH	03308	Temperaturmessung Kühlwasserrücklauf Pyrometer	[°C]	80	-	Anfahren AH, Normalbetrieb AH
FIZAL	03306	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner	[cm/s]	-	0,9*FI 03303	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
FIZAL	03307	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung	[cm/s]	-	0,9*FI 03304	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
FIZAL	03308	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Pyrometer	[cm/s]	-	0,9*FI 03306	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
FIZAL	03306	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Hauptbrenner	[cm/s]	-	500	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
FIZAL	03307	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Wurzelkühlung	[cm/s]	-	300	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
FIZAL	03308	Strömungswächter Kühlwasserrücklauf Pyrometer	[cm/s]	-	200	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
PIZAHL	03201	Druck Betriebswasserleitung	[bar]	8	2	Anfahren AHL, Normalbetrieb AHL
PIZAHL	03208	Druck Kühlwasserkreislauf	[bar]	2,5	0,5	Anfahren AHL, Normalbetrieb AHL
FIZAL	03309	Strömungswächter Pumpe 03-P1	[cm/s]	150	11	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
FIZAL	03310	Strömungswächter Pumpe 03-P2	[cm/s]	150	11	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
LIZAL	03903	Trockenlaufschutz Pumpe 03-P1	-	-	-	Anfahren AL, Normalbetrieb AL
LIZAL	03904	Trockenlaufschutz Pumpe 03-P2	-	-	-	Anfahren AL, Normalbetrieb AL

INFO: LOMAS Grenzwerte O2: AH 23%

CO: AH 0,2 %

Anhang II Berechnung Brennkammerspülzeit

BERECHNUNG BRENNKAMMERSPÜLZEIT

Volumen Brennkammer und Abgassystem

	H bzw. L [m]	D [m]	V [m ³]
Brennkammer	2,9	1,1	2,75
Steigrohr	4,2	0,5	0,82
Konverter	4	0,32	0,32
Quenche	6	0,6	1,70
Filter	-	-	14,00
Abgasleitung	25	0,2	0,79

Volumen Brennkammer und Abgassystem Gesamt

Volumen Gesamt	[m ³]	20,38
----------------	-------------------	-------

Vorgabe für Brennkammerspülung

ÖNORM EN 746-2

Fünf vollständige Luftwechsel von Brennkammer und Abgaswegen

Volumen Gesamt x 5	[m ³]	101,90
--------------------	-------------------	--------

Volumenstrom Spülluftgebläse

Volumenstrom	[Bm ³ /h]	910
--------------	----------------------	-----

Brennkammerspülzeit

Spülzeit berechnet	[min]	7
Spülzeit festgelegt	[min]	10

Anhang III Berechnung Brennkammerverweilzeit

BERECHNUNG BRENNKAMMERVERWEILZEIT

Volumen Brennkammer und Steigrohr

	H	D	V
	[m]	[m]	[m ³]
Brennkammer	2,9	1,1	2,75
Steigrohr	4,2	0,5	0,82

Volumen Brennkammer und Steigrohr Gesamt

Volumen Gesamt	[m ³]	3,58
----------------	-------------------	------

Vorgabe max. Volumenstrom aus Brennkammer

Massen- und Energiebilanz für 300 kg/h zinkhaltigen Staub

Max. Volumenstrom	[Bm ³ /h]	1420,00
-------------------	----------------------	---------

Brennkammerverweilzeit

Verweilzeit berechnet	[sec]	9,07
Verweilzeit festgelegt	[sec]	10,00

Anhang IV Checkliste Hochfahren

Handbetrieb:

1. Rückkühler starten (03703/03704)
2. Alarm quittieren
3. Kühlmittelpumpe einschalten (03702)
4. Ventile 03606 und 03601 öffnen
5. Ventil 03607 schließen und Kühlwasserkreislauf auf 2,3 bar aufdrücken
6. Bei erreichtem Druck Ventil 03602 schließen
7. Kühlwasserpumpe (03701) einschalten, der Druck (03208) sollte zwischen 1,2 und 1,5 bar liegen
8. Druckluftventile schließen (02610, 02612, 02613, 02622)
9. Kugelhähne an Konverter und Quenche öffnen
10. Wechsel auf BA Kalt!!

Beim Hochfahren über den Kopf Falschluff ziehen lassen. Dies erhöht die Abgastemperatur deutlich und verringert die Kondensation von Wasser in der Anlage.

Kaltbetrieb

1. Druckluftventile kontrollieren (02610, 02612, 02613, 02622)
2. Sauerstoff kontrollieren
3. Erdgas schalten (01612) AUF
4. Stickstoff schließen (01618) ZU
5. Spülen (01617) AUF und (01703) EIN
6. Abgassystem prüfen
 - 02620 AUF
 - 02621 ZU

- 02616 ZU (Wert = 0)
7. Spülzeit abgelaufen dann auf Ansicht Sauerstoff wechseln
 - 01614 auf 0 stellen
 - 02615 AUF
 8. Gas Feuerungsautomat EIN
 9. Saugzuggebläse (02701) EIN
 10. *Druckluftbeaufschlagung der Lanzen*

Notizen: