

Lastenheft

Automatisierung eines Bioreaktors
an der Universität Hohenheim

Version 4

Daniel Wibbing
Letzte Änderung: 04.02.2020



Inhalt

1	Motivation & Zielsetzung	4
2	Vorgehen.....	5
3	Übersicht Anforderungen	6
3.1	Geräte	6
3.2	Software	6
4	Geräte.....	7
4.1	Analoge und digitale Ein- und Ausgänge	7
4.2	Bus-Kommunikation	7
4.3	Anzeige- und Bedieneinheit	8
5	Bedienkonzept	9
5.1	Bedienung & Parametrierung	9
5.2	Datenanzeige.....	10
5.3	Datenkommunikation	10
5.4	Warnungen und Fehlermeldungen.....	10
6	Datenaufzeichnung	12
6.1	Aufgezeichnete Daten:.....	12
6.2	Funktionalität:	12
7	Regler	13
7.1	Übersicht	13
7.2	Allgemeine Anforderungen	14
7.2.1	Zahlenformat.....	14
7.2.2	Manueller Modus	14
7.3	Behältertemperierung.....	15
7.3.1	Funktion	15
7.3.2	Regler.....	16
7.3.3	Parametrierung	17
7.4	Behälterdruck	18
7.4.1	Funktion	18
7.4.2	Geräte	19
7.4.3	Regler.....	19
7.5	pH-Regelung 1: Flüssigkeiten	20
7.5.1	Funktion	20
7.5.2	Geräte	21
7.5.3	Regelung	21
7.6	pH-Regelung 2: Ammoniak	22
7.6.1	Funktion	22
7.6.2	Geräte	22
7.6.3	Regelung	22
7.7	pO ₂ -Regelung	23
7.7.1	Funktion	23
7.7.2	Regelstrategien	23
7.7.3	Geräte	23
7.8	Nährlösungsdosierung	24
7.8.1	Funktion	24
7.8.2	Geräte	25
7.8.3	Regler.....	25
7.9	Aktivierung Schaumzentrifuge.....	26
7.9.1	Funktion	26
7.11	Antischaumzugabe	27
7.11.1	Funktion	27
7.12	Rührerdrehzahl.....	28
7.12.1	Funktion	28
8	Überwachungsfunktionen	29
8.1	Übersicht	29
8.2	Überwachung pH-Abweichung.....	30
8.2.1	Parameter.....	30
8.2.2	Funktion	30
8.2.3	Geräte	30
8.3	Überwachung pH-Drahtbruch	31
8.3.1	Funktion	31
8.4	Überwachung pO ₂ Abdrift	32

8.4.1	Parameter.....	32
8.4.2	Funktion	32
8.5	Überwachung Temperatur Dampfleitung	33
8.5.1	Funktion	33
8.6	Überwachung Fermenterdruck.....	34
8.6.1	Funktion	34
8.7	Überwachung Manteldruck.....	35
8.8	Überwachung Trockenlaufschutz.....	36
8.8.1	Funktion	36
8.9	Überwachung Kopplung Magnetrührer.....	37
8.10	Überwachung Kondensat Zentrifugendichtung.....	38
8.10.1	Parameter.....	38
8.10.2	Funktion	38
9	Anhang: Mögliche Verbesserungen in Projektschritt 2.....	39

1 Motivation & Zielsetzung

Das Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie der Universität Hohenheim (die Uni) ist, wie Festo, Teilnehmer im BMBF Förderprojekt Innovationsallianz funktionsoptimierte Biotenside. Die Uni besitzt 4 Bioreaktorsysteme, die von der Firma Zeta Automation aufgebaut wurden. Sie ist jedoch mit der Automatisierung der Bioreaktoren nicht zufrieden. Unzufriedenheit herrscht bei den Aspekten:

1. Zuverlässigkeit des Systems
2. Datenerfassung und -aufzeichnung
3. Bedienbarkeit
4. Automatisierte Regelung von Teilprozessen
5. Automatisiertes Abfahren von Rezepten
6. Anpassbarkeit der Soll-Trajektorien von Regelgrößen

Festo hat sich im Rahmen des Förderprojekts dazu verpflichtet die Biokatalyseprozesse durch optimierte Automatisierung zu unterstützen. Dies umfasst gemäß Förderantrag u.a.:

- Untersuchung und Bewertung von Fermentationsprozessen hinsichtlich ihrer Automatisierung (AP3.7)
- Aufrüstung von Meß- und Regeleinrichtungen
- Entwicklung und Einsatz von Techniken zur Steuerung der Anlagen (Steuer- und Regelungstechnik)
- Integration von Fermentation und Aufreinigung sowie Automatisierung

Festo möchte daher der Uni helfen die Automatisierung ihrer Bioreaktoren zu verbessern.

Mit dem Projekt möchte Festo seine Kenntnisse im Bereich der Bioreaktorautomatisierung vertiefen und eine Grundlage für den Ausbau des Industriesegments Biotechnologie schaffen.

2 Vorgehen

Die Uni stellt einen der vier Bioreaktoren für einen Zeitraum von 6 Monaten zur Verfügung, um die Automatisierung umzurüsten und zu testen. Des Weiteren stellt die Uni Hohenheim einen Ansprechpartner zur Verfügung, der sich mit den technischen Belangen des Bioreaktor-Systems auskennt und bei der Umrüstung mit Auskünften unterstützen kann.

Festo verbessert die Automatisierung des zur Verfügung gestellten Bioreaktors durch den Austausch der Steuerung (SPS) und des Bedien- und Anzeigegeräts sowie der damit im Zusammenhang stehenden Steuer-, Regel-, Bedien- und Anzeige-Software. Die Messgeräte und Aktoren des Bioreaktor-Systems sollen nach Möglichkeit unverändert bleiben.

Die oben genannten Punkte mit denen die Uni unzufrieden ist, sollen durch diese Maßnahme gemäß den Anforderungen im folgenden Kapitel verbessert werden.

Die Uni Hohenheim hat umfangreiche Wünsche, was die Verbesserung und Erweiterung der Steuerung und Regelung des Bioreaktors betrifft (siehe "181210_Festo_Lastenheft v01"). Die Umsetzung dieser Wünsche kann nur in mehreren Projektschritten erfolgen, von denen hier nur der erste Schritt spezifiziert wird. Eine Übersicht über den Umfang dieses ersten Schrittes findet sich in Kapitel 3.1.

Der möglichen Umfang des zweiten Projektschritts wird unter 9 „Anhang: Mögliche Verbesserungen“ grob umrissen.

3 Übersicht Anforderungen

Der grundsätzliche Umfang des hier behandelten ersten Schrittes zur Verbesserung der Automatisierung eines Bioreaktorsystems an der Uni Hohenheim umfasst folgende Aspekte, die in den Kapiteln „Geräte-Anforderungen“ und „Software-Anforderungen“ genauer beschrieben werden:

3.1 Geräte

- a) Ersetzen der SPS von Siemens durch eine SPS von Festo (CPX)
- b) Ersetzen des Bedien- und Anzeigegeräts von Siemens durch eine solches von Festo (CDPX)
- c) Ersetzen der Schrittmotorsteuerungen für die Peristaltikpumpen
- d) Hinzufügen eines Bus-Konverters für die Anbindung von Profibus DP Geräten and die SPS von Festo
- e) Installation, Konfiguration und Inbetriebnahme des Systems mit den oben genannten neuen Geräten

3.2 Software

1. Ersatz der vorhandenen Steuer- und Regelalgorithmen auf der SPS von Siemens durch solche für die SPS von Festo für einen Betrieb mit gleichem Funktionsumfang wie bisher, aber mit verbesserter Zuverlässigkeit und Parametrierbarkeit inklusive:
 - i. Regelung aller bisherigen Parameter (siehe Kapitel 7 Regler)
 - ii. Überwachung aller bisherigen Parameter (siehe Kapitel 8 Überwachungsfunktionen)
2. Ersatz der Anzeige- und Bedienschnittstelle
3. Verbesserungen bzgl.:
 - i. Parametrierbare Anzeige der vergangenen und aktuellen Messdaten
 - ii. Aufzeichnung von Messdaten in einer CSV Datei
 - iii. Verbesserung der Regler gemäß Absprache und Beschreibung in diesem Lastenheft (siehe Kapitel 7 Regler).
 - iv. Verbesserung der Bedienoberfläche hinsichtlich einer übersichtlicheren, ggf. weniger tief verzweigten Parametrierung der Regler und Überwachungsfunktionen.
 - v. Editierbarkeit und Erweiterbarkeit des Quelltextes.

4 Geräte

4.1 Analoge und digitale Ein- und Ausgänge

Die erforderlichen analogen und digitalen Ein- und Ausgänge wurden aus »14_2_12_005_Stromlaufplan_20170320.pdf« extrahiert und in dem Tabellenblatt »Geräteübersicht Bioreaktor.xls« zusammengefasst. Die Tabelle unten zeigt das Ergebnis. Das Ergebnis ist, dass die SPS von Festo (CPX) mit ausreichend analogen und digitalen Ein- und Ausgängen ausgestattet werden kann und noch einige Anschlüsse auf den verwendeten Modulen als Reserve verbleiben. Auch ein weiteres Modul könnte dem internen C-Bus der CPX noch hinzugefügt werden.

	erforderlich	vorhanden pro CPX-Modul	erforderliche CPX Module max: 10	reserve/frei bleibend	belegte Bits pro CPX-Modul	belegte Bits auf CPX C-Bus max: 512
Analoge Eingänge (AI)	13	4	4	3	64	256
Analoge Ausgänge (AO)	3	2	2	1	32	64
Digitale Eingänge (DI)	14	16	1	2	16	16
Digitale Ausgänge (DO)	9	8	2	7	8	16
Prüfsumme			9			352

4.2 Bus-Kommunikation

Der vorliegende Bus ist ein Profibus DP. Darüber kommunizieren die folgenden Geräte:

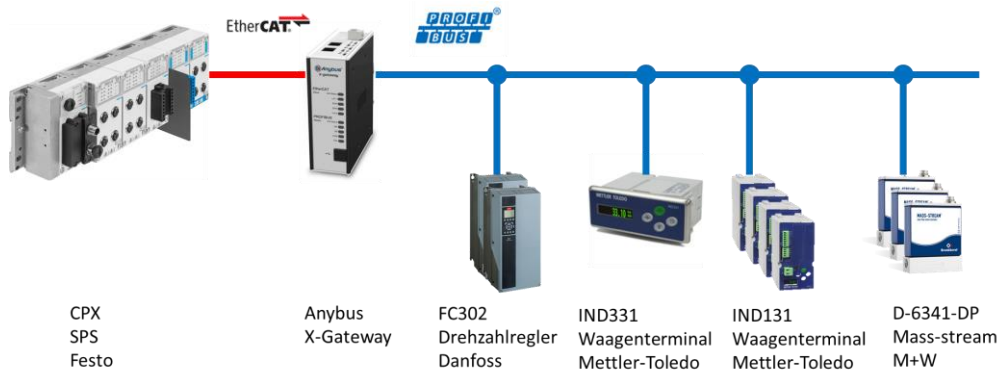
- a) 1x Bodenwaage über Waagenterminal IND331, Mettler-Toledo
- b) 3x Massendurchflussregler, D-6341-DP Mass-stream, M+W
- c) 4x Tischwaage, über Waagenterminal IND131, Mettler-Toledo
- d) 2x Drehzahlregler FC302 für Rührwerk und Schaumzentrifuge, Danfoss

Für die CPX ist kein Profibus DP Master vorhanden. Die Geräte können also nicht einfach über Profibus DP mit der CPX verbunden werden.

Für die Geräte a) – c) gäbe es auch alternative Anschlussmöglichkeiten. Bei den Drehzahlreglern FC302 mussten jedoch vermutlich bereits beim Kauf ein Bus ausgewählt werden. Es existiert also **vermutlich** keine alternative Kommunikationsmöglichkeit.

Um eine Kommunikation über den Profibus DP zu ermöglichen, gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Übersetzung über einen Bus-Konverter. Eine Möglichkeit hierzu ist die Übersetzung von EtherCAT nach Profibus DP, da für CPX ein EtherCAT Master verfügbar ist. Als Übersetzer kann ein Anybus X Profibus Master – EtherCAT Slave Gateway verwendet werden (731 €, siehe Bild unten).



2. Verwendung der Steuerung CECX statt der CPX. Die CECX besitzt einen Profibus DP Master. Sie kann auch mit ausreichend Modulen mit Analogen und Digitalen Ein- und Ausgängen ausgestattet werden. **Nachteil** ist jedoch, dass
 - nur 400 MHz und 64 MB DRAM zur Verfügung stehen, während bei der CPX auch bis zu 800 MHz und bis zu 256 MB RAM gewählt werden können. Gerade im Hinblick auf die spätere Erweiterung um komplexere Regler, wie auch einer modellprädiktiven Regelung, könnte die geringere Leistungsfähigkeit der CECX kritisch sein.
 - eine alte Version von CoDeSys verwendet wird.
4. Verwendung der Steuerung CECX statt des Anybus X-Gateway als reiner Übersetzer zwischen Profibus und z.B. EtherCAT.

4.3 Anzeige- und Bedieneinheit

Derzeit ist die Bedieneinheit (Operator Panel) TP1200 von Siemens verbaut. Diese wird durch eine CDPX von Festo oder einem der potentiellen Nachfolgegeräte ersetzt. Bzgl. der Anforderungen an das Bedienkonzept siehe Kapitel 5 „Bedienkonzept“.

5 Bedienkonzept

5.1 Bedienung & Parametrierung

- Die graphische Benutzeroberfläche soll in Anlehnung an die bei Festo bereits für den eigenen Bioreaktor implementierte Benutzeroberfläche gestaltet werden (siehe Abbildung 1: Übersichtsseite der Benutzerschnittstelle für den Bioreaktor bei Festo).
 - Die Geräte und ihre Anordnung werden graphisch vereinfacht dargestellt.
 - Durch die Berührung eines Symbols wird eine Seite aufgerufen, auf der alle Einstellungen für dieses Gerät vorgenommen werden können und aktuelle Werte angezeigt werden.
 - Aktuelle Werte werden auch auf der Übersichtsseite angezeigt.
- Die Bedienungssprache ist Deutsch
- Ein und derselbe Wert sollten nur an einer Stelle veränderbar sein, nicht an mehreren.
- Alle Parameter und Wahlmöglichkeiten zu einer Funktion, wie z.B. pH-Regelung, sollten auf einer einzigen Seite einstellbar sein und nicht verteilt auf mehreren Seiten.
- Es soll versucht werden alle Parametrierungsseiten über die graphische Übersicht aufzurufen.
- Das Gewicht des Fermenters wird über eine Bodenwaage erfasst. Der Messwert wird in der Übersicht auf dem Bedienbildschirm angezeigt.

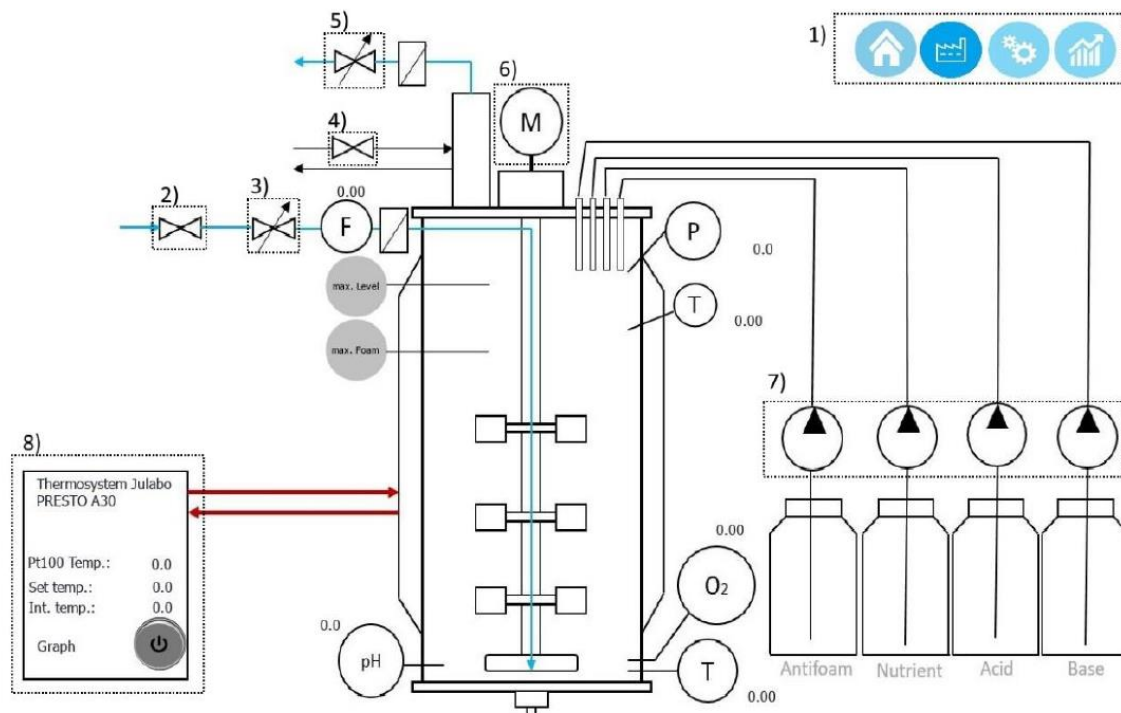


Abbildung 1: Übersichtsseite der Benutzerschnittstelle für den Bioreaktor bei Festo

5.2 Datenanzeige

Die Anzeige der Sensordaten geschieht in Anlehnung an die bereits für den Bioreaktor bei Festo implementierte Datenanzeige (siehe **Abbildung 2**: Parametrierbare Datenanzeige für den Bioreaktor bei Festo)

- Es ist konfigurierbar, welche Datenverläufe angezeigt werden.
- Der Zeitraum über den die Datenverläufe dargestellt werden ist konfigurierbar.



Abbildung 2: Parametrierbare Datenanzeige für den Bioreaktor bei Festo

5.3 Datenkommunikation

Zur Einbindung externer Sollwertgeber, wie modellbasierter Regler, können die **OPC-UA-Funktionalitäten** der Steuerung verwendet werden. Diese ermöglichen das Auslesen von Daten, wie Sensorwerten oder Statusinformationen als auch das Schreiben von Daten, wie Reglerparametern oder Sollwerten über externe Recheneinheiten. Je nach Anwendungsfall werden die zu lesenden und zu überschreibenden Variablen über die Steuerungsssoftware eingerichtet.

HDA (Historical Data Access) ist über den OPC-UA Server der Steuerung derzeit nicht verfügbar. Zum Zugriff auf historische Daten siehe die unter Kapitel 6 „Datenaufzeichnung“ beschriebenen Möglichkeiten.

5.4 Warnungen und Fehlermeldungen

- Warnungen und Fehlermeldungen werden in Dialogfeldern und über die Signalsäule angezeigt.
- Zusätzlich werden Warnungen und Fehlermeldungen in einer entsprechend bezeichneten Liste gesammelt und verkürzt übersichtlich dargestellt.
- Beim Auswählen einer Warnung oder Fehlermeldung aus der Liste wird eine Seite geöffnet, auf der diese ausführlich dargestellt wird.
- Warnungen können über ein Quittierfeld aus der Liste entfernt werden.
- Fehler können nur durch die Behebung des Fehlers aus der Liste entfernt werden.
- Bei Vorhandensein eines Fehlers leuchtet die rote Signallampe der Signalsäule.

- Bei Vorhandensein einer Warnung leuchtet die gelbe Signallampe der Signalsäule.

6 Datenaufzeichnung

6.1 Aufgezeichnete Daten:

- Alle Daten, die von Sensoren in die Steuerung kommen, d.h. alle steuerungsseitig erfassten Messdaten.
- Jede Größe wird in einer eigenen Spalte der Tabelle gespeichert. Die Zeilen stellen die Zeitschritte dar.

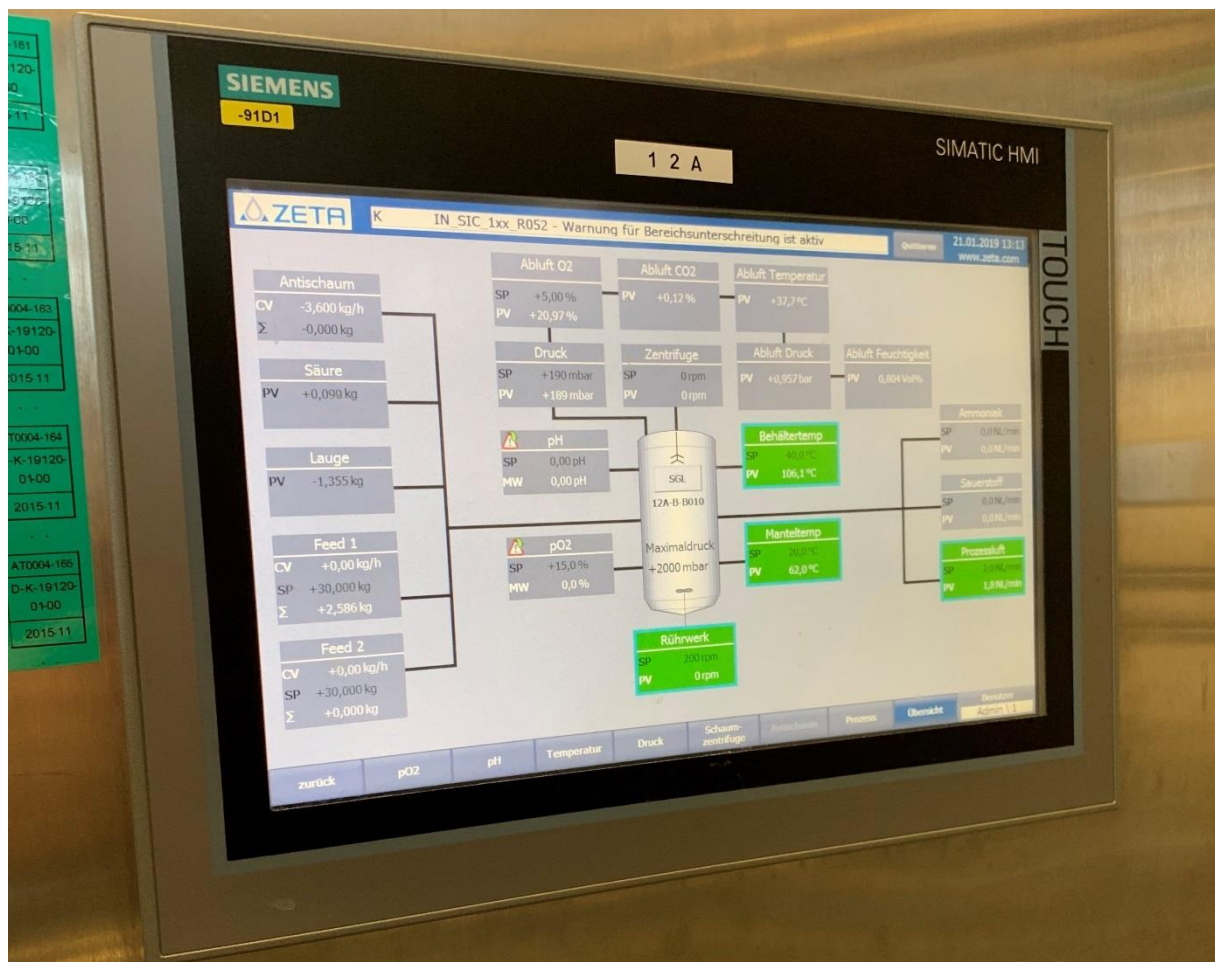
6.2 Funktionalität:

- Das Aufzeichnungsintervall ist frei einstellbar mit einer Untergrenze von 5 s.
- Die Aktivierung von Aufzeichnungsbeginn und -ende erfolgt über eine Taste auf der Übersichtsseite des Bedienbildschirms.
- Mit Aktivierung der Aufzeichnung wird der Zeitzähler auf Null gesetzt.
- Die Daten werden in eine CSV-Datei auf ein NAS-Laufwerk (Network Attached Storage) geschrieben. Das NAS-Laufwerk befindet sich in einem internen Netzwerk, an das nur die Laborgeräte angeschlossen sind und das daher für Geräte im Labor frei zugänglich ist.
- Um übergroße Dateien zu vermeiden wird nach einer festzulegenden Menge an Daten jeweils eine neue Datei erstellt, um darin die weiteren Daten zu speichern.
- Die Speicherung der Daten wird unbegrenzt fortgesetzt bis die Taste für das Aufzeichnungsende betätigt wird.
- Neben dem Startknopf gibt es ein Textfeld in dem man den Namen der Kultivierung eingeben kann.
- Falls die Netzwerkverbindung zur NAS nicht hergestellt werden kann, erscheint eine Fehlermeldung.
- Zur Sicherheit werden die aufgezeichneten Daten gleichzeitig auch auf eine interne SD-Karte gespeichert. Die SD-Karte besitzt naturgemäß eine geringere Speicherkapazität als die NAS. Die jeweils älteste CSV-Dateien wird automatisch gelöscht, wenn die Speicherkapazität nahezu ausgeschöpft ist, um eine neue anlegen und füllen zu können.

7 Regler

7.1 Übersicht

- Behältertemperierung
- Behälterdruck
- pH-Regelung
- pO2- Regelung
- Nährlösungsdosierung
- CIP
- SIP voll
- Thermische Inaktivierung
- Druckhaltetest
- Aktivierung Schaumzentrifuge
- Antischaumzugabe
- Rührerdrehzahl



7.2 Allgemeine Anforderungen

7.2.1 Zahlenformat

Alle Parameter können auf drei Nachkommastellen genau in die Textfelder eingegeben werden, es sei denn, dass es sich um eine natürliche Zahl handelt.

7.2.2 Manueller Modus

Alle Aktoren und Schalter können auch direkt manuell ohne Regler angesteuert bzw. geschaltet werden.

7.3 Behältertemperierung

7.3.1 Funktion

Optionen

Es kann bei Mantel- und Behältertemperatur zwischen „Auto“ und „Manuell“ gewählt werden.

- Im **Modus „Auto“** kann ein „**Sollwert**“ eingestellt werden (bei Zeta auf der Seite „Parameter“ im Reiter „Temperatur“ oder über die Übersichtsansicht), der nach Betätigung der Taste „**Ein**“ aktiv geschaltet wird und dann nicht mehr geändert werden kann, bis die Taste „**Aus**“ betätigt wird.
- Im **Modus „Manuell“** kann je nach Aktivierung von „**HSW**“ oder „**HST**“ entweder ein „Hand Sollwert“ oder ein „Hand Stellwert“ eingegeben werden, der nach Betätigung der Taste „**Ein**“ aktiv geschaltet wird und dann nicht mehr geändert werden kann, bis die Taste „**Aus**“ betätigt wird.
 - Wenn ein „**Hand Sollwert**“ vorgegeben wird, wird der „**Stellwert**“ darauf basierend berechnet.
 - Wenn ein „**Hand Stellwert**“ vorgegeben wird, so wird dieser direkt als „**Stellwert**“ übernommen.

Zusammenhang Manteltemperatur & Behältertemperatur

Modus „Auto“

- Sollwert für Behältertemperatur eingeben (im Bild links: +37,0 °C)
- Stellwert für Manteltemperatur wird berechnet (im Bild links: +37,6 °C)
- Stellwert für Manteltemperatur wird auf Seite für Manteltemperatur als Sollwert übernommen (im Bild rechts: +37,6 °C)
- Stellwert für Öffnung des Regelventils für Heißdampf/Kühlwasser wird berechnet (im Bild rechts: +2,6%)

Modus „Manuell“

- Behältertemperatur auf „**HSW**“: „Hand Stellwert“ wird aus „Hand Sollwert“ berechnet und als „Sollwert“ für Manteltemperatur verwendet.
- Behältertemperatur auf „**HST**“: Manuell eingegebener „Hand Stellwert“ wird direkt als „Sollwert“ für Manteltemperatur verwendet.
- Falls „Manteltemperatur“ auch auf „**HSW**“ oder „**HST**“, dann wird der „Sollwert“ der von „Behältertemperatur“ kommt ignoriert.

Ablauf

1. Die Soll- oder Stellwerte für Mantel- und Behältertemperatur können automatisch oder manuelle über die Wahltasten Auto, Manuell, Ein, Aus, HSW und HST eingestellt werden.
2. Für die Reglerparameter (Kp, Ti, Td, Totband) können Standardwerte oder eigene Werte gesetzt werden.
3. Die Ist-Temperatur des Kulturmediums wird von dem Widerstandsthermometern B029 im Reaktor und die Ist-Temperatur des Mantels wird vom Widerstandsthermometer K221 erfasst.
4. Eine Zirkulationspumpe pumpt die Temperierflüssigkeit (Wasser) durch den Wärmetauschermantel des Bioreaktors.
5. Ein Wärmetauscher, der mit Kühlwasser gespeist wird und ein Wärmetauscher, der mit Heißdampf gespeist wird sind hintereinander geschaltet am Temperaturkreislauf angebracht.
6. Jeweils ein pneumatischer Stellungsregler Gemü 1435ePOS betätigt ein Ventil, um Kühlwasser oder Heißdampf freizugeben. Der Öffnungsgrad des jeweiligen Ventils, angegeben in [%], richtet sich nach dem „Stell-Wert“ auf der Seite „Mantelkreislauf“.
7. Temperatur zwischen 20°C und 45 °C soll meist gehalten werden. Aufheizen und Abkühlen für Reinigung.

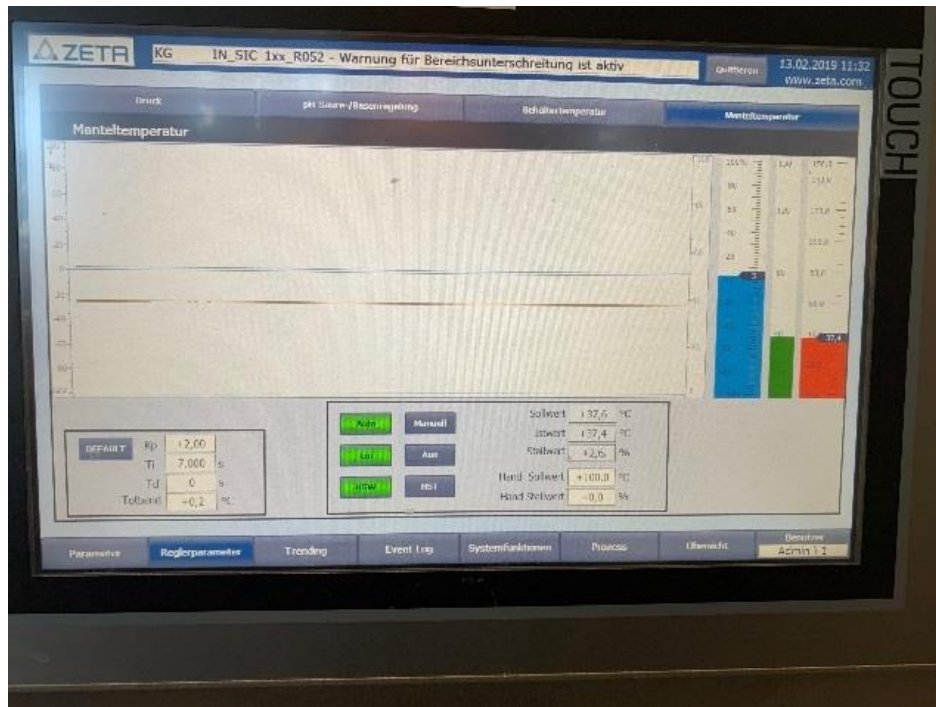


Abbildung 3: Regelparameter Manteltemperatur

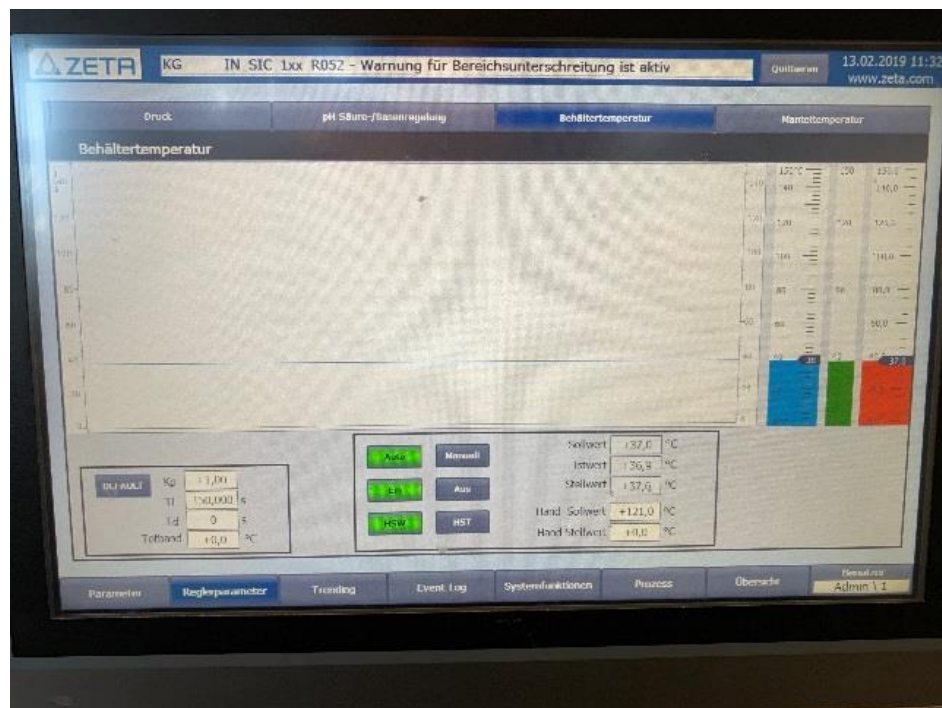


Abbildung 4: Regelparameter Behältertemperatur

7.3.2 Regler

- Soll-Wert über Bedienanzeige
- Ist-Wert von Widerstandsthermometer im Mantel bzw. im Fermenter
- PID-Regler
- Stellungsregler Kühlwasser, Stellungsregler Heißdampf

7.3.3 Parametrierung

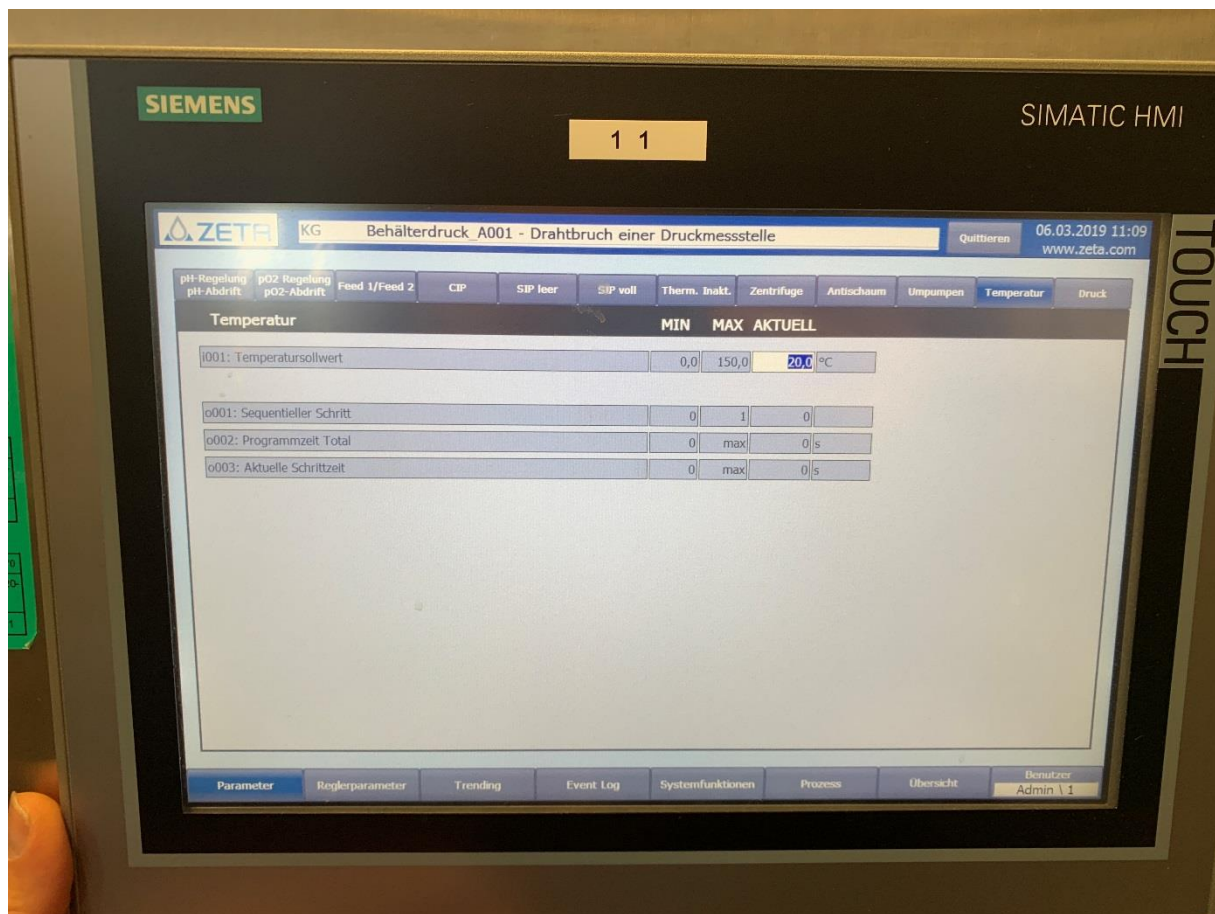


Abbildung 5: Einstellung Solltemperatur für Automatik-Modus

7.4 Behälterdruck

7.4.1 Funktion

1. Der Soll- oder Stellwert des Behälterdrucks kann automatisch oder manuelle über die Wahltasten Auto, Manuell, Ein, Aus, HSW und HST eingestellt werden. Optionen siehe Behältertemperierung, Kapitel 7.3.1.
2. Für die Regelparameter (Kp, Ti, Td, Totband) können Standardwerte oder eigene Werte gesetzt werden.
3. Der Ist-Wert wird vom Drucksensor B013 im Bereich des Fermenterkragens gemessen.
4. Der Druck im Fermenter wird durch ein Schrägsitzventil über den Stellungsregler A311 eingestellt.

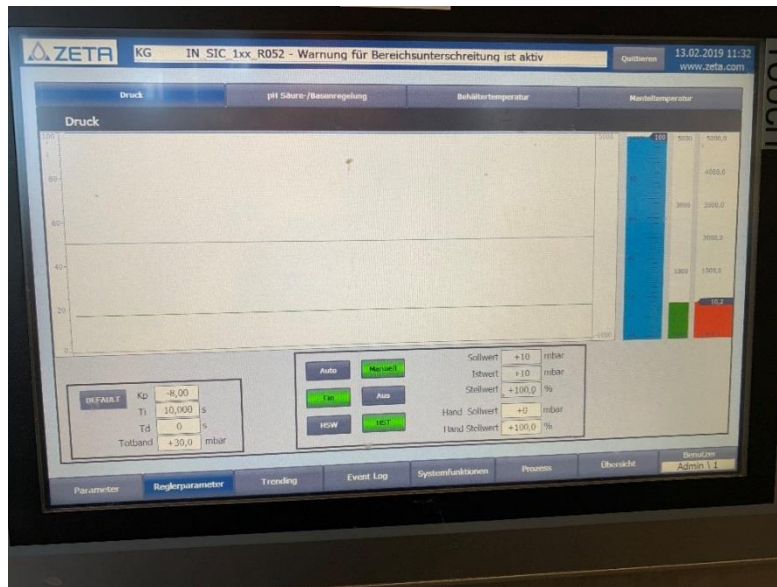


Abbildung 6: Regelparameter Behältertemperatur

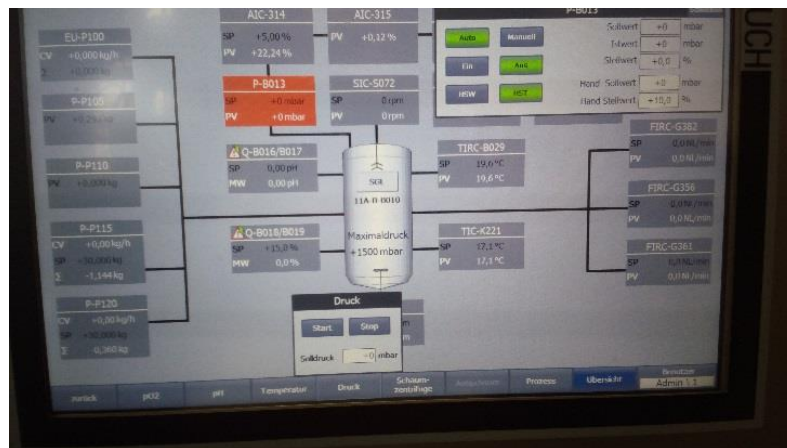


Abbildung 7: Übersicht Fermenterregelung



Abbildung 8: Drucksollwert für Automatik-Modus

7.4.2 Geräte

Drucksensor B013: Labom CS2110

Stellungsregler A311: GEMÜ 1435

Schrägsitzventil: GEMÜ 554

7.4.3 Regler

- Soll-Wert über Bedienbildschirm einstellbar
- Ist-Wert von Drucksensor
- PID-Regler (gibt Soll-Position für Stellungsregler vor)
- Stellungsregler -> Schrägsitzventil

7.5 pH-Regelung 1: Flüssigkeiten

Option mit Flüssigkeiten „Säure/Base“ wird über Bedienbildschirm (bisher in der Ansicht „Parameter“) gewählt.

7.5.1 Funktion

- Der Soll- oder Stellwert des pH-Wertes kann automatisch oder manuelle über die Wahlkosten Auto, Manuell, Ein, Aus, HSW und HST eingestellt werden. Optionen siehe Behältertemperierung, Kapitel 6.2.1.
- Für die Regelparameter (Kp, Ti, Td, Totband) können Standardwerte oder eigene Werte gesetzt werden.
- Zwei pH Sensoren B016 und B017 messen den pH-Wert im Fermenter.
 1. Es kann in der Parametrierung ausgewählt werden, ob:
 - a. der Mittelwert der beiden pH-Sensoren der Wert ist auf den geregelt wird und der angezeigt wird,
 - b. nur der Wert des Sensors B016 angezeigt und zur Regelung verwendet wird, oder
 - c. nur der Wert des Sensors B017 angezeigt und zur Regelung verwendet wird.
 2. Es ist ein Gefäß mit Säure und ein Gefäß mit Lauge in flüssiger Form vorhanden.
 3. Zwei Schlauchpumpen mit Schrittmotorsteuerungen P-P105 und P-P110 werden verwendet, um aus diesen beiden Gefäßen Säure (P105) und Lauge (P110) so zu dosieren, dass der soll-pH-Wert eingestellt wird.
 4. Falls die Rührerdrehzahl langsamer als 148 U/min. ist, wird eine Warnung ausgegeben, dass eine ausreichende Durchmischung mit der aktuellen Rührerdrehzahl nicht gewährleistet ist. Die Warnung kann über einen „Ok“-Knopf quittiert werden.

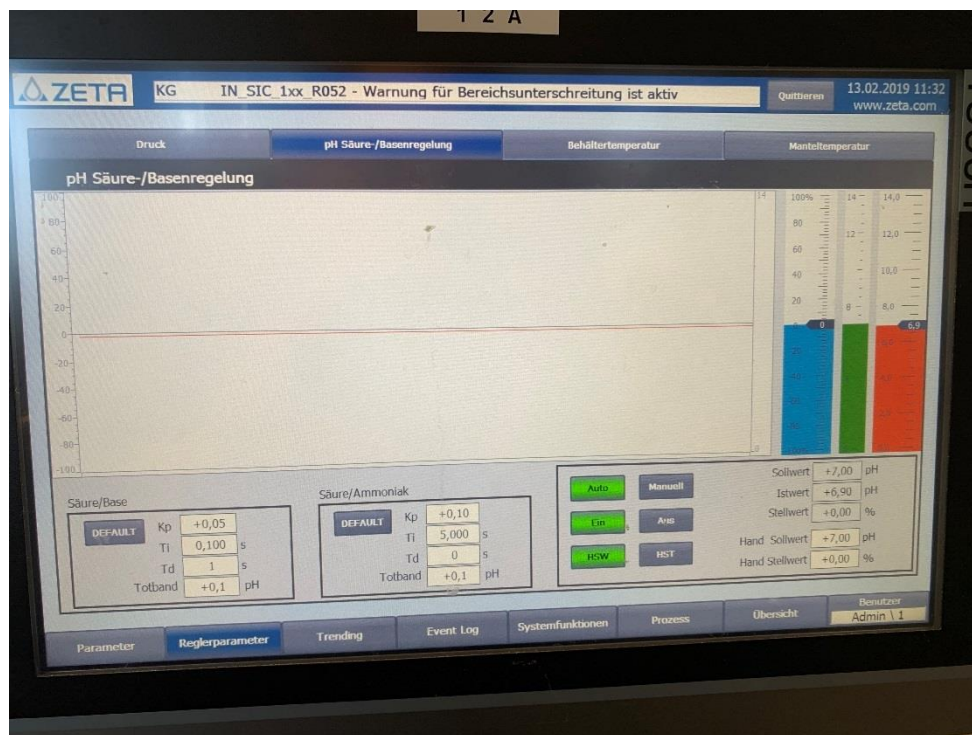


Abbildung 9: Regelparameter pH mit Säure/Base

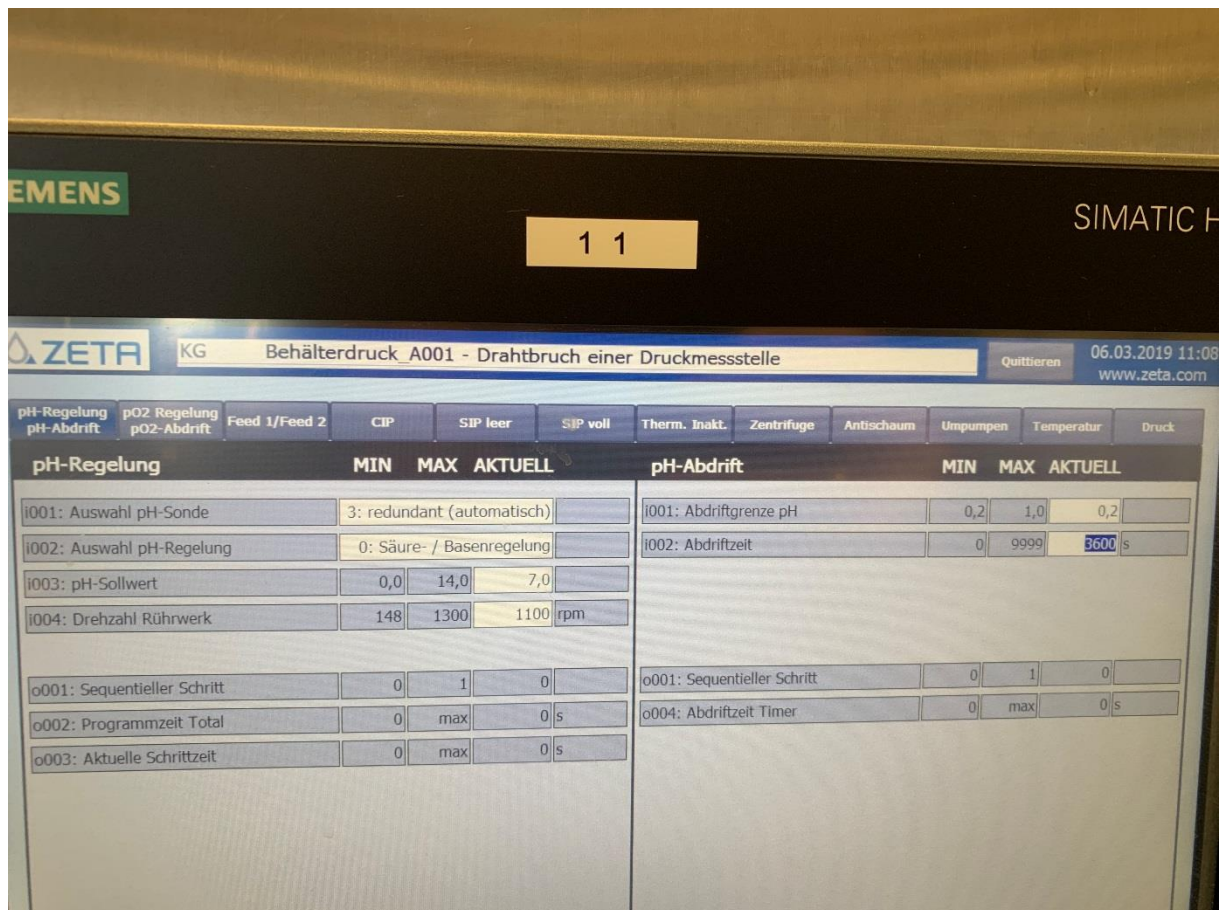


Abbildung 10: Parametrierung pH-Regelung und Abweichung

7.5.2 Geräte

2x pH Sonden mit Kommunikation über ArcWi2G: B016 und B017
 2x Schrittmotorsteuerung P-P105 und P-P110
 2x Peristaltikpumpen

7.5.3 Regelung

- Soll-Wert Einstellung über Bedienbildschirm
- Ist-Wert Bestimmung über pH-Sonden gemittelt
- Peristaltikpumpen dosieren Säure und Base

7.6 pH-Regelung 2: Ammoniak

Option mit Ammoniak „Säure/Ammoniak“ wird über Bedienbildschirm (bisher in der Ansicht „Parameter“) gewählt.

7.6.1 Funktion

1. Zwei pH Sensoren B016 und B017 messen den pH-Wert im Fermenter.
2. Der Mittelwert der beiden pH-Sensoren ist der Wert auf den geregelt wird und der angezeigt wird.
3. Es ist ein Gefäß mit Säure und ein Gasanschluss mit Ammoniak vorhanden.
4. Eine Schlauchpumpe mit Schrittmotorsteuerung P-P105 dosiert die Säure vom Gefäß in den Fermenter.
5. Ein Massendurchflussregler G382 dosiert den Ammoniak

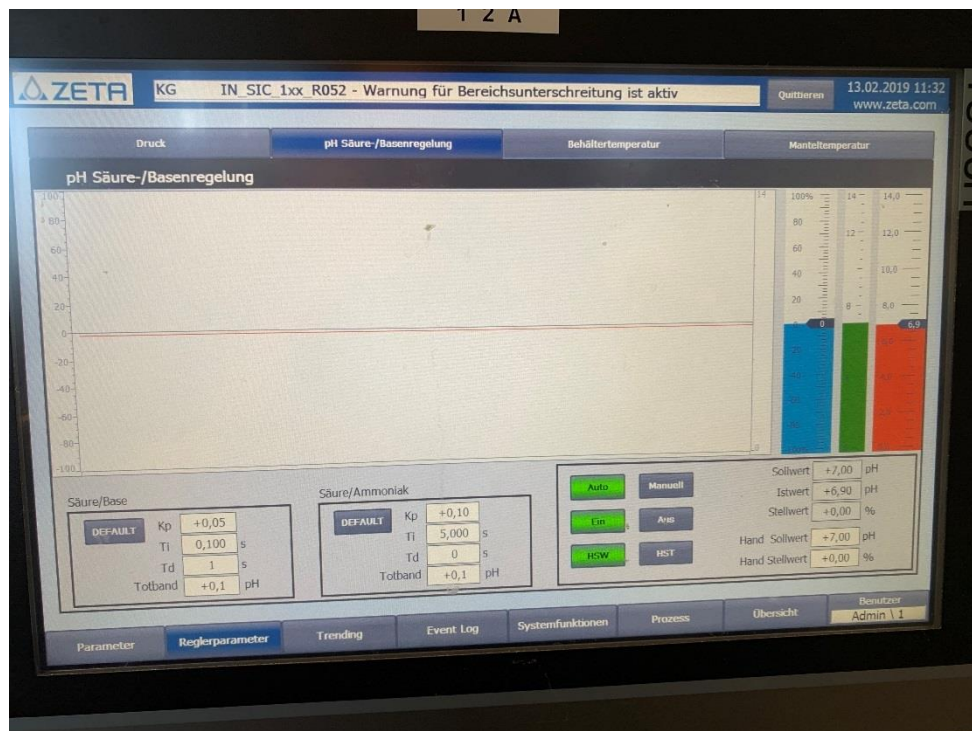


Abbildung 11: Regelparameter pH Säure/Ammoniak

7.6.2 Geräte

2x pH Sonden mit Kommunikation über ArcWi2G: B016 und B017
1x Schrittmotorsteuerung P-P105
1x Peristaltikpumpe
1x Massendurchflussregler G382

7.6.3 Regelung

- Soll-Wert Einstellung über Bedienbildschirm
- Ist-Wert Bestimmung über pH-Sonden gemittelt
- Peristaltikpumpe und Massendurchflussregler dosieren Säure bzw. Base

7.7 pO2-Regelung

7.7.1 Funktion

1. Soll-Wert für pO2 wird auf Bedienbildschirm eingestellt.
2. Min/Max Grenzen für Rührerdrehzahl, Durchflussmenge Luft und Sauerstoff werden eingestellt
3. Regelstrategie wird auf Bedienbildschirm ausgewählt.

7.7.2 Regelstrategien

basierend auf pO2 Sensor im Fermenter, falls nicht anders vermerkt.

1. Nur Anpassung der Rührerdrehzahl
2. Nur Anpassung der Druckluftzufuhr
3. Nur Anpassung der Sauerstoffzufuhr
4. Kaskadierung: Rührerdrehzahl bis zum maximalen Grenzwert
→ wenn nicht ausreichend dann zusätzlich Druckluftzufuhr
5. Kaskadierung: Steigende Rührerdrehzahl bis zum maximalen Grenzwert
→ wenn nicht ausreichend dann zusätzlich Druckluftzufuhr
→ wenn nicht ausreichend dann prozentuale Beimischung von Sauerstoff bei gleichbleibendem Volumenstrom

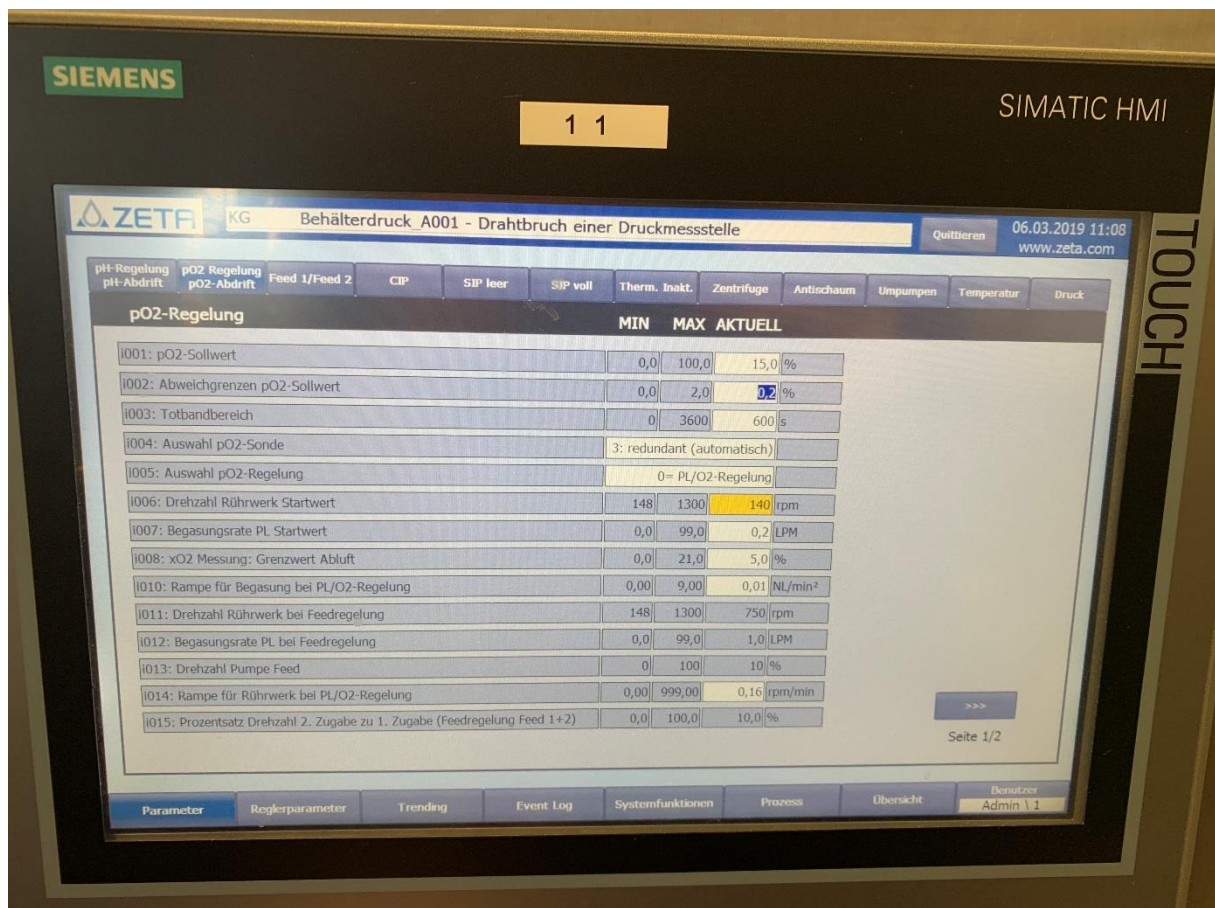


Abbildung 12: Parameter für pO2 Regelung

7.7.3 Geräte

- 1x Bodenmagnetrührwerk R-R050
- 1x Drehzahlregler R052
- 2x Massendurchflussregler (Luft: G361, O2: G356)
- 1x Abgasanalysator O2 A314 (nur für Regelstrategie 9)

7.8 Nährlösungsdosierung

7.8.1 Funktion

Zufütterungsprofil wird über Bedienbildschirm eingestellt und graphisch dargestellt. Dabei gibt es folgende Optionen:

- Es können bis zu 20 Wertepaare von Flussrate [kg/min] und Zeit [min] in eine Tabelle eingegeben werden, zwischen denen linear interpoliert wird, um daraus die Flussrate zu jedem Zeitschritt zu berechnen.
- Es wird eine exponentielle Funktion der Form $m'(t) = m_0' \text{ [kg/h]} \cdot e^{\mu \text{ [1/h]} \cdot t \text{ [h]}}$ mit den Parametern m_0' und μ definiert.

Es können 5 Zeitintervalle definiert werden für die jeweils vorgegeben werden kann, ob Option a) oder b) implementiert wird.

Das von der Peristaltikpumpe geförderte Volumen pro Umdrehung ist bekannt, so dass eine Flussrate in eine Motordrehrate umgerechnet werden kann.

Es werden keine Minimal- oder Maximalwerte für die einzustellenden Parameter vorgegeben.

Erweiterung für später (siehe Anhang): Die Flasche mit der Nährlösung (Feed) steht auf einer Waage, aus deren Gewichtsmessung die Flussrate berechnet und die Motordrehzahl entsprechend korrigiert werden kann.

Das Teilsystem zur Dosierung der Nährlösung ist zweifach ausgeführt. Das ermöglicht:

- Getrennte Dosierung der Kohlenstoffquelle, der Mineralsalzquelle und der Stickstoffquelle (über die Gaszufuhr), wie dies im „BioMPC“-Projekt vorgesehen ist.
- Dosierung zweier unterschiedlicher Nährlösungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten
- Erweiterung des vorgelegten Volumens an Nährlösung
- Erweiterung für später (siehe Anhang):** Reserve falls es, z.B. durch Verstopfung, mit der ersten Flasche zu Problemen kommt und die Verstopfung durch den Vergleich von Waagenwert und Pumprate erkannt werden kann.

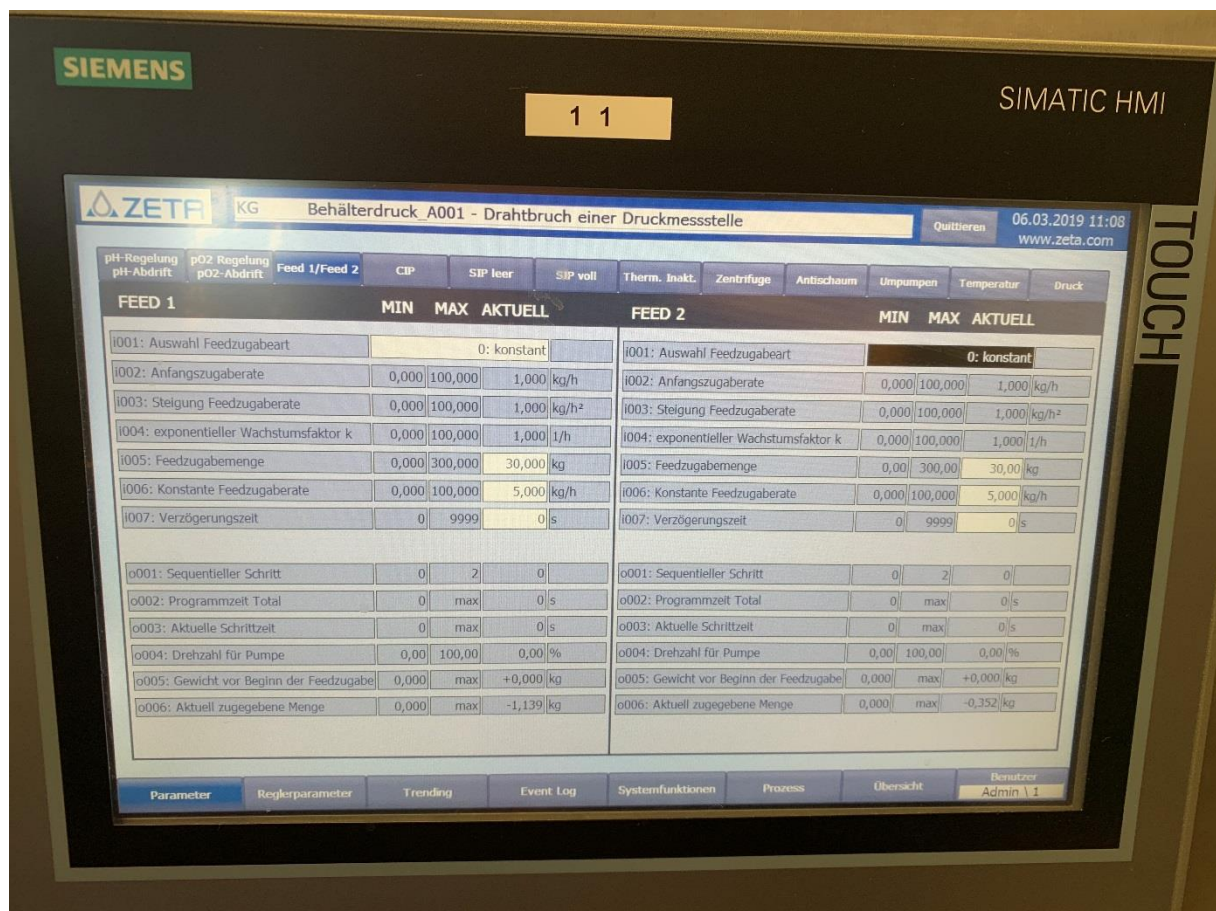


Abbildung 13: Parameter für die Nährlösungsdosierung

7.8.2 Geräte

2x Tischwaagen: P160 (Feed 1) und P165 (Feed 2)

2x Schrittmotorsteuerung: P-P115 (Feed 1) und P-P120 (Feed 2)

7.8.3 Regler

- Soll-Wert in jedem Zeitschritt definiert durch Zufütterungsprofil
- Anfahren des Soll-Wertes durch Umrechnungsvorschrift Förderrate -> Drehzahl
- Ist-Wert durch Tischwaage
- PID-Regler
- Anpassung der Drehzahl über Schrittmotorsteuerung

7.9 Aktivierung Schaumzentrifuge

7.9.1 Funktion

- In der Parametrierung wird ausgewählt, ob Schaumsonde A301 in der Schaumzentrifuge oder Schaumsonde B014 im Behälter für die Aktivierung der Schaumzentrifuge verwendet werden.
- Wenn die ausgewählte Schaumsonde einen zu hohen Schaumstand detektiert, so wird die Schaumzentrifuge aktiviert.
- Die Schaumzentrifuge wird wieder deaktiviert sobald die Schaumsonde keinen Schaum mehr detektiert.

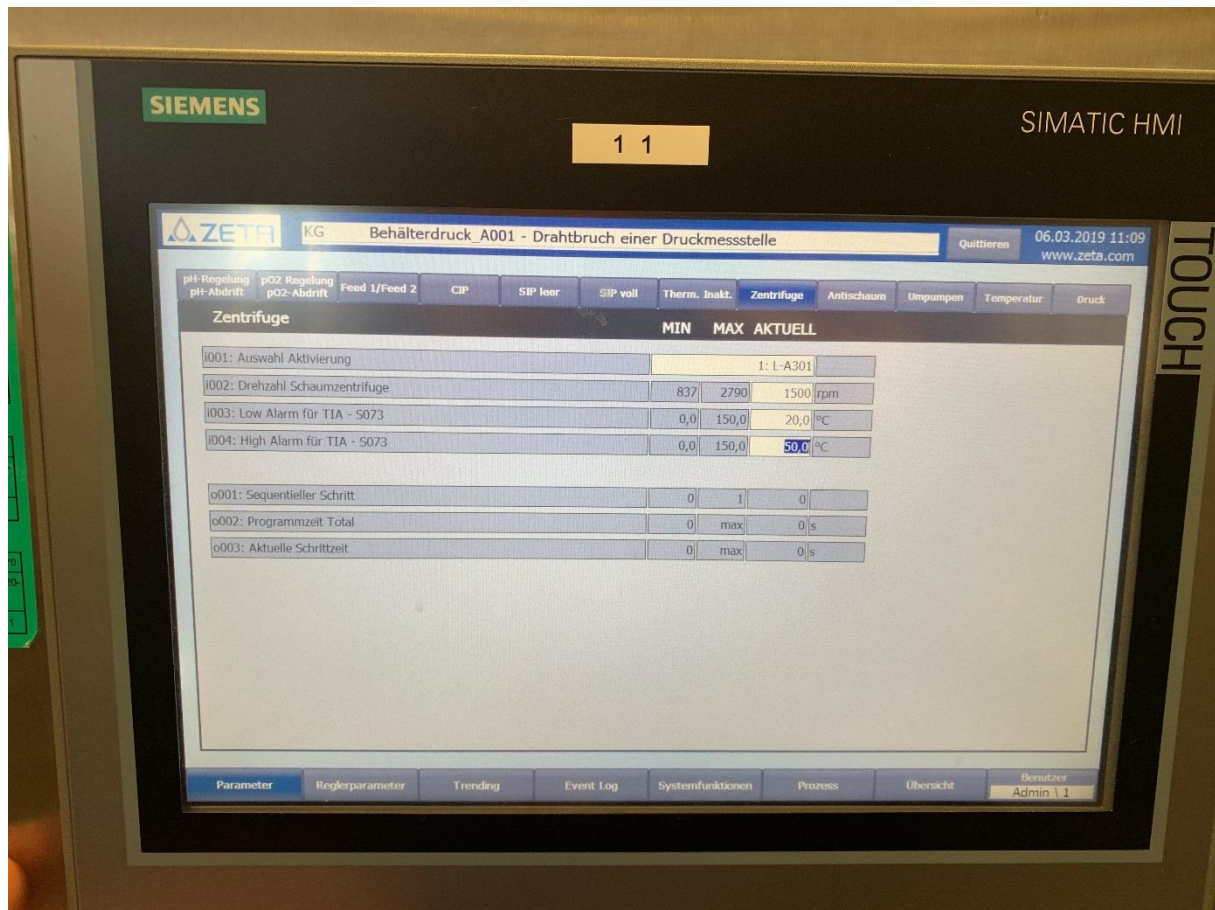


Abbildung 14: Parametrierung Schaumzentrifuge

7.11 Antischaumzugabe

7.11.1 Funktion

- Parametrierung:
 - a. Verwendung der Schaumsonde A301 in der Schaumzentrifuge oder Schaumsonde B014 im Behälter für die Aktivierung der Antischaumzugabe.
 - b. Umdrehungszahl [U/min] der Peristaltikpumpe für die Antischaumzugabe
 - c. Pumpdauer (s) und Wartezeit (min) für die gepulste Zugabe des Antischaummittels
- Die ausgewählte Schaumsonde detektiert einen zu hohen Schaumstand im Fermenter bzw. in der Schaumzentrifuge.
- Antischaummittel wird gepulst über die Pumpe P-P100 zugegeben.
- Wenn die ausgewählte Schaumsonde keinen Schaum mehr detektiert, wird die Zugabe des Antischaummittels gestoppt.

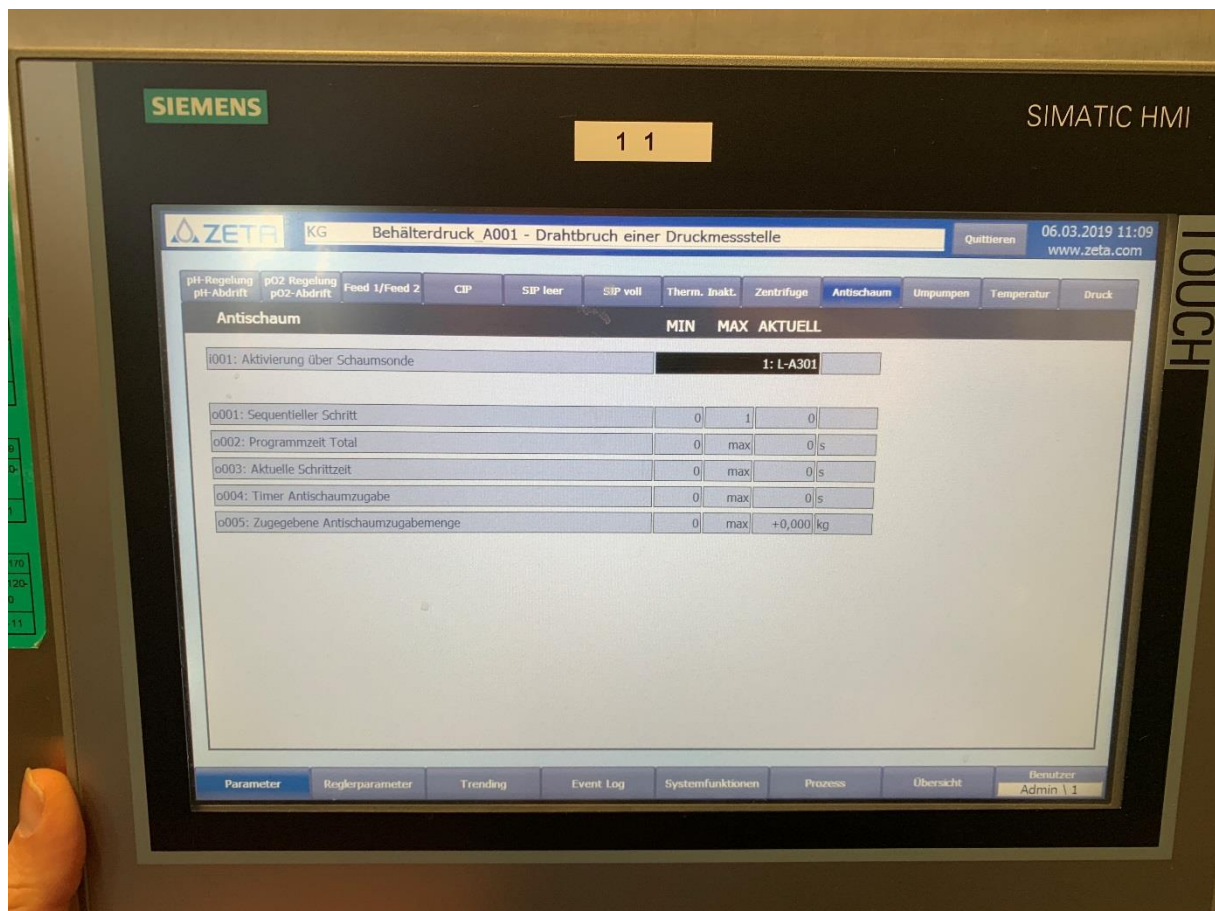


Abbildung 15: Parametrierung Antischaumzugabe

7.12 Rührerdrehzahl

7.12.1 Funktion

1. Die Rührerdrehzahl wird am Bedienbildschirm in der Übersicht eingestellt.
2. Der Motor des Rührers wird über den Drehzahlregler Danfoss FC302 angesteuert und die Drehzahl eingestellt.
3. Die Drehzahl kann am Bedienbildschirm in der Übersicht abgelesen werden.

8 Überwachungsfunktionen

8.1 Übersicht

- 8.2 Überwachung pH-Abweichung
- 8.3 Überwachung pH-Drahtbruch
- 8.4 Überwachung pO₂ Abdrift
- 8.5 Überwachung Temperatur Dampfleitung
- 8.6 Überwachung Fermenterdruck
- 8.7 Überwachung Manteldruck
- 8.8 Überwachung Trockenlaufschutz
- 8.9 Überwachung Kopplung Magnetrührer
- 8.10 Überwachung Kondensat Zentrifugendichtung

8.2 Überwachung pH-Abweichung

8.2.1 Parameter

- Abdriftgrenze [pH]
Die zulässige Abweichung des pH-Wertes
- Abdriftzeit [s]
Überwachungszeitintervall

8.2.2 Funktion

1. „Überwachung pH-Abdrift“ wird auf dem Bedienbildschirm aktiviert.
2. Bei Überschreiten der zulässigen Abweichung des pH-Wertes wird innerhalb des definierten Überwachungszeitintervalls ein Alarm generiert. Der Alarm wird sowohl auf dem Bedienbildschirm als auch auf der Signalsäule angezeigt und kann auf dem Bildschirm quittiert werden.
3. Falls die andere pH-Sonde noch gute Messwerte liefert, wird allein mit dieser weitergearbeitet.
4. Falls beide pH-Sonden die Abdriftgrenze überschritten haben, wird allein mit der pH-Sonde weitergearbeitet, welche die geringste Abdrift besitzt.

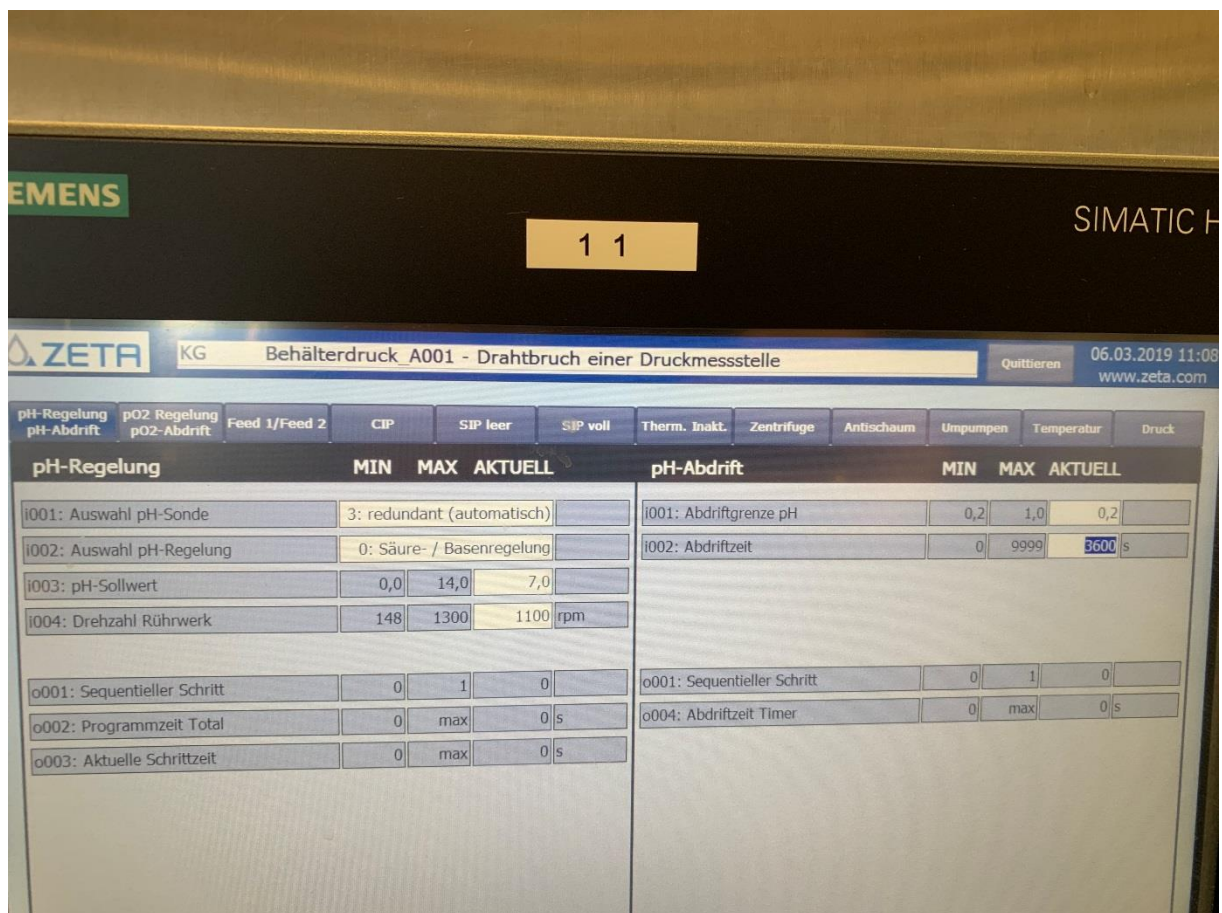


Abbildung 16: Parametrierung der Abweichungsgrenzen für den pH-Wert im rechten Bildschirmteil

8.2.3 Geräte

2x Kommunikation der pH-Sensoren über ArcWi2G

8.3 Überwachung pH-Drahtbruch

8.3.1 Funktion

1. Wenn das Signal einer pH-Sonde ausfällt, wird ein **Signalverlust** gemeldet und die Warnleuchte auf der Signalsäule angeschaltet.
2. Falls die zweite Sonde noch Messwerte liefert, wird allein mit dieser weiter gearbeitet und eine Entsprechende Information darüber in der Bildschirmmeldung angezeigt.
3. Falls auch die zweite Sonde bereits ausgefallen ist, wird gemeldet, dass beide Sonden ausgefallen sind und keine pH-Regelung mehr erfolgen kann.
4. Die Meldung kann entweder über den Knopf „pH-Sonde neu initialisieren“ oder „Schließen“ verlassen werden.

8.5 Überwachung Temperatur Dampfleitung

8.5.1 Funktion

- Das Widerstandsthermometer D260 überwacht die Temperatur in der Dampfleitung.
- Fällt die Temperatur für länger als 120 s unter 105 °C, dann wird ein Alarm sowohl auf dem Bedienbildschirm, als auch auf der Signalsäule generiert.

8.6 Überwachung Fermenterdruck

8.6.1 Funktion

Parameter:

- Drucksollwert [mbar] zwischen 800 mbar und 2000 mbar

Überwachung:

Wird der [Drucksollwert] überschritten, dann müssen alle zuführenden Ventile zum Behälter geschlossen werden:

- Gaszufuhr von den Massendurchflussreglern wird automatisch geschlossen.
- Es wird eine Meldung angezeigt, dass Zuluftventil 1 und 2 manuell geschlossen werden müssen.
- Der Alarm wird sowohl am Bedienbildschirm als auch auf der Signalsäule angezeigt.

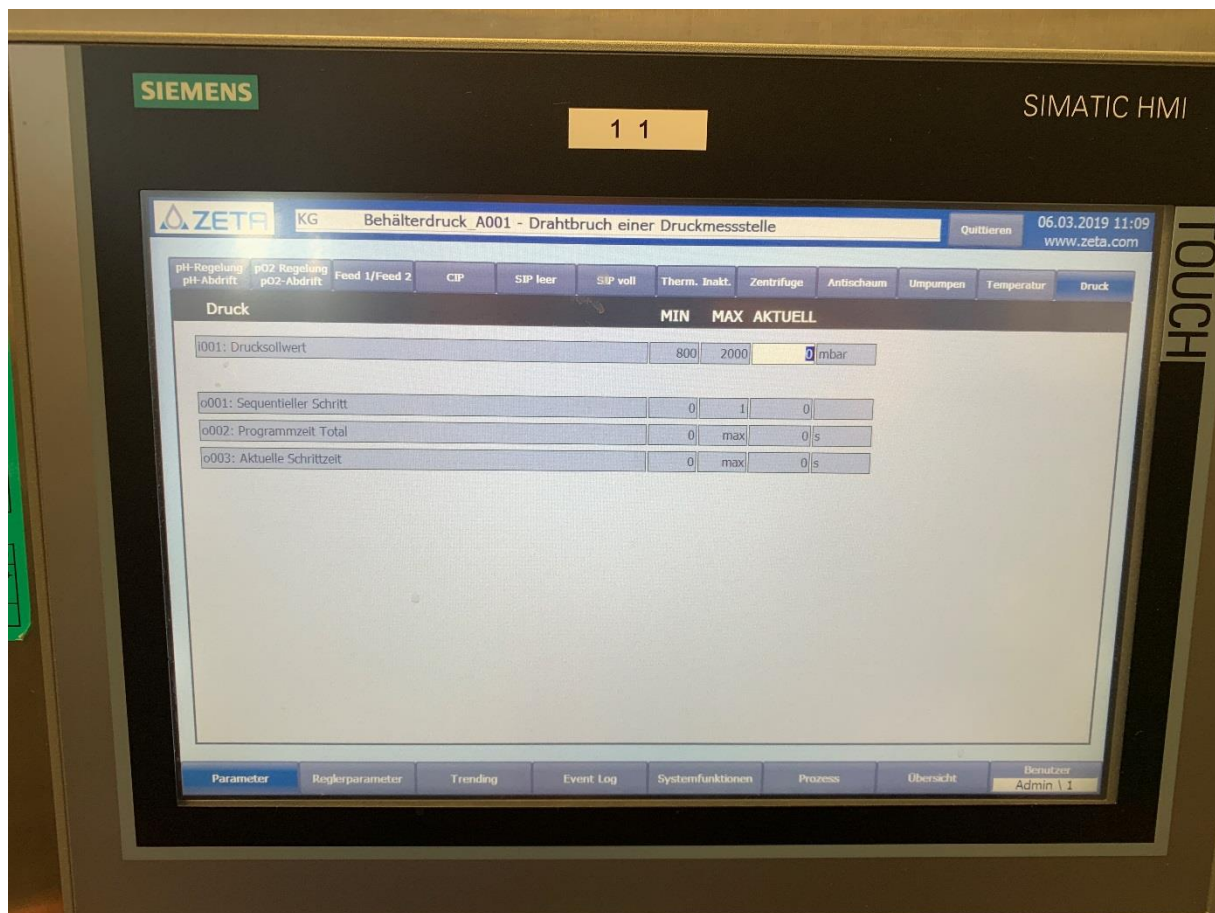


Abbildung 18: Grenzwerte Fermenterdruck

8.7 Überwachung Manteldruck

- Der Druckschalter K222 misst den Druck im Mantelkreislauf.
- Wird ein Grenzwert von **2,8 bar** erreicht, dann wird die Zirkulationspumpe (Heiz-Kühl-Kreislauf-Pumpe oder kurz HKK-Pumpe) K205 ausgeschaltet.
- Eine Fehlermeldung wird sowohl auf dem Bedienbildschirm als auch über die Signalsäule ausgegeben.

8.8 Überwachung Trockenlaufschutz

8.8.1 Funktion

- Kapazitiver Grenzstandmelder B026 überwacht, ob eine Mindestmenge an Flüssigkeit im Fermenter vorhanden ist.
- Im Fehlerfall wird eine Fehlermeldung sowohl über den Bedienbildschirm als auch über die Signalsäule ausgegeben und der Rührer wird deaktiviert. Wenn der Behälter wieder ausreichend gefüllt ist, dann beginnt Rührer automatisch wieder zu drehen.

8.9 Überwachung Kopplung Magnetrührer

- Das Signal des Drehzahlsensors MB60 ist kundenseitig so zu verarbeiten, dass der Motor abschaltet, wenn sich eine Differenz zwischen Antriebsdrehzahl und Rührkopfdrehzahl ergibt. Das ist ein Hinweis, dass die Magnetkupplung „abgerissenen“ ist und der Rührkopf nicht mehr dreht. Achtung: Der Grenzwert hierzu muss durch praktische Versuche ermittelt oder beim Hersteller angefragt werden.
- Informationen zu Antriebs- und Rührkopfdrehzahl werden **vermutlich** über den Profibus an die Steuerung übermittelt.
- Im Fehlerfall wird eine Fehlermeldung sowohl über den Bedienbildschirm als auch über die Signalsäule ausgegeben.

8.10 Überwachung Kondensat Zentrifugendichtung

8.10.1 Parameter

- Untere Grenztemperatur (meist 20 °C)
- Ober Grenztemperatur (meist 50 °C)

8.10.2 Funktion

- Das Thermometer S073 befindet sich in der Kondensatsstrecke für die Schaumzentrifuge.
- Bei einer Temperatur unterhalb [Untere Grenztemperatur] oder oberhalb [Ober Grenztemperatur] (meist < 20°C oder > 50°C) wird die Schaumzentrifuge ausgeschaltet, da unter diesen Bedingungen angenommen wird, dass nicht mehr genügend Kondensat zur Dichtung der Gleitringdichtung der Welle zur Verfügung steht.
- Im Fehlerfall wird eine Fehlermeldung sowohl über den Bedienbildschirm als auch über die Signalsäule ausgegeben und die Schaumzentrifuge wird deaktiviert.

Bemerkung

Wenn man Glycerol verwenden würde, dann bräuchte man diese Kontrolle nicht. In Pharma wäre das nicht erlaubt, da das Glycerol minimal in den Fermenter fließen könnte. Nachrüstung mit Glycerol ist nicht angedacht.

9 Anhang: Mögliche Verbesserungen in Projektschritt 2

In der nächsten Version der hier beschriebenen Bioreaktorautomatisierung könnten folgende weitere Verbesserungen in Betracht gezogen werden:

- **Waagen:** Einbindung der Waagen der Nährlösungsbehälter in den Regelkreis
 - a. Überwachung Verstopfung und ggf. Zuführung von Nährlösung aus Reservebehälter
 - b. Regelung Durchflussrate
- **Rezepte:** erstellen, verwalten, automatisiert abfahren von Rezepten
- **pO2:** Weitere Optionen für die Einstellung des pO2:
 1. Nur Anpassung Sauerstoffzufuhr basierend auf Sauerstoffkonzentration am Abgasanalysator (Sauerstoff-Wirkungsgrad)
 2. Konstante VVM Druckluft und Anpassung der Rührerdrehzahl
- **Nährlösung:** Dosierung in Abhängigkeit des pO2
- **Kalibrierung** der pH und pO2 Sonden am Reaktor anstatt über das Arc System.
- **Nutzerführungen:** Nutzerführungen für die Reinigungsprozesse CIP, SIP voll, Thermische Inaktivierung und für den Druckhaltetest inklusive Teilautomatisierung. Dies war bis zur Version 2 des Lastenhefts zunächst schon für Schritt 1 des Projekts geplant und beschrieben. Es wurde dann aber am 04.09.2019 von Dr. Marius Henkel und Eike Grunwaldt beschlossen, dass u.a. auf Grund von Änderungen in der Hardware diese Funktionalitäten noch bis zum Schritt 2 des Projekts warten sollen.
- **Datenspeicherung:** Es sollen zu jedem Zeitschritt Daten in zwei weitere Dokumente eingetragen werden:
Dokument B mit den Spalten: Zeit, Kommentare, Alarmer, Soll-Wert-Änderung
Dokument C mit allen Ausgangssignalen der Steuerung (Drehzahlen der Motoren, Öffnung von Ventilen, etc.)
- **Drehrichtung des Rührers** wird über den Bedienbildschirm umkehrbar.