

2024

# Diplomarbeit Auslegung der Nachklärbecken



Steiner Michael  
Stöckgasse 48  
3308 Grafenried

Schweizerische Fachschule TEKO  
B-TEU-21-T-a  
Dipl. Techniker Energie- und  
Umwelttechnik

27. Oktober 2024

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Management Summary</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>- 6 -</b>
<b>3</b>	<b>Projektinitialisierung</b>	<b>- 7 -</b>
3.1	Themenbeschreibung der Diplomarbeit	- 7 -
3.2	Abgrenzung der Diplomarbeit	- 7 -
3.3	Ziele für die Diplomarbeit	- 7 -
3.4	Gliederung der Diplomarbeit	- 8 -
<b>4</b>	<b>Einleitung</b>	<b>- 9 -</b>
4.1	Die Kläranlage	- 10 -
4.1.1	Reaktor	- 11 -
4.1.2	Biologische Behandlung	- 12 -
4.1.2.1	Nitrifikation	- 13 -
4.1.2.2	Denitrifikation	- 13 -
4.2	Einleitbedingungen vom Amt für Wasser und Abfall Bern	- 14 -
<b>5</b>	<b>Auslegung der Nachklärbecken</b>	<b>- 15 -</b>
5.1	Kurzzeichen	- 16 -
5.2	Betriebsdatenauswertung	- 17 -
5.2.1	Abwassermenge	- 17 -
5.2.2	Abwassercharakterisierung	- 18 -
5.2.3	Schlammproduktion	- 19 -
5.2.3.1	Schlammproduktion aus Abbau organischer Stoffe	- 19 -
5.2.3.2	Schlammproduktion aus Kalkfällung	- 19 -
5.2.3.3	Gesamte Schlammproduktion	- 20 -
5.2.4	Schlammindex	- 20 -
5.3	Berechnung der Ausbaugrösse	- 21 -
5.3.1	Flächenbeschickung und Schlammvolumenbeschickung	- 21 -
5.3.2	Beckenoberfläche	- 22 -
5.3.3	Beckenhöhe	- 22 -
5.3.3.1	Klarwasserzone $h_1$	- 22 -
5.3.3.2	Trennzone $h_2$	- 23 -
5.3.3.3	Dichtestrom- und Speicherzone $h_3$	- 23 -
5.3.3.4	Eindick- und Räumzone $h_4$	- 24 -
5.3.3.5	Gesamthöhe	- 24 -

5.3.4	Beckenlänge und Beckenbreite.....	- 24 -
<b>5.4</b>	<b>Auswertung der Berechnung .....</b>	<b>- 25 -</b>
<b>6</b>	<b><i>Ausbauvarianten.....</i></b>	<b>- 26 -</b>
<b>6.1</b>	<b>Aktuelle Nachklärung.....</b>	<b>- 27 -</b>
6.1.1	Umsetzungsplan der aktuellen Nachklärung.....	- 28 -
<b>6.2</b>	<b>Variante Erweiterung .....</b>	<b>- 29 -</b>
6.2.1	Umsetzungsplan der Erweiterung .....	- 30 -
6.2.2	Baukosten der Erweiterung.....	- 31 -
6.2.3	Betriebskosten der Erweiterung .....	- 32 -
6.2.4	Auswertung der Variante.....	- 33 -
<b>6.3</b>	<b>Variante drittes Becken .....</b>	<b>- 34 -</b>
6.3.1	Umsetzungsplan drittes Becken.....	- 36 -
6.3.2	Baukosten drittes Becken .....	- 37 -
6.3.3	Betriebskosten drittes Becken.....	- 38 -
6.3.4	Auswertung drittes Becken.....	- 39 -
<b>7</b>	<b><i>Auswertung der Varianten.....</i></b>	<b>- 40 -</b>
7.1	Kriterien für die Entscheidungsmatrix .....	- 40 -
7.2	Auswertung der Kosten.....	- 41 -
7.3	Vor- und Nachteile.....	- 41 -
7.4	Entscheidungsmatrix.....	- 42 -
<b>8</b>	<b><i>Fazit und Schlusswort.....</i></b>	<b>- 43 -</b>
<b>9</b>	<b><i>Lessons learned.....</i></b>	<b>- 44 -</b>
<b>10</b>	<b><i>Verzeichnisse.....</i></b>	<b>- 45 -</b>
10.1	Literaturverzeichnis .....	- 45 -
10.2	Quellenverzeichnis.....	- 45 -
10.3	Abbildungsverzeichnis .....	- 45 -
10.4	Tabellenverzeichnis .....	- 46 -
10.5	Formelverzeichnis.....	- 47 -
<b>11</b>	<b><i>Selbständigkeitserklärung .....</i></b>	<b>- 47 -</b>
<b>12</b>	<b><i>Anhang .....</i></b>	<b>- 48 -</b>

## **1 Management Summary**

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit der Auslegung und Erweiterung der Nachklärbecken der Schweizer Zucker AG in Aarberg. Das primäre Ziel der Arbeit ist die Analyse der bestehenden Nachklärbecken. Im Anschluss soll auf dieser Grundlage eine Handlungsempfehlung zur Verbesserung der Abwasserreinigungskapazität gegeben werden. Diese soll nachfolgend die aktuellen Engpässe der Reinigungskapazitäten kompensieren.

Die Schweizer Zucker AG ist der einzige Zuckerproduzent in der Schweiz und betreibt an den Standorten Aarberg und Frauenfeld betriebsinterne Abwasserreinigungsanlagen. Die Zuckerrübe hat in der Schweiz mit sinkenden Zuckergehalten zu kämpfen. Bei der Erzeugung von Zucker muss das bestehende Wasser der Rübe nahezu vollständig entfernt werden. Des Weiteren hat sich die allgemeine Qualität negativ verändert. Dies liegt zum einen an diversen Pestizidverboten als auch an extremeren Wettereinflüssen. Diese Faktoren führen zu erhöhter biologischer Belastung des Wasserkreislaufs der Zuckerfabrik. Diese Belastung spiegelt sich durch erhöhtes Schlammvolumen in der biologischen Abwasserreinigung wider. Nachfolgend ist keine effiziente Trennung des Belebtschlamm vom Klarwasser mehr möglich.

Vergleicht man aktuelle Analysen mit den Auslegungsparametern aus dem Jahr 2010, kann man feststellen, dass die Abwassermenge und Trockensubstanz um ca. 24 % gestiegen sind. Des Weiteren ist festzustellen, dass der ermittelte Trockensubstanzgehalt von 5 g/l deutlich von den aktuellen Werten von 8,5 g/l abweicht. Nachfolgend sollen zwei Fälle detaillierter betrachtet werden:

1. Die Erweiterung der bestehenden Nachklärbecken
2. Neubau eines dritten Nachklärbecken

Die Berechnungen basieren auf den aktuellen Betriebsdaten und den Vorgaben des Arbeitsblatts DWA-A-131 für einstufige Belebungsanlagen. Die Varianten wurden hinsichtlich ihrer Kosten, Anlagenverfügbarkeit, Wartungsaufwand, Flexibilität und Umweltverträglichkeit bewertet. Die Berechnungen zeigten, dass die Beckenoberfläche um 58 % zu klein ist, um die gestiegenen Anforderungen zu bewältigen. Dies führt bei hohen Abwassermengen zu hydraulischen Überlastungen und unerwünschtem Schlammabtrieb. Zwei Lösungsansätze wurden untersucht.

**Variante Erweiterung:** Diese Variante sieht vor, die bestehenden Nachklärbecken um 12 Meter zu verlängern. Dies würde die benötigte Beckenoberfläche von je 198 m<sup>2</sup> schaffen. Die bestehenden Pumpen und die Infrastruktur könnten weiter genutzt werden, was die Kosten reduziert. Die Baukosten für diese Variante belaufen sich auf etwa 481'360 CHF, und die jährlichen Betriebskosten betragen 21'312 CHF.

**Variante Drittes Becken:** Diese Variante umfasst den Bau eines zusätzlichen Nachklärbeckens mit einer Oberfläche von 146 m<sup>2</sup>. Dies würde die Betriebssicherheit erhöhen, da bei einem Ausfall eines Beckens die anderen Becken die zusätzliche Last übernehmen könnten. Die Baukosten für diese Variante betragen etwa 691'300 CHF, und die jährlichen Betriebskosten belaufen sich auf 25'251 CHF.

Nach Erstellung der Entscheidungsmatrix hat sich gezeigt, dass die Variante der Erweiterung aufgrund der geringeren Investitionskosten und des niedrigeren Wartungsaufwands als präferierte Variante zu betrachten ist. Diese Variante ermöglicht es, die benötigte Kapazitätssteigerung zu erzielen und gleichzeitig die Reinigungsleistung deutlich zu verbessern. Die Untersuchungen zeigen deutlich, dass eine Anpassung der bestehenden Nachklärbecken unausweichlich ist. Abschliessend kann man sagen, dass diese Arbeit die Wichtigkeit von sorgfältiger Dokumentation und genauer Datenanalyse unterstreicht.

## **2 Lebenslauf**

Michael Steiner  
Stöckgasse 48  
3308 Grafenried

Mobile: 079 602 76 96  
michu\_st@bluewin.ch



### **Berufliche Tätigkeiten**

Januar 2021 – heute

Oktober 202 – heute

Oktober 2022 – September 2024

Januar 2021 – September 2022

März 2014 – Dezember 2020

August 2013 – Februar 2014

August 2011 – März 2013

August 2007 – Juli 2011

### **Ausbildung**

Oktober 2021- heute

März 2014 – Dezember 2018

August 2007 – 2011

#### **Schweizer Zucker AG, Aarberg**

Leiter Energieversorgung:  
Verantwortlich für den Unterhalt, Projekte und  
Mitarbeiterführung  
Schichtleiter Kampagnebetrieb:  
Leiten der Schicht technisch und personell

Stv. Leiter Energieversorgung  
Schichtleiter Kampagnebetrieb

Klärwerkfachmann  
Verantwortlich für den Betrieb der internen  
Kläranlagen

**Gemeindeverband ARA Moossee-Urtenenbach,**  
Betriebselektriker / Klärwerkfachmann:  
Verantwortlich für die elektrische Anlage  
Technische Betreuung der Kläranlage

**Securitas AG, Zollikofen**  
Hundeführer im Bereich Bewachung

**ETAVIS Beutler AG, Hasle-Rüegsau**  
Elektroinstallateur

**ETAVIS Beutler AG, Hasle-Rüegsau**  
Lehre als Elektroinstallateur EFZ

Dipl. Techniker Energie und Umwelt HF

Fachausweis Klärwerkfachmann

Lehre als Elektroinstallateur

### **3 Projektinitialisierung**

#### **3.1 Themenbeschreibung der Diplomarbeit**

Die Schweizer Zucker AG ist der einzige Zuckerproduzent in der Schweiz. An den zwei Standorten Aarberg und Frauenfeld wird von September bis Dezember während der Rübenkampagne Zucker aus Zuckerrüben hergestellt. Die Zuckerrübe hat in der Schweiz mit sinkenden Zuckergehalten zu kämpfen. Dies führt zu einer anderen Zusammensetzung der Zuckerrübe. Durch die Verschlechterung der Rübenqualität haben sich der Wasseranteil sowie die Stickstoff- und Kohlenstoffbelastung der Zuckerrübe verändert. Diese Veränderung macht sich in der Abwasserbehandlung bemerkbar. Da das enthaltene Wasser aus der Zuckerrübe nahezu vollständig entfernt werden muss, ist die hydraulische Belastung in den letzten Jahren stetig gestiegen. Auch die Stickstoff- und Kohlenstoffbelastung des Abwassers hat zugenommen. Diese erhöhte Belastung macht sich durch ein erhöhtes Schlammvolumen in der biologischen Reinigungsstufe bemerkbar. Diese grössere Belastung führt zu Problemen im letzten Reinigungsschritt bei der Nachklärung, wo der Belebtschlamm vom Klarwasser getrennt wird. Durch die Belastung kommt es vermehrt zu einem ungewollten Schlammabtrieb. Dies führt zu einer Gewässerverunreinigung, da im Schlamm Phosphate, Kohlenstoffe und andere Spurenstoffe gebunden sind. Um den Schlammabtrieb zu verhindern, ist eine Erweiterung der Nachklärbecken notwendig. Die neu benötigte Fläche muss anhand der aktuellen Betriebsdaten neu berechnet werden.

#### **3.2 Abgrenzung der Diplomarbeit**

Die Diplomarbeit bezieht sich lediglich auf die letzte verfahrenstechnische Stufe der Nachklärung. Als Grundlage für die Berechnung dient die im Arbeitsblatt DWA-A-131 niedergeschriebene Berechnungsmethode. Diese ist ein standardisiertes Verfahren für die Auslegung von einstufigen Belebungsanlagen. Bereits die Auslegung des aktuellen Nachklärbecken, ist nach dieser Berechnungsmethode erfolgt. Des Weiteren werden die Offerten eine Genauigkeit von +/- 30% haben. Für das Erstellen der Entscheidungsmatrix wird die Mitarbeit des Leiter Zuckertechnologie und Leiter strategische Projekte miteinbezogen.

#### **3.3 Ziele für die Diplomarbeit**

- Neuberechnung der benötigten Ausbaugrösse
- Zwei verschiedene Lösungsvariante werden aufgezeigt
- Es werden Kosteneinschätzungen gemacht
- Durch eine Entscheidungsmatrix wird eine Variante favorisiert

### 3.4 Gliederung der Diplomarbeit

Damit eine Neuberechnung durchgeführt werden kann, müssen die aktuellen Betriebsdaten der letzten Rübenkampagnen erfasst und ausgewertet werden. Danach wird die Ausbaugröße der Nachklärbecken berechnet. Damit die benötigte Ausbaugröße erreicht wird, benötigt es einen Um- oder Neubau der Nachklärbecken. Für die zwei Varianten werden Baukosten, Betriebskosten und ein Umsetzungsplan erstellt. Im Anschluss erfolgt eine Auswahl der bevorzugten Variante. Dies erfolgt unter Einbezug einer Entscheidungsmatrix.

## **4 Einleitung**

Die Schweizer Zucker AG (SZU) ist der einzige Zuckerhersteller der Schweiz. Die Firma hat zwei Standorte: Aarberg (seit 1912) und Frauenfeld (seit 1959). Sie beschäftigt 270 Mitarbeitende. Zwischen September und Dezember werden die Zuckerrüben aus der Schweiz und teilweise aus dem Ausland zu Zucker verarbeitet. Diese Zeit wird als Kampagne bezeichnet. Am Standort Aarberg gibt es noch eine Dicksaftkampagne, die zwischen April und Juni stattfindet. Im Jahr produziert die Schweizer Zucker AG etwa 230'000t Zucker. In der Zwischenkampagne werden in den Fabriken diverse Wartungs- und Unterhaltsarbeiten sowie Erneuerungen der Anlagen durchgeführt. Aus der Zuckerrübe wird nicht nur Zucker gewonnen, sondern auch Biogas, Melasse, Erde, Kalk, Pressschnitzel, Trockenschnitzel, Pektin und Ethanol.



Abbildung 1 Standort Aarberg

#### 4.1 Die Kläranlage

Die Schweizer Zucker AG in Aarberg hat eine betriebsinterne Abwasserreinigungsanlage, die aus einem Biogasreaktor und einer biologischen Reinigungsstufe besteht. Das anfallende Abwasser stammt aus zwei verschiedenen Kreisläufen. Der erste Kreislauf ist der Schwemmwasserkreislauf. Dieser wird benötigt, um die Zuckerrüben aus den Wagen abzuladen; dies geschieht durch große Wasserkanonen. Die Rüben, die nun in das Waschhaus gelangen, werden mit dem Schwemmwasser gereinigt. Dadurch wird das Wasser mit Zucker angereichert und ist somit organisch stark belastet. Dies spiegelt sich analytisch in erhöhten CSB-Werten wider. Damit die Konzentration nicht zu hoch wird, müssten stetig 90 m<sup>3</sup>/h in den Biogasreaktor gefördert werden. In diesen findet der Grossteil des Abbaus der organischen Verunreinigungen statt. Unter anaeroben Bedingungen verstoffwechseln Mikroorganismen die organischen Bestandteile zu Methan, Kohlenstoffdioxid, Sauerstoff und Stickstoff. Der zweite Kreislauf stammt aus der Eindickung des Zuckersaftes. Dieses Wasser ist hauptsächlich mit Stickstoffverbindungen und Kohlenwasserstoffen belastet. Das Schwemmwasser wird nach der Methanproduktion im Biogasreaktor zusammen mit dem Fallwasser in die biologische Reinigungsstufe geleitet. Durch die schlechtere Rübenqualität in den letzten Jahren gelangt mehr Stickstoff in das Abwasser. Auch ist der Wasseranteil in den Zuckerrüben größer geworden. Dadurch ist die hydraulische Belastung auf der biologischen Reinigungsstufe gestiegen. Dies führt zu einer kürzeren Aufenthaltszeit in den Belebungsbecken und zu einer erhöhten Strömungsgeschwindigkeit in den Nachklärbecken. Durch die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit kann sich der Belebtschlamm nicht vollständig vom Klarwasser trennen. Somit besteht das Risiko des Schlammabtriebes. Dies hat zur Folge das ein Teil des Schlammes in das Gewässer gelangen kann. Um den Schlammabtrieb zu verhindern, müsste die Trockensubstanz im Belebtschlamm verringert werden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn die Rüben einen niedrigen Stickstoffgehalt aufweisen. Sobald die Rüben einen höheren Stickstoffgehalt haben, wird auch mehr Stickstoff in das Abwasser eingetragen. Somit werden mehr Bakterien im Belebtschlamm benötigt, um die Nitrifikation vollständig zu erreichen. Dadurch muss die Trockensubstanz im Belebtschlamm erhöht werden. Wird dies nicht gemacht, kann die Nitrifikation gehemmt werden und es entsteht schädliches Nitrit. Deshalb wird aktuell ein gewisses Maß an Schlammabtrieb in Kauf genommen.

#### 4.1.1 Reaktor

Im Reaktor bauen mesophile Bakterien, die im Schwemmwasser enthaltenen Kohlenwasserstoffverbindungen unter anaeroben Bedingungen in Biomethan um. Damit dieser Prozess funktioniert und die Bakterien die Umwandlung vollziehen können, werden verschiedene Bedingungen benötigt. Das Schwemmwasser muss auf ca. 38,5 °C erwärmt werden, des Weiteren sollte der pH-Wert zwischen 5,5 und 6,3 liegen. Sind nun genügend Bakterien im Reaktor enthalten, wird der Kohlenstoff in Biomethan umgewandelt. Somit wird der Kohlenstoff, gemessen in CSB, von 10.000 mg/l auf 400 mg/l reduziert und rund 400 Nm<sup>3</sup>/h Biogas erzeugt, mit einem Methangehalt von 66 %, 32 % CO<sub>2</sub> und 1 % weiteren Stoffen.

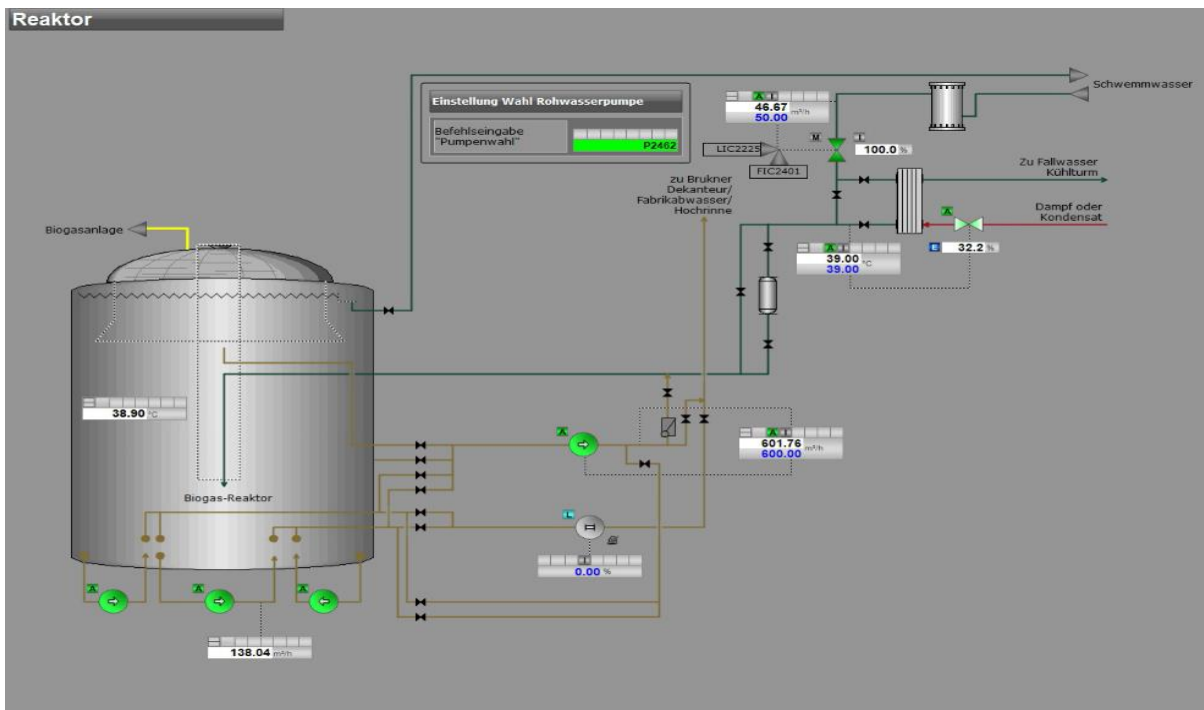


Abbildung 2 Auszug aus dem Leitsystem vom Reaktor

#### 4.1.2 Biologische Behandlung

Die aerobe Abwasseraufbereitung erfolgt in mehreren Schritten. Die Anlage besteht aus Denitrifikationsbecken (690 m<sup>3</sup>), Belebungsbecken 1 (BB1) (2880 m<sup>3</sup>), Belebungsbecken 2 (BB2) (1440 m<sup>3</sup>) und 2 Nachklärbecken mit vorgeschalteten Flockungsreaktoren (169 m<sup>3</sup>, 590 m<sup>3</sup>). Der Einlauf in die Kläranlage erfolgt in das Denitrifikationsbecken. Anschliessend wird das Abwasser in das BB1 gepumpt, welches im Einlaufbereich eine anaerobe Zone besitzt, in der 2 Viskojet-Rührer das Absetzen des Belebtschlammes verhindern. Diese Zone macht insgesamt ca. 15-20 % des Beckenvolumens aus. Der anaerobe Bereich ist notwendig, um den geforderten Stickstoffabbau zu erreichen. Der übrige Bereich ist mit 5 Oberflächenbelüftern ausgerüstet, die einerseits den Belebtschlamm in Schwebelage halten und andererseits für den notwendigen Sauerstoffeintrag sorgen. Am Ende des BB1 befindet sich ein Überlauf ins BB2. Das BB2 dient zum weiteren Sauerstoffeintrag. Der aktuelle Sauerstoffgehalt wird über O<sub>2</sub>-Sensoren gemessen. Ca. 75 % der Auslaufmenge des BB2 geht zurück ins Deni-Becken, während die doppelte Menge der Einlaufmenge in die Biologie über die Flockungsreaktoren zu den Nachklärbecken geführt wird. In Abhängigkeit der Rohwasserzusammensetzung und des Schlammverhaltens werden Flock- und/oder Fällmittel zugesetzt, die ein besseres Absetzverhalten des Belebtschlammes erzielen. Die Fällmittelzugabe (FeCl<sub>3</sub> oder AlCl<sub>3</sub>) erfolgt hauptsächlich, um den Grenzwert für Phosphor einzuhalten, aber auch um eine bessere Flockenstruktur zu bekommen. Der abgesetzte Schlamm wird zurück ins Deni-Becken gepumpt, während der Überlauf der Nachklärbecken als gereinigtes Wasser in den Hagneckkanal geleitet wird.

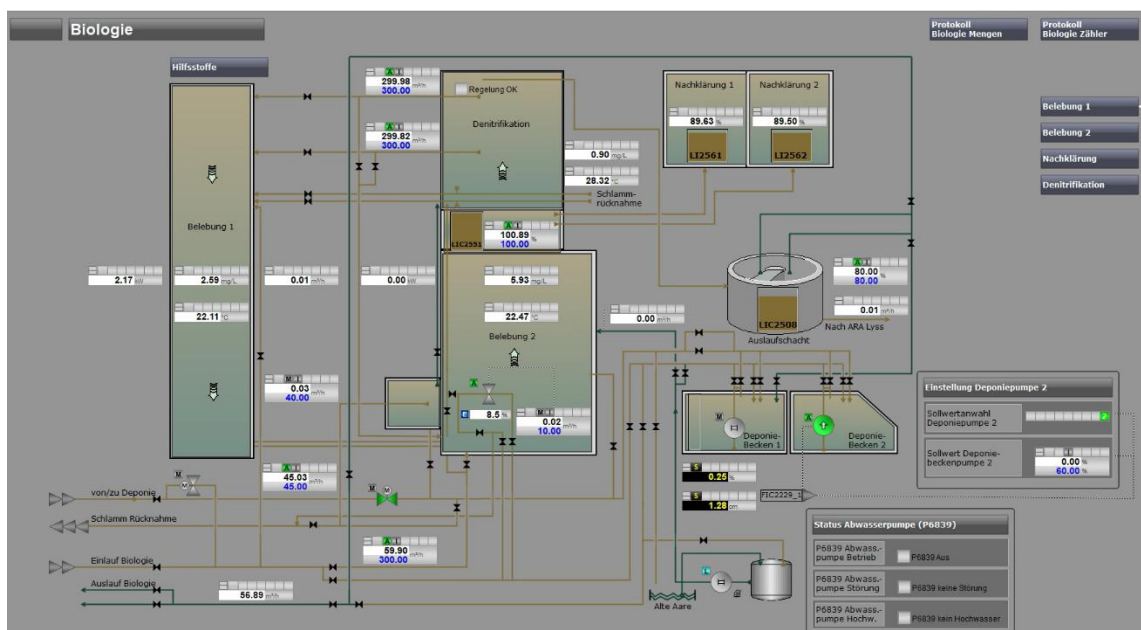


Abbildung 3 Auszug aus dem Leitsystem vom Schwemmwasser

#### 4.1.2.1 Nitrifikation

Um das Abwasser von dem schädlichen Ammonium zu befreien, wird die Mithilfe von Bakterien (Nitrifikanten) benötigt. Damit die Bakterien, die im Schlamm enthalten sind, den Umwandlungsprozess vollziehen können, werden verschiedene Voraussetzungen benötigt:

- Sauerstoffgehalt 2mg/l
- Trockensubstanz des Belebtschlammes 6-8 g/l
- Nährstoffverhältnis C : N : P sollte bei 100 : 20 : 5 sein
- Temperatur über 10°C
- Schlammalter von 8 Tagen
- pH von 7

Sind diese Bedingungen vorhanden, wandeln die Bakterien das Ammonium zu Nitrit und danach zu Nitrat um. Es ist essenziell, dass dieser Umwandlungsprozess bis zur Nitrat-Umwandlung vollendet wird. Ist dies nicht der Fall, kann es zu einer erhöhten Nitrit-Konzentration im Auslauf der Abwasserbehandlung kommen. Nitrit ist hoch toxisch für die Lebewesen im Gewässer. Das entstandene Nitrat muss nun in einer Denitrifikation behandelt werden, da das enthaltene Nitrat als Dünger im Gewässer dient. Beim übermässigen Nitratgehalten in Gewässern kann es zur Eutrophierung kommen. Dadurch kommt es zu einen stärkeren Wachstum von Wasserpflanzen und Algen. Dies führt nachfolgend zu Sauerstoffmangel im Gewässer.

#### 4.1.2.2 Denitrifikation

In der Denitrifikation wird das Nitrat in elementaren Stickstoff umgewandelt. Für diesen Umwandlungsprozess sind andere Bakterien (Denitrifikanten) zuständig. Diese benötigen differente Bedingungen:

- Keinen Sauerstoff darf vorhanden sein
- Leicht abbaubarer Kohlenstoff
- Schlammalter 8-10 Tage
- Trockensubstanz des Belebtschlammes 6-8 g/l
- Temperatur über 10°C
- pH von 7

Essenziell für eine funktionierende Denitrifikation ist der fehlende Sauerstoff und leicht abbaubarer Kohlenstoff. Der leicht abbaubare Kohlenstoff dient als Elektronenspender für die Denitrikanten. Damit dieser Abbau stattfinden kann, wird Sauerstoff benötigt. Da jedoch der Sauerstoff im Becken fehlt, nehmen die Bakterien den vorhandenen Sauerstoff aus dem Nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Diesen Prozess nennt man Nitratatmung. Dadurch entsteht nachfolgend elementarer Stickstoff.

## 4.2 Einleitbedingungen vom Amt für Wasser und Abfall Bern

Sobald die Schweizer Zucker AG ihr Abwasser in das Gewässer einleiten will, muss dieses eine gewisse Qualität aufweisen. Diese Grenzwerte werden durch das AWA (Amt für Wasser und Abfall) festgelegt. Für die Kontrolle der Grenzwerte wird täglich eine Analytik des Abwassers durchgeführt. Die Grenzwerte dürfen nur in Störfällen oder bei der Inbetriebnahme der Abwasserbehandlungsanlage überschritten werden. In der untenstehenden Abbildung sind alle Parameter aufgeführt.

Parameter	Grenzwerte, Anforderungen an die Abbauleistungen	Modus für die Einhaltung der Anforderungen
pH	6.5...9	jederzeit
Temperatur	< 30 ° C	jederzeit
Snellen	> 30 cm	jederzeit in qualifizierter Stichprobe
GUS <sup>2)</sup>	< 15 mg/L	als 90% - Wert aller 24-h-Mischproben <sup>3)</sup> während der Hauptkampagne <sup>1)</sup> Höchstwert in einzelnen 24 h Proben: 50 mg/L
CSB <sup>3)</sup>	< 27 mg/L	als 90% - Wert aller 24-h-Mischproben pro Abwasserkampagne. Höchstwert in einzelnen 24 h Proben: 54 mg/L
Reinigungseffekt CSB	> 85 %	bezogen auf Rohabwasser über die gesamte Abwasserkampagne
NH <sub>4</sub> -N	< 2 mg/L	als 90% - Wert aller 24-h-Mischproben während der Hauptkampagne. Höchstwert in Einzelproben: 6 mg/L
NO <sub>2</sub> -N	< 1.0 mg/L	in 4 von 5 qualifizierten Stichproben, Höchstwert in einzelnen Stichproben: 3 mg/L <sup>5)</sup>
Reinigungseffekt N	> 75 %	bezogen auf Rohabwasser über die Hauptkampagne
P <sub>gesamt</sub>	< 0.5 mg/L <sup>6)</sup>	als frachtgewogener Mittelwert während der Hauptkampagne
Reinigungseffekt P	> 80 %	bezogen auf Rohabwasser über die gesamte Abwasserkampagne
Folgen im Vorfluter bei der Einleitestelle	keine Trübung, Verfärbung, Schaumbildung, keine nachteilige Veränderung des Geruchs keine Bildung von mit blossem Auge sichtbaren Kolonien von Bakterien, Pilzen, Protozoen	

1) Die gesamte Abwasserkampagne umfasst die Zeit: Hauptkampagne (Rübenkampagne) und Dicksaftkampagne (Nachkampagne), inklusive die ganze Dauer des Betriebes der Abwasservorbehandlungsanlagen (Anfahren der Anlagen bis und mit Abarbeiten von gestapeltem Abwasser und Reinigungsabwässern). Sie dauert in der Regel vom Herbst bis zum Frühsommer des Folgejahres.

2) Für die Bestimmung des GUS kann die Differenz von CSB<sub>ges.</sub> - CSB<sub>nit.</sub> herangezogen werden.

3) Der CSB des gereinigten Abwassers wird nach Filtration durch ein 0.45µm Filter bestimmt.

Abbildung 4 Einleitbedingungen für die SZU

## **5 Auslegung der Nachklärbecken**

Nachklärbecken haben die zentrale Aufgabe, den belebten Schlamm vom biologisch gereinigten Abwasser zu trennen. Die Leistungsfähigkeit einer Belebungsanlage wird hauptsächlich durch den Trockensubstanzgehalt des belebten Schlammes und das Volumen des Belebungsbeckens bestimmt. Der Trockensubstanzgehalt hängt stark von der Effizienz der Nachklärbecken bei wechselnder hydraulischer Belastung, dem Schlammindex, der Schlammräumung sowie der Schlammrückführung und dem Überschussschlammabzug ab. Die Bemessung, Gestaltung und Ausstattung der Nachklärbecken müssen sicherstellen, dass folgende Aufgaben erfüllt werden:

- Trennung des belebten Schlammes vom gereinigten Abwasser durch Absetzen.
- Eindickung und Räumung des abgesetzten belebten Schlammes zur Rückführung in das Belebungsbecken.
- Zwischenspeicherung von belebtem Schlamm, der bei erhöhten Zuflüssen, insbesondere bei Regen, aus dem Belebungsbecken verdrängt wird.

Der Absetzvorgang im Nachklärbecken wird durch Flockungsvorgänge im Einlaufbereich, die hydraulischen Verhältnisse im Becken (z. B. Einlauf- und Ablaufkonstruktion, Dichteströmungen), das Rücklaufverhältnis und die Art der Räumung beeinflusst. Der abgesetzte Schlamm sammelt sich in der Schlammschicht über der Beckensohle. Die erreichte Eindickung hängt von den Schlammeigenschaften (ISV), der Tiefe der Schlammschicht, der Eindickzeit und der Art der Räumung ab. Bei Regenwetterzufluss wird vermehrt belebter Schlamm aus dem Belebungsbecken in die Nachklärung verlagert. Das Nachklärbecken muss dann zusätzlich diesen verdrängten Schlamm aufnehmen können. Dafür sind ein ausreichend grosser Speicherraum, eine leistungsfähige Schlammräumung und eine entsprechend dimensionierte Schlammrückführung erforderlich. Der abgesetzte und eingedickte Schlamm wird, sofern er nicht selbsttätig in den Schlammtrichter fliesst, durch Schild- oder Bandräumer zum Schlammabzug gefördert oder mit Saugräumern direkt abgezogen.

Grundlage für die Bemessung eines Nachklärbeckens sind der maximale Zufluss, der Schlammindex ISV und der Schlamm-trockensubstanzgehalt im Zulauf zu der Nachklärung  $TS_{BB}$ .

Die folgenden Bemessungsregeln gelten für die Ausbaugrösse:

- Nachklärbecken mit Längen bis etwa 60 m,
- Schlammindex  $50 \text{ l/kg} < ISV < 200 \text{ l/kg}$
- Vergleichsschlammvolumen  $VSV < 600 \text{ l/m}^3$
- Rücklaufschlammstrom  
 $Q_{RS} \leq 0,75 \cdot Q_m$  (horizontal durchströmt),
- Trockensubstanzgehalt im Zulauf Nachklärbecken  $TS_{BB} > 1,0 \text{ kg/m}^3$ .

## 5.1 Kurzzeichen

Formelzeichen	Einheit	Beschrieb
NKB		Nachklärbecken
Belebungsbecken		BB
$A_{NB}$	$m^2$	Oberfläche der Nachklärung
$V_{NB}$	$m^3$	Volumen der Nachklärung
$l_{NB}$	m	Länge rechteckiger NKB
Q	$m^3/h$	Zufluss, Durchfluss, Volumenstrom
$Q_d$	$m^3/d$	Täglicher Abwasserzufluss
$Q_m$	$m^3/h$	Zufluss, Durchfluss, Volumenstrom maximal
$Q_{RS}$	$m^3/h$	Rücklaufschlammstrom
RV	$m^3/h$	Rücklaufverhältnis
$q_A$	m/h	Flächenbeschickung der Nachklärung
$q_{SV}$	$l/(m^2 \cdot h)$	Schlammvolumenbeschickung, bezogen auf $A_{NB}$
$TS_{BB}$	$kg/m^3$	Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken
$TS_{BS}$	$kg/m^3$	Trockensubstanzgehalt im Bodenschlamm der NKB
$\dot{U}_d$	kg/d	Tägliche Schlammproduktion (Feststoffe)
ISV	l/kg	Schlammindex
SV	ml/l	Schlammvolumen
VSV	$l/m^3$	Vergleichsschlammvolumen

Häufige verwendete Parameter		
Parameter	Einheit	Beschrieb
CSB	mg/l	Summenparameter - Mass für Summe aller organischen Verbindungen im Wasser
$NH_4-N$	mg/l	Konzentration des Ammoniumstickstoffs
$P_{tot}$	mg/l	Konzentration des Phosphates als P
$Ca^{2+}$	mg/l	Calcium
pH		Mass für sauren oder basischen Charakter einer wässrigen Lösung
	mg/l	

Tabelle 1 Kurzzeichen

## 5.2 Betriebsdatenauswertung

Die Betriebsdaten stammen aus der Datenbank der Schweizer Zucker AG. Die Abwassermengen werden durch einen Mengemesser täglich erfasst und direkt in die Betriebsdatenbank gespeichert. Die Abwasserwerte werden durch das Labor der Schweizer Zucker AG ermittelt und in der Betriebsdatenbank erfasst. Dafür wird jeden Tag der Einlauf Reaktor, Auslauf Reaktor, Einlauf Biologie und Auslauf Biologie mit je einer Probe analysiert. Für die Auslegung der Nachklärbecken sind die Einlaufwerte der Biologie ausschlaggebend.

Die Betriebsdatenauswertung umfasst die Kampagnen von 2019 bis 2023. Es wurden jeweils die mittleren und die für die Dimensionierung massgebenden Hochbelastungen ausgewertet. Die jeweils höchsten Werte sind in fetter Schrift dargestellt.

### 5.2.1 Abwassermenge

In der folgenden Tabelle werden die Abwassermengen der letzten Kampagnen aufgezeigt. Es wurden der mediane Mittelwert und der Maximalwert ausgewertet.

Abwasser (m <sup>3</sup> /d)		2019	2020	2021	2022	2023
Menge	Mittel	4248	4647	5197	<b>5503</b>	5303
	Max	5868	6544	<b>6583</b>	6455	6277

Tabelle 2: Auswertung der Abwassermengen 2019-2023

### 5.2.2 Abwassercharakterisierung

In der Tabelle wurden die vier Hauptstoffe aufgelistet, die für die Auslegung der Nachklärbecken wichtig sind. Es wurden der mediane Mittelwert und der 90%-Höchstwert ausgewertet.

Belastung (kg/d)		2019	2020	2021	2022	2023
CSB	Mittel	1659	1205	1422	2193	<b>2697</b>
	90%	2292	1749	1801	2573	<b>3192</b>
NH <sub>4</sub> -N	Mittel	355	433	262	440	<b>466</b>
	90%	490	<b>628</b>	332	516	552
P <sub>tot</sub>	Mittel	10	8	7	8	<b>15</b>
	90%	14	12	9	10	<b>18</b>
Ca <sup>2+</sup>	Mittel	842	778	<b>946</b>	936	856
	90%	1163	1129	<b>1199</b>	1098	1013

Tabelle 3: Auswertung der Abwasserbelastung Zulauf Aerobie 2019–2023

### 5.2.3 Schlammproduktion

Die Schlammproduktion erfolgt einerseits durch das Wachstum der Biomasse aus dem Abbau der organischen Stoffe und andererseits durch die Fällungsreaktionen des Kalkes. Kalk fällt dabei als  $\text{CaCO}_3$  an. Da die Schlammproduktion, respektive der Überschussschlammabzug nicht erfasst wird, können hier nur Abschätzungen gemacht werden.

#### 5.2.3.1 Schlammproduktion aus Abbau organischer Stoffe

Die Schlammproduktion aus dem Abbau der organischen Stoffe berechnet sich gemäss ATV-DVWK-A 131 aus der Fraktion des CSB (partikulär, gelöst, inert, gut abbaubar). Mit einem hohen Anteil an gut abbaubaren CSB (50%) und einem vernachlässigten partikulären CSB-Anteil errechnet sich der Faktor für die Schlammproduktion zu 0.36–0.39 (Yield). Üblicherweise wird bei kommunalem Abwasser mit einem  $Y > 0.5$  gerechnet.

Schlammproduktion (kg/d)		2019	2020	2021	2022	2023
Menge	Mittel	830	603	711	1097	1348
	Max	1146	874	900	1286	1596

Tabelle 4: Schlammproduktion aus dem Abbau organischer Stoffe 2018–2023 ( $Y = 0.5$ )

#### 5.2.3.2 Schlammproduktion aus Kalkfällung

Die  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration im Ein- und Auslauf wird wöchentlich analysiert. Die im Mittel und im 90%-Fall ausgefällten  $\text{Ca}^{2+}$ -Mengen sind in der Tabelle aufgeführt. Die Schlammproduktion beträgt ca. 1,35 kg Schlamm pro kg  $\text{Ca}^{2+}$

Schlammproduktion (kg/d)		2019	2020	2021	2022	2023
Menge	Mittel	1136	1051	1278	1264	1155
	Max	1570	1525	1618	1483	1367

Tabelle 5: Schlammproduktion aus  $\text{Ca}^{2+}$ -Fällung 2019-2023

### 5.2.3.3 Gesamte Schlammproduktion

Die gesamte Schlammproduktion setzt sich aus dem Wachstum der Biomasse so wie aus den Kalk-Fällungsprodukten zusammen. Für die mittlere Schlammproduktion ist es angebracht, die beiden mittleren Schlammproduktionen zu addieren. Bei den hohen Anfällen (90%-Werte) würde dies zu einer Überschätzung der Schlammproduktion führen, da CSB- und Ca<sup>2+</sup>-Spitzen nicht zwingendermassen gleichzeitig anfallen. Es wird daher zur Abschätzung der massgebenden Schlammproduktion entweder der Mittelwert aus Tabelle 4 zum 90%-Wert der Tabelle 5 oder der 90% Wert der Tabelle 4 zum Mittelwert der Tabelle 5 addiert. Die jeweils höhere Summe wird als für die Dimensionierung massgebende Schlammproduktion gewählt.

Schlammproduktion (kg/d)		2019	2020	2021	2022	2023
Menge	Mittel	1966	1653	1989	2361	<b>2503</b>
	Max	2399	2127	2329	2579	<b>2716</b>

Tabelle 6: Gesamte Schlammproduktion 2019–2023

### 5.2.4 Schlammindex

Der Schlammindex wird berechnet aus der Trockensubstanz und des Schlammvolumens. Die Formel lautet wie Folgt:

$$ISV = \frac{SV}{TS}$$

Schlammindex(l/KG)	2019	2020	2021	2022	2023
Schlammvolumen ml/l	690	480	360	490	610
Trockensubstanz g/l	8.10	8.10	7.80	7.10	<b>8.45</b>
Schlammindex l/kg	<b>85.2</b>	59.3	46.2	69	72.2

Tabelle 7: Berechnung Schlammindex

### 5.3 Berechnung der Ausbaugrösse

#### 5.3.1 Flächenbeschickung und Schlammvolumenbeschickung

Die Flächenbeschickung ( $q_A$ ) ist ein entscheidender Parameter bei der Auslegung von Nachklärbecken in Kläranlagen. Sie dient dazu, die hydraulische Belastung des Beckens zu bestimmen und sicherzustellen, dass die Sedimentation der Feststoffe effizient erfolgt. Konkret wird  $q_A$  verwendet, um:

- Die Grösse des Nachklärbeckens zu bestimmen, sodass die Feststoffe ausreichend Zeit haben, sich abzusetzen.
- Die hydraulische Belastung zu kontrollieren, um eine Überlastung des Beckens zu vermeiden.
- Die Effizienz der Feststoffabtrennung zu maximieren, was zu einer besseren Wasserqualität führt.

Die Schlammvolumenbeschickung ( $q_{SV}$ ) ist ein weiterer wichtiger Parameter bei der Auslegung von Nachklärbecken. Sie gibt an, wie viel Schlammvolumen pro Flächeneinheit und Zeiteinheit in das Becken eingetragen wird. Der Wert dient bei der Auslegung als Grundlage für die nachfolgenden Punkte:

- Dimensionierung des Nachklärbeckens: Sicherstellung, dass das Becken gross genug ist, um das eingetragene Schlammvolumen effizient zu verarbeiten.
- Vermeidung von Überlastung: Kontrolle der Schlammmenge, um eine Überlastung des Beckens zu verhindern und die Sedimentation zu optimieren.
- Optimierung der Schlammabtrennung: Verbesserung der Effizienz der Feststoffabtrennung, was zu einer besseren Klarheit des ablaufenden Wassers führt.

Typische Werte für die Schlammvolumenbeschickung liegen je nach Beckentyp zwischen 500 und 650 l/(m<sup>2</sup>·h). Für die Berechnung der Flächenbeschickung ( $q_A$ ) wird folgende Formel angewendet:

$$q_A = \frac{q_{SV}}{VSV} = \frac{q_{SV}}{TS_{BB} \cdot ISV} \quad [\text{m/h}]$$

*Formel 1 Berechnung Flächenbeschickung*

Für die Schlammbeschickung  $q_{SV}$  werden 500l/(m<sup>2</sup>·h) angenommen. Die Trockensubstanz  $TS_{BB}$  und der Schlammindex ist in der Tabelle 7 ersichtlich.

#### **Flächenbeschickung $q_A$**

$$\frac{500 \text{ l/(m}^2\cdot\text{h)}}{8.5 \text{ kg/m}^3 \cdot 85.2 \text{ l/kg}} = \underline{\underline{0.69 \text{ m/h}}}$$

### 5.3.2 Beckenoberfläche

Für die Berechnung der Beckenoberfläche ( $A_{NB}$ ) wird folgende Formel angewendet:

$$A_{NB} = \frac{Q_m}{q_A} \quad [m^2]$$

*Formel 2 Berechnung Beckenoberfläche*

Der Volumenstrom maximal  $Q_m$  ist in der Tabelle 2 ersichtlich, dieser muss noch auf  $m^3/h$  umgerechnet werden.

$$\frac{\text{Beckenoberfläche } A_{NB}}{274.29 \text{ m}^3/h} = \frac{0.69 \text{ m/h}}{397.52m^2}$$

### 5.3.3 Beckenhöhe

Die Tiefe eines Nachklärbeckens setzt sich aus verschiedenen Zonen zusammen, die jeweils spezifische Funktionen erfüllen:

- Klarwasserzone ( $h_1$ ): Diese Zone befindet sich an der Oberfläche und enthält das gereinigte Wasser.
- Trennzone / Rückströmzone ( $h_2$ ): Hier erfolgt die Trennung von Feststoffen und Wasser.
- Dichtestrom- und Speicherzone ( $h_3$ ): In dieser Zone sammeln sich die abgesetzten Feststoffe.
- Eindick- und Räumzone ( $h_4$ ): Diese Zone liegt am Boden und dient der Verdichtung und Entfernung der Feststoffe.

Die Prozesse in diesen Zonen sind nicht strikt voneinander getrennt, sondern überlappen sich. In den Ein- und Auslaufbereichen des Beckens gibt es zudem Störzonen, die durch eine geeignete Gestaltung der Zu- und Ablaufkonstruktionen minimiert werden sollten.

#### 5.3.3.1 *Klarwasserzone $h_1$*

Die Klarwasserzone ist eine Sicherheitszone mit einer Mindesttiefe von  $h_1 = 0,50 \text{ m}$ . Sie dient dazu, unvermeidbare Einflüsse aus Wind, Dichteunterschieden oder ungleichmässiger Flächenbeschickung auszugleichen. Die Klarwasserzone liegt häufig im Bereich einer Rückströmung.

### 5.3.3.2 Trennzone $h_2$

Die Trennzone/Rückstromzone ist so zu bemessen, dass der Zufluss einschliesslich des Rücklaufschlammstromes, bezogen auf das freie Wasservolumen, eine rechnerische Durchflusszeit von 0,5 h hat. Für das Rücklaufverhältnis (RV) wird üblicherweise ein Wert von 0.75 bei horizontal durchströmten Becken angewendet. Für die Berechnung der der Trennzone ( $h_2$ ) wird folgende Formel angewendet:

$$h_2 = \frac{0,5 \cdot q_A \cdot (1 + RV)}{1 - VSV/1000} \quad [m]$$

Formel 3 Berechnung Trennzone

#### **Trennzone $h_2$**

$$\frac{0,5 \cdot 0,69 \text{ m/h} \cdot (1+0,75)}{1 - 724,2 \text{ l/m}^3 / 1000} = \underline{\underline{2,19 \text{ m}}}$$

### 5.3.3.3 Dichtestrom- und Speicherzone $h_3$

Die Dichtestrom- und Speicherzone ist so zu bemessen, dass das in einem Zeitraum von 1,5 Stunden aus dem Belebungsbecken bei Mischwasserzufluss  $Q_m$  zusätzlich abfliessende Volumen an Schlamm ( $0,3 \cdot \text{TSBB} \cdot \text{ISV}$ ) mit einem Konzentrationswert von  $500 \text{ l/m}^3$  aufgenommen werden kann. In dieser Zeit sinkt der belebte Schlamm in die Eindickzone ab und wird als gleichmässig verteilt über der Nachklärbeckenoberfläche  $A_{NB}$  angenommen. Speicherzone ( $h_3$ ) wird folgende Formel angewendet:

$$h_3 = \frac{1,5 \cdot 0,3 \cdot q_{SV} \cdot (1 + RV)}{500} \quad [m]$$

Formel 4 Berechnung Speicherzone

#### **Speicherzone $h_3$**

$$\frac{1,5 \cdot 0,3 \cdot 500 \text{ l/(m}^2 \cdot \text{h)} \cdot (1+0,75)}{500} = \underline{\underline{0,79 \text{ m}}}$$

#### 5.3.3.4 Eindick- und Räumzone $h_4$

Die Eindick- und Räumzone eines Nachklärbeckens muss ausreichend dimensioniert sein, um die eingeströmte Schlammfracht mit dem Trockensubstanzgehalt ( $TS_{BB}$ ) innerhalb der Eindickzeit ( $t_E$ ) auf die Bodenschlammkonzentration ( $TS_{BS}$ ) eindicken zu können. Wenn man annimmt, dass die Schlammmasse gleichmässig über die Oberfläche des Nachklärbeckens verteilt wird, kann die Höhe der Eindick- und Räumzone berechnet werden. Für die Berechnung der Eindick- und Räumzone ( $h_4$ ) wird folgende Formel angewendet:

$$h_4 = \frac{TS_{BB} \cdot q_A \cdot (1 + RV) \cdot t_E}{TS_{BS}} \quad [m]$$

Formel 5 Berechnung Räumzone

Die Eindickzeit ( $t_E$ ) wird im Arbeitsblatt DWA-A-131 für Anlagen mit einer Denitrifikation mit einer Zeit von 2.0h gerechnet. Die Trockensubstanz  $TS_{BS}$  wird wie folgt berechnet:

$$TS_{BS} = \frac{1000}{ISV} \cdot \sqrt[3]{t_E} \quad [kg/m^3]$$

**Trockensubstanz  $TS_{BS}$**

$$\frac{1000}{85.2 \text{ l/kg}} \cdot \sqrt[3]{2 \text{ h}} = \underline{\underline{14.79 kg/m^3}}$$

**Eindick- und Räumzone ( $h_4$ )**

$$\frac{8.45 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.69 \text{ m/h} \cdot (1+0.75) \cdot 2 \text{ h}}{14.79 \text{ kg/m}^3} = \underline{\underline{1.38 \text{ m}}}$$

#### 5.3.3.5 Gesamthöhe

Für die Gesamthöhe der Nachklärbecken werden alle vier Höhen addiert.

**Wassertiefe im Nachklärbecken ( $h_{ges}$ )**

$$\underline{\underline{0.5 \text{ m} + 2.19 \text{ m} + 0.79 \text{ m} + 1.38 \text{ m} = 4.86 \text{ m}}}$$

#### 5.3.4 Beckenlänge und Beckenbreite

Die Beckenlänge und die Beckenbreite variieren je nach Ausbauvariante. Bei der Erweiterungsvariante ist die Beckenbreite durch bestehenden Becken bereits gegeben. Hier wird die Länge der Becken so weit angepasst, bis die benötigte Beckenoberfläche erreicht wird. Bei der Ausbauvariante „drittes Becken“ ist die Beckenbreite durch die bestehenden Platzverhältnisse eingeschränkt. Dadurch wird das neue Becken etwas länger als die Bestehenden.

	Erweiterung	Drittes Becken	
Anzahlbecken	2	2	1
Breite	6m	6m	4m
Länge	33.12m	21m	36m

#### 5.4 Auswertung der Berechnung

Die Berechnungen zeigen, dass die aktuellen Becken eine zu kleine Dimensionierung aufweisen. Dies ist auf durch den erhöhten Abwasseranfall zu erklären sowie der veränderten Abwassercharakteristik. In der Berechnung aus dem Jahr 2010 wurde mit einer Trockensubstanz von 5 kg/m<sup>3</sup> gerechnet. Dieser Wert ist durch die Zusammensetzung des Schlammes im Betrieb nicht realisierbar, weil der grössere Teil, sprich 2/3 des Schlammes, aus anorganischem Schlamm besteht und dadurch keinen Beitrag zur Abwasserreinigung leisten kann.

Der realistische Wert der Trockensubstanz beträgt ca. 8 kg/m<sup>3</sup>. Durch die veränderten Betriebsparameter ergibt die Berechnung, dass die Beckenoberfläche um 106 m<sup>2</sup> vergrössert werden muss. Dies sollte nachfolgend ausreichend für eine gute Schlammabsetzung sein. Des Weiteren sollten die Becken etwa 30 cm höher sein als sie es aktuell sind. Dies wird leider nicht möglich sein, weil die Behörde die Bauhöhe auf die aktuell existierende beschränkt hat.

<b>Vergleich der zwei Berechnungen</b>				
Betriebsparameter	Dim.	Berechnung 2010	Berechnung 2024	Differenz in %
CSB	kg/d	2'250	3192	+41.87
NH <sub>4</sub> -N	kg/d	472	628	+33.05
P <sub>tot</sub>	kg/d	19.5	18	-7.69
Ca <sup>2+</sup>	kg/d	1580	1199	-24.11
Abwassermenge	m <sup>3</sup> /d	5280	6583	+24.68
Abwassermenge	m <sup>3</sup> /h	220	274	+24.55
Trockensubstanz	kg/m <sup>3</sup>	5	8.45	+69
Schlammindex	l/kg	80	85.2	+6.5
Beckenoberfläche	m <sup>2</sup>	252	398	+57.94
Beckenhöhe	m	4.5	4.9	+8.89

Tabelle 8 Vergleich zwischen der Dimensionierungen 2010 und 2024

## 6 Ausbauvarianten

Die aktuellen Nachklärbecken wurden aus Platz- und Kostengründen im Jahr 2010 in dem kleinen Deponiebecken integriert. Dadurch sind die Platzverhältnisse eingeschränkt. Beim Bau der Becken wurde keine Rücksicht auf eine etwaige Erweiterung genommen. Daher gibt es nur zwei verschiedene Ansätze, um die benötigte Beckenoberfläche zu erreichen. Die erste Variante ist eine Vergrößerung der bestehenden Becken. Die zweite Variante ist der Bau eines dritten Beckens neben den zwei bestehenden Becken. Die Schweizer Zucker AG besitzt zwar noch Land neben der Abwasserbehandlungsanlage, dieses ist jedoch nur durch hohe Baukosten nutzbar, da der Erdboden mit inertem Material belastet ist. Dadurch wären die Tiefbauarbeiten sehr aufwendig. In der unten aufgezeigten Abbildung sind die bestehenden Nachklärbecken rot markiert.



Abbildung 5 Abwasserbehandlungsanlage im Grien Aarberg

## 6.1 Aktuelle Nachklärung

Aktuell besteht die Nachklärung aus zwei Becken. Beide Becken sind 6 m breit, 21 m lang und 4,5 m hoch. Sie besitzen je eine Oberfläche von 126 m<sup>2</sup> und ein Beckenvolumen von 567 m<sup>3</sup>. Der Belebtschlamm aus der Nitrifikationszone wird mittels Pumpen in die Nachklärbecken gepumpt. Durch das Pumpen wird die Flockenstruktur zerstört. Aus diesem Grund muss noch ein Flockmittel in die Druckleitung der Pumpen dosiert werden. Für die Reaktionszeit des Flockmittels mit dem Belebtschlamm ist noch je ein Reaktor mit einem Inhalt von 50 m<sup>3</sup> vorgeschaltet. In diesem Reaktor ist ein Rührwerk verbaut. Damit der Schlamm vom Reaktor nicht mit einer zu hohen Verwirbelung in das Nachklärbecken gelangt, ist eine Tauchwand montiert. Diese verhindert, dass es zu einer zu grossen Strömung und damit verbundenem Auftrieb von Schlamm kommen kann.

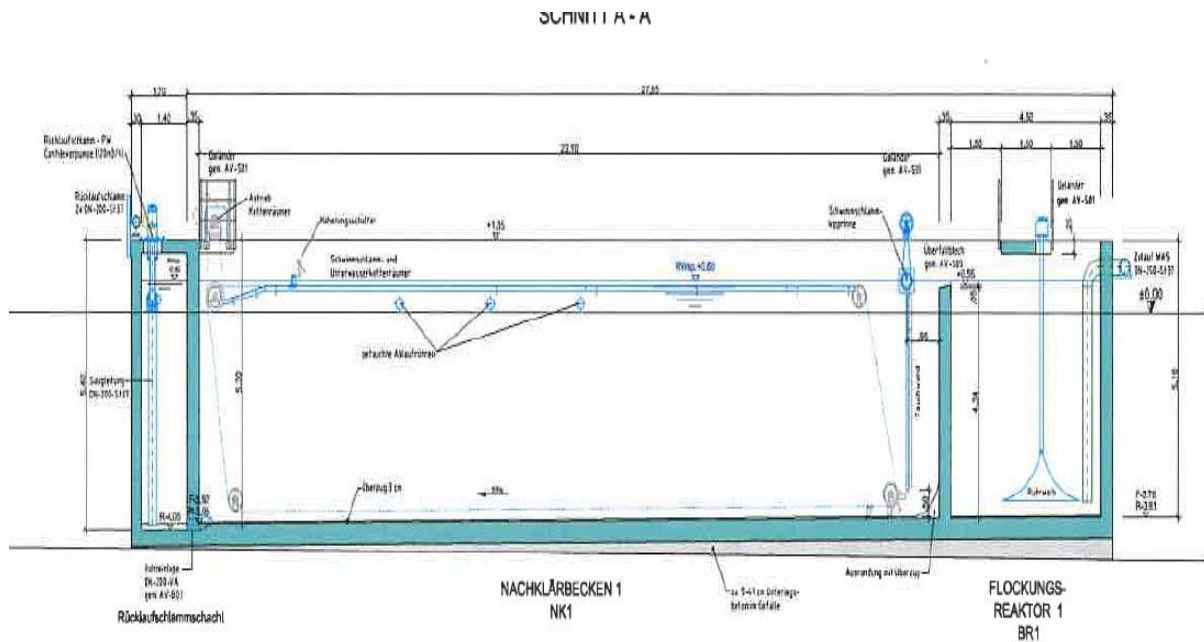
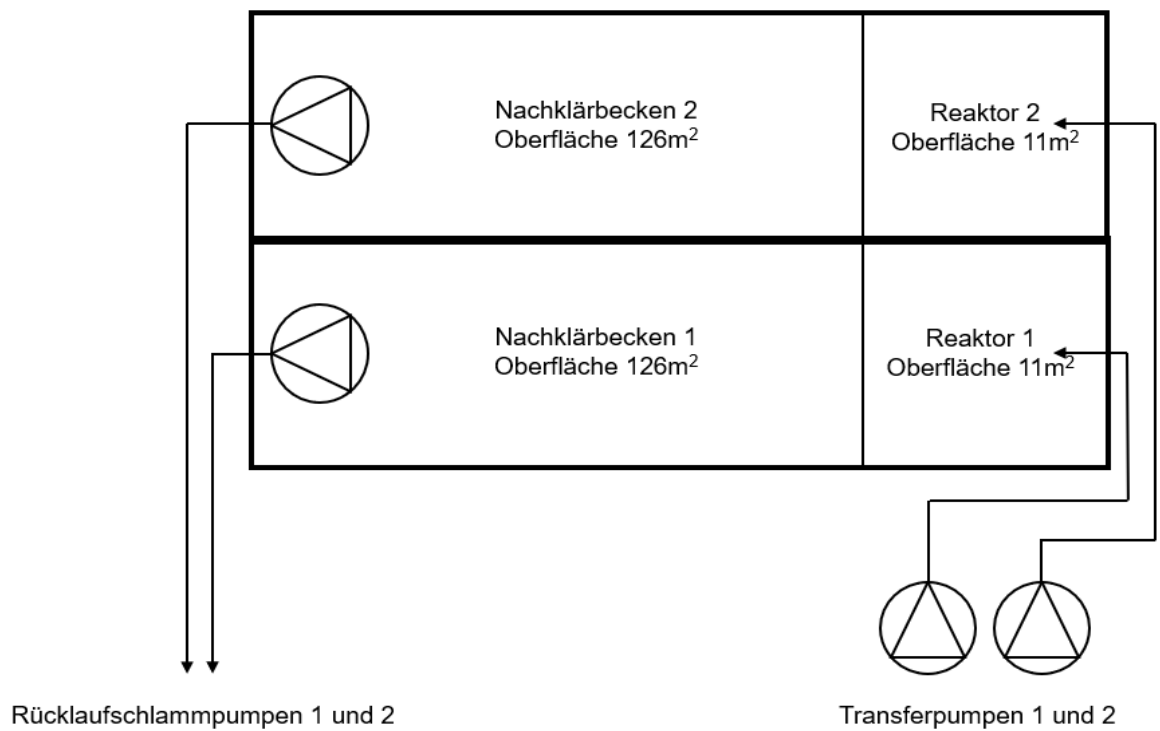


Abbildung 6 Aufbau der aktuellen Nachklärungsbecken

### 6.1.1 Umsetzungsplan der aktuellen Nachklärung



## 6.2 Variante Erweiterung

Bei der Erweiterungsvariante werden die bestehenden Becken um 12 m verlängert. Somit hätten die Becken die geforderte Beckenoberfläche von je 198 m<sup>2</sup>. Bei dieser Variante könnten die bestehenden Pumpen weiterhin genutzt werden. Die baulichen Massnahmen sind etwas gering, dafür jedoch komplexer und umfangreicher, weil die Statik mit einbezogen werden muss. Für die Umsetzung müssten folgende Massnahmen getroffen werden:

### **Baumeisterarbeiten**

Die jetzigen Reaktoren müssten um 12 m Richtung Pumpe des kleinen Deponiebeckens versetzt werden. Dafür müssten die Wände am Reaktor Anfang und -ende demontiert werden. Danach könnten die Beckenwände um 12 m verlängert und ein neuer Reaktor angeschlossen werden. Für den verlängerten Teil braucht es auch eine neue Bodenplatte.

### **Räumersystem**

Damit der abgesetzte Schlamm wieder zu den Rücklaufschlammumpen gelangen kann, muss das Kettenräumersystem verlängert und mit mehr Räumern bestückt werden. Durch die Verlängerung würde der jetzige Antriebsmotor eine zu geringe Leistung aufweisen, deshalb müsste dieser auch ersetzt werden.

### **Rohrleitungsbau**

Da der Einlauf der Nachklärbecken um 12 m verschoben wäre, müssten die 200er Chromstahlrohre verlängert werden.

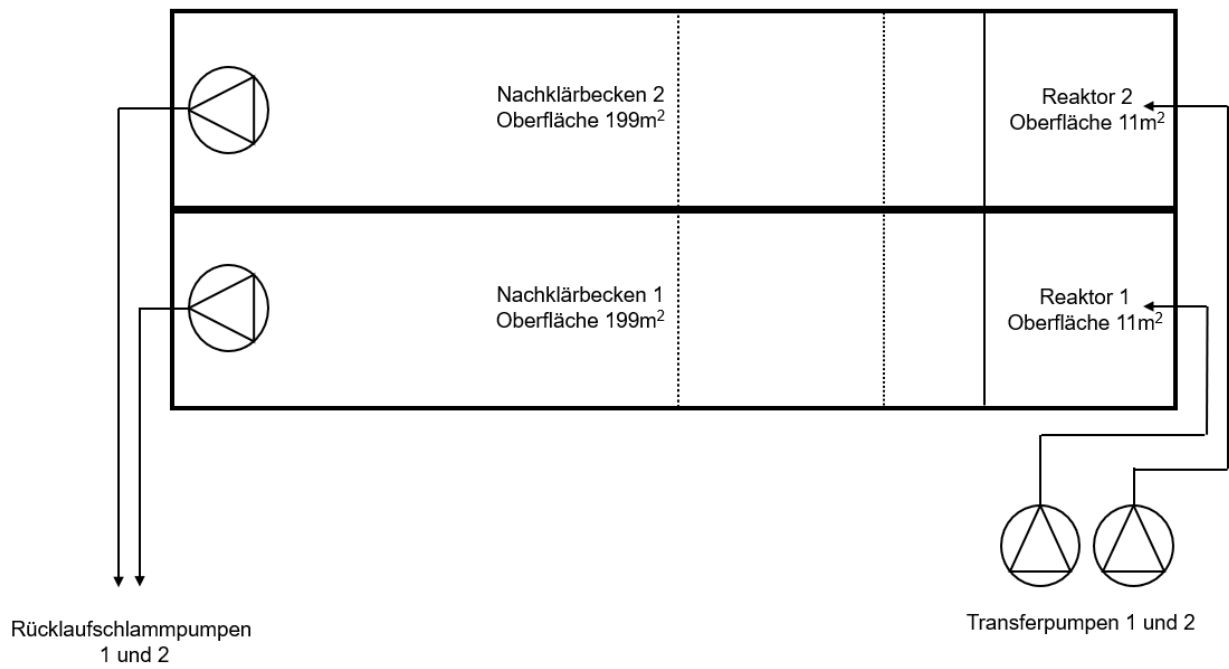
### **Elektroinstallation**

Durch einen etwaigen Ersatz des Räumermotors wären die Kabel unterdimensioniert. Diese müssten von der Unterstation neu verlegt werden.

### **Spezialarbeiten**

Durch die Demontage der alten Reaktorwände könnte die Statik der bestehenden Becken geschwächt werden. Daher müssten etwaige Verstärkungen mit eingeplant werden

## 6.2.1 Umsetzungsplan der Erweiterung



## 6.2.2 Baukosten der Erweiterung

Die Baukosten setzen sich aus den Positionen des Kapitels 6.2 "Erweiterung" zusammen. Für die Baumeisterarbeiten wurden Angebote von der Firma Müller eingeholt. Bezüglich des Räumersystems fand ein Telefonat mit der Firma Mecane statt. Der Rohrleitungsbau und die Elektroinstallation wurden von den zuständigen Abteilungsleitern der Schweizer Zucker AG für eine Kosteneinschätzung bewertet. Die Baukosten haben eine Genauigkeit von +/- 30%.

### **Baumeisterarbeiten**

Baustelleneinrichtung	33'000.-
Abbrucharbeiten / Betonschneiden	45'000.-
Betonarbeiten	253'000.-
Unvorhergesehenes	10'000
<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>341'000.-</b>

### **Räumersystem**

Getriebemotor	
Umlenkstation	
Räumerkette 48m	
Räumerbalken 24 stk.	
Bodengleitschienen 12m	
Rücklaufgleitschienen	
Total Räumereinrichtung	30'360
Montage und Abnahme	15'000
<b>Total Räumersystem</b>	<b>45'360</b>

### **Rohrleitungsbau**

Erweiterung Transferleitung	35'000
<b>Total Rohrleitungsbau</b>	<b>35'000</b>

### **Elektroinstallation**

10'000

### **Spezialarbeiten**

50'000

### **Baukosten Total Erweiterung**

**481'360**

### 6.2.3 Betriebskosten der Erweiterung

Bei der Neuauslegung werden die jährlichen Betriebskosten ebenfalls in die Gesamtkosten einbezogen, da sie je nach Variante eine wichtige Rolle im wirtschaftlichen Aspekt spielen. Die Kosten für den Betrieb der Nachklärbecken setzen sich aus den elektrischen Energiekosten und dem Flockmittelverbrauch zusammen. Für die Berechnung wird der Kampagnendurchschnitt von 85 Tagen angenommen. Die Unterhaltsarbeiten sind aus unserer Datenbank für die Stundenerfassung entnommen. Da manche Arbeiten nur in einem Drei-Jahres-Intervall durchgeführt werden, sind diese Kosten auf ein Jahr umgerechnet. Die Verschleissteile am Räumersystem wurden nach zehn Jahren komplett ersetzt. Die Rechnung betrug 50'000 CHF für beide Becken. Da die Becken etwa 1/3 grösser wären, wird dies entsprechend aufgerechnet.

#### Elektrische Energie für 85 Tage (0.15.- CHF pro kW)

Was	Menge pro Tag	Total	Kosten in CHF
Transferpumpen	288 kW	24'480 kW	3'672
Rücklaufschlammumpen	72 kW	6'120 kW	918
Flockmittelpumpen	36 kW	3'060 kW	459
Rührwerk Reaktor	36 kW	3'060	459
Kettenräumer	15 kW	1'275	191
<b>Total Energiekosten</b>			<b>5'699</b>

#### Flockungsmittel für 85 Tage (1.5 CHF pro kg)

Flonex	39 kg	3'315 kg	4'972
<b>Total Flockmittel</b>			<b>4'972</b>

#### Unterhaltskosten pro Jahr (85.- pro Arbeitsstunde)

Was	Arbeitszeit	
Beckenreinigung	20h	1'700
Unterhalt Pumpen	15h	1'275
Externer Unterhalt Räumersystem		1000
Verschleissteile Räumersystem		6'666
<b>Total Unterhaltskosten</b>		<b>10'641</b>

#### Kosten pro Kampagne

**21'312**

#### 6.2.4 Auswertung der Variante

Bei der Erweiterungsvariante kann die bestehende Infrastruktur weiter genutzt werden. Dadurch sind die Betriebskosten für das Nachklärbecken in etwa identisch. Die Erweiterung der Rohrleitungen wäre auch deutlich einfacher, weil die bestehenden Leitungen nur verlängert werden müssten. Die Statik konnte nicht mit einbezogen werden. Das Tiefbauunternehmen ist zwar der Ansicht, dass der Abbruch der bestehenden Mauern keinen Einfluss auf die Statik haben sollte, dies müsste jedoch sicherheitshalber durch einen Statiker begutachtet werden.

Der grösste Nachteil dieser Variante ist die Störfallversorgung. Das Bundesamt für Umwelt schreibt bei Kläranlagen immer eine dreistrassige Auslegung vor. Dies aus dem Grund, dass eine Kläranlage immer auf Qm ausgelegt wird. Da der maximale Abwasseranfall nicht permanent ist, kann bei einem Wegfall eines Beckens die Reinigungsleistung trotzdem aufrechterhalten werden. Auch für etwaige Unterhaltsarbeiten sind drei Strassen von grossem Nutzen. Da jedoch die Kläranlage der Schweizer Zucker AG nicht immer in Betrieb ist, wäre dieser Punkt wichtig. Nichtsdestotrotz ist bei einem Ausfall eines Beckens auf einen Schlag 50 % der Kapazität weg. In solchen Fällen müsste das grosse Deponiebecken mit einem Volumen von 45.000 m<sup>3</sup> als Zwischenstapelbecken genutzt werden. Dies wurde auch mit dem Amt für Abfall und Wasser so geregelt.

### 6.3 Variante drittes Becken

Bei der Variante "drittes Becken" würde ein weiteres Becken neben den bestehenden gebaut werden. Das neue Becken hätte nicht die gleiche Masse wie die bestehenden Becken. Da die bestehenden Becken in dem kleinen Deponiebecken gebaut wurden, wird der Platzbedarf durch eine Rampe, die in das Deponiebecken führt, beschränkt. Damit die geforderte Beckenoberfläche von 398 m<sup>2</sup> erreicht wird, muss das zusätzliche Becken eine Oberfläche von 146 m<sup>2</sup> aufweisen. Die Breite ist auf 5 m beschränkt, somit muss das zusätzliche Becken länger gebaut werden. Die Länge würde 29 m betragen, somit wäre das Becken 8 m länger als die Bestehenden. Für das zusätzlich Becken ist auch eine Erweiterung der Infrastruktur zwingend nötig. Für die Umsetzung müssten die nachfolgenden Massnahmen getroffen werden.

#### **Baumeisterarbeiten**

Das dritte Becken würde direkt an das jetzige Nachklärbecken 2 angebaut werden. Dies hätte den Vorteil, dass ein grosser Teil einer Beckenwand nicht betoniert werden müsste. Das neue Becken würde die bestehenden Becken. Die bestehenden Becken würde am Ende um 9m überragt werden, demzufolge wäre der Einlauf auf derselben Höhe. Damit das Klarwasser in den Auslaufschacht gelangen kann, müssten noch neun Kernbohrungen gemacht werden. Durch diese Bohrungen würden schlussendlich dann die Tauchrohre geführt werden.

#### **Infrastruktur**

Das zusätzliche Becken benötigt eine eigene Transferpumpe, ein Reaktorrührwerk und eine Rücklaufschlammpumpe.

#### **Räumersystem**

Für das zusätzliche Becken müsste ein komplettes neues Räumersystem verbaut werden. Dies besteht aus der Räumereinrichtung, einer Kiprinne für den Schwimmschlammabzug, Tauchrohren für den Klarwasserabzug und einem Schlammabzug mit Saugräumer.

#### **Rohrleitungsbau**

Der Rohrleitungsbau ist umfangreicher, weil das Becken eine eigene Transferpumpe und Rücklaufschlammpumpe besitzt. Dadurch müssen die Leitungen bis zu den Pumpen neu verlegt werden. Die Transferleitung hat eine Länge von 110 m und die Rücklaufschlammleitung eine Länge von 140 m.

### **Elektroinstallationen**

Für die neuen Elektromotoren muss ein eigener Schaltschrank aufgebaut werden, da das Becken eigene Sicherheitseinrichtungen und Steuerungstechnik benötigt. Des Weiteren müssen alle Kabel zu den Motoren verlegt werden. Ausserdem müsste eine zusätzliche Niveaumessung installiert werden.

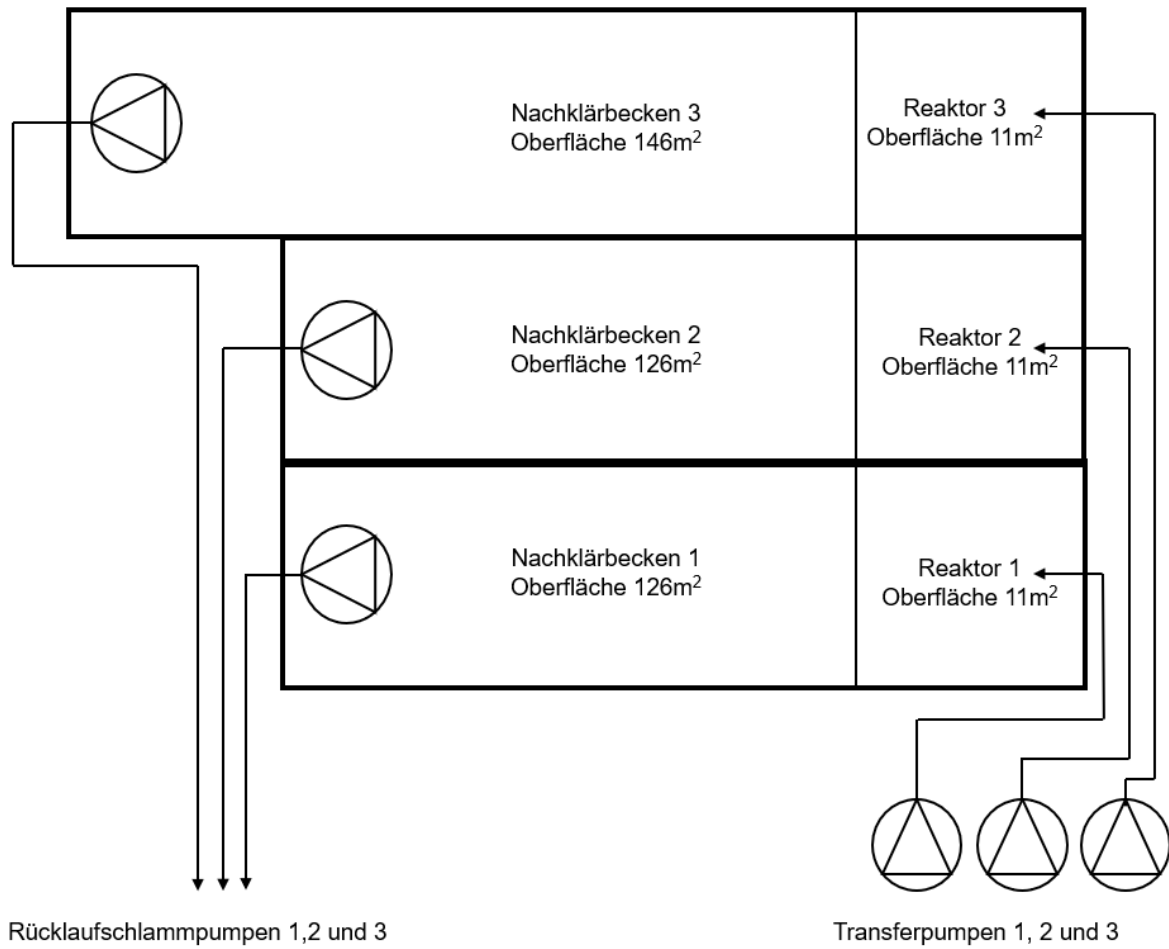
### **Leittechnik**

Für das zusätzliche Nachklärbecken müsste ein zusätzliches Programm geschrieben und im Leitsystem implementiert werden. Im Schaltschrank müsste auch noch die SPS verbaut werden. Das Programm wäre analog zu den Nachklärbecken 1 und 2.

### **Spezialarbeiten**

Um auf die bestehenden Nachklärbecken zu gelangen, wurde ein Laufsteg aus Stahl konstruiert. An diesem Laufsteg sind die Transfer- und die Rücklaufschlammleitung angebracht. Da jetzt zusätzlich noch je ein Rohr mehr befestigt würde, könnte dies einen Einfluss auf die Statik haben. Dies müsste noch von einem Statiker begutachtet werden.

### 6.3.1 Umsetzungsplan drittes Becken



### 6.3.2 Baukosten drittes Becken

Die Baukosten setzen sich aus den Massnahmen aus dem Kapitel 6.3 drittes Becken zusammen. Die Kosten wurden wie im Kapitel 6.2.2 beschrieben erstellt.

<b>Baumeisterarbeiten</b>	
Baustelleneinrichtung	33'000.-
Abbrucharbeiten / Betonschneiden	5'000
Betonarbeiten	285'000.-
Unvorhergesehenes	10'000
<b>Total Baumeisterarbeiten</b>	<b>333'000.-</b>
<b>Infrastruktur</b>	
Transferpumpe	21'281
Rücklaufschlammpumpe	19'589
Rührwerk	17'500
<b>Total Infrastruktur</b>	<b>38'806</b>
<b>Räumersystem</b>	
Getriebemotor	
Umlenkstation	
Räumerkette m	
Räumerbalken 24 stk.	
Bodengleitschienen 29m	
Rücklaufgleitschienen	
<b>Total Räumereinrichtung</b>	<b>45'000</b>
Kipprinne	6'000
Tauchrohre	17'500
Schlammabzugssystem	5'000
Montage und Abnahme	10'000
<b>Total Räumersystem</b>	<b>83'500</b>
<b>Rohrleitungsbau</b>	
Transferleitung	80'000
Rücklaufschlammleitung	60'000
<b>Total Rohrleitungsbau</b>	<b>140'000</b>
<b>Elektroinstallation</b>	
Schaltschrank	20'000
Kabel	3'000
Arbeitszeit	15'000
<b>Total Elektroinstallation</b>	<b>38'000</b>
<b>Leittechnik</b>	<b>8'000</b>
<b>Spezialarbeiten</b>	<b>50'000</b>
<b>Baukosten Total Erweiterung</b>	<b><u>691'300</u></b>

### 6.3.3 Betriebskosten drittes Becken

Auch bei der Neuauslegung werden die jährlichen Betriebskosten mit in die Gesamtkosten integriert. Um die Gesamtkosten über einen definierten Betriebszeitraum genau zu erfassen sind diese von entscheidender Bedeutung. Die Kosten für den Betrieb der Nachklärbecken setzen sich aus den elektrischen Energiekosten und dem Flockmittelverbrauch zusammen. Für die Berechnung wird der Kampagnendurchschnitt von 85 Tagen angenommen. Die elektrischen Energiekosten werden geschätzt, da die Abwassermenge etwa gleichbleibt, aber neu auf drei Pumpen verteilt wird, wodurch der Energieverbrauch etwas höher ist. Die Unterhaltsarbeiten sind aus unserer Datenbank für die Stundenerfassung entnommen. Durch den Bau eines weiteren Beckens würden die Unterhaltsarbeiten auch um ein Drittel zunehmen. Dieser Mehraufwand wurde aufgerechnet. Da manche Arbeiten nur in einem Drei-Jahres-Intervall durchgeführt werden, sind diese Kosten auf ein Jahr umgerechnet. Die Verschleissteile am Räumersystem wurden nach zehn Jahren komplett ersetzt. Die Rechnung betrug 50'000 CHF für beide Becken. Durch das zusätzliche Becken werden auch ein Drittel mehr Verschleissteile benötigt.

#### **Elektrische Energie für 85 Tage (0.15.- CHF pro kW)**

Was	Menge pro Tag	Total	Kosten in CHF
Transferpumpen	350 kW	29'750 kW	4'462
Rücklaufschlammumpen	90 kW	7'650 kW	1'147
Flockmittelpumpen	36 kW	3'060 kW	459
Rührwerk Reaktor	36 kW	3'740 kW	561
Kettenräumer	18 kW	1'530 kW	230
<b>Total Energiekosten</b>			<b>6'859</b>

#### **Flockungsmittel für 85 Tage (1.5 CHF pro kg)**

Flonex	39 kg	3'315 kg	4'972
<b>Total Flockmittel</b>			<b>4'972</b>

#### **Unterhaltskosten pro Jahr (85.- pro Arbeitsstunde)**

Was	Arbeitszeit	
Beckenreinigung	30h	2'550
Unterhalt Pumpen	22h	1'870
Externer Unterhalt Räumersystem		1'500
Verschleissteile Räumersystem		7'500
<b>Total Unterhaltskosten</b>		<b>13'420</b>

**Kosten pro Kampagne 25'251**

#### 6.3.4 Auswertung drittes Becken

Bei der Neubauvariante eines dritten Beckens sind die Baumeisterarbeiten in etwa gleich zu bewerten wie bei der Erweiterungsvariante. Dies bedeutet, dass die grundlegenden Bauarbeiten, wie das Einrichten der Baustelle, das Giessen des Fundaments und das Errichten der Beckenwände, ähnlich aufwendig und kostenintensiv sind. Anders sieht es jedoch bei der Infrastruktur aus. Durch den Bau eines weiteren Beckens müssen auch alle Antriebe, Pumpen und das gesamte Räumersystem zusätzlich installiert werden. Diese zusätzlichen Komponenten sind notwendig, um das neue Becken in das bestehende System zu integrieren und einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten. Dies führt zu höheren Anschaffungskosten, da nicht nur die Geräte selbst, sondern auch deren Installation und Integration in das bestehende System finanziert werden müssen. Zudem würde sich durch die zusätzliche Infrastruktur der Aufwand für die Unterhaltsarbeiten um ein Drittel erhöhen. Dies liegt daran, dass mehr Geräte und Systeme regelmässig gewartet und überprüft werden müssen, um einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten. Die zusätzlichen Wartungsarbeiten erfordern mehr Personal und Ressourcen, was zu höheren laufenden Kosten führt. Ein weiterer Punkt ist der Leitungsbau, der bei der Variante mit dem dritten Becken deutlich aufwändiger ist als bei der Erweiterung. Dies liegt daran, dass die Rohre eine längere Distanz überbrücken müssen, um das zusätzliche Becken an das bestehende System anzuschliessen. Längere Rohrleitungen erfordern mehr Material und eine aufwendigere Verlegung, was die Baukosten und den Arbeitsaufwand erhöht.

Der grösste Vorteil dieser Variante liegt in der Störfallversorgung. Bei einem Ausfall einer Transferpumpe wäre es dennoch möglich, die gesamte Abwassermenge weiterhin zu verarbeiten, ohne dass die Reinigungsleistung beeinträchtigt wird. Dies ist besonders wichtig, um die Betriebssicherheit und die kontinuierliche Abwasserbehandlung zu gewährleisten. Auch bei einem längeren Ausfall eines Beckens müsste die Verarbeitung in der Fabrik nicht gedrosselt werden, weil die anderen Becken die zusätzliche Last übernehmen könnten.

Diese Variante würde beim Amt für Wasser und Abfall mehr Unterstützung finden, da sie die vorgeschriebene Dreistrassigkeit abdeckt. Dies bedeutet, dass die Anlage in der Lage ist, auch bei Ausfall eines Beckens oder einer Pumpe weiterhin effizient zu arbeiten, was den Anforderungen an die Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit entspricht.

## **7 Auswertung der Varianten**

Die Berechnung zeigt, dass die jetzigen Nachklärbecken aktuell unterdimensioniert sind. Beide Varianten würden dieser Unterdimensionierung entgegenwirken. Dies käme der Betriebssicherheit und der Reinigungsleistung zugute und würde die gesetzlichen Vorgaben einhalten. Die Erweiterungsvariante ist die kostengünstigste Variante. Dafür ist die Variante mit dem zusätzlichen Becken für die Betriebssicherheit die bessere Wahl. Damit eine Variante favorisiert werden kann, wird eine Entscheidungsmatrix erstellt. In dieser Entscheidungsmatrix werden diverse Kriterien bestimmt und eine Gewichtung für die jeweiligen Kriterien gegeben. Dadurch wird eine der Varianten mehr Punkte erhalten und kann somit als Favorit bestimmt werden.

### **7.1 Kriterien für die Entscheidungsmatrix**

#### **Wirtschaftlichkeit**

Die Schweizer Zucker AG ist eine Aktiengesellschaft und muss daher einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb sicherstellen. Der Umbau der Nachklärung wird der Schweizer Zucker AG keine zusätzlichen Renditen bringen. Allerdings wird ein eventueller Produktionsunterbruch bei einem Störfall minimiert, wodurch Kosten eingespart werden können.

#### **Anlagenverfügbarkeit**

Die Anlagenverfügbarkeit ist ein entscheidendes Kriterium in der Produktionsplanung und -steuerung. Sie gibt an, wie oft und wie lange eine Anlage betriebsbereit ist und somit zur Produktion beitragen kann. Eine hohe Anlagenverfügbarkeit bedeutet, dass die Anlage selten ausfällt und schnell wieder in Betrieb genommen werden kann, was zu einer kontinuierlichen und effizienten Produktion führt.

#### **Wartungsaufwand**

Dieses Kriterium bewertet den Aufwand und die Kosten für die regelmässige Wartung und Instandhaltung der Anlage. Eine Variante mit niedrigeren Wartungskosten und weniger häufigen Wartungsintervallen ist vorteilhafter, da sie weniger Ressourcen und Personal erfordert.

#### **Flexibilität**

Die Fähigkeit der Anlage, sich an veränderte Bedingungen oder Anforderungen anzupassen.

#### **Umweltverträglichkeit**

Die Auswirkungen der Option auf die Umwelt, einschliesslich Energieverbrauch und Emissionen.

## 7.2 Auswertung der Kosten

Die untenstehende Tabelle vergleicht die Baukosten und Betriebskosten der beiden Varianten: Erweiterung und drittes Becken. Diese Vergleichstabelle ist ein wesentlicher Bestandteil der Entscheidungsfindung, weil sie die Grundlage für die Bewertung der Kriterien Wirtschaftlichkeit und Wartungsaufwand in der Entscheidungsmatrix bildet. Durch die detaillierte Analyse der Bau- und Betriebskosten können fundierte Entscheidungen getroffen werden, welche sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch den Wartungsaufwand berücksichtigen. Dies hilft, die langfristige Effizienz und Nachhaltigkeit der gewählten Variante sicherzustellen.

<b>Kosten Analyse der beiden Varianten</b>			
	<b>Variante Erweiterung</b>	<b>Variante drittes Becken</b>	<b>Unterschied (Divergenz)</b>
<b>Baukosten</b>	341'000	333'000	-9'000
<b>Anschaffungskosten</b>	140'360	358'306	+217'946
<b>Betriebskosten pro Jahr</b>	10'671	11'831	+1'160
<b>Wartungskosten pro Jahr</b>	10'641	13'420	+2'779

*Tabelle 9 Kostenübersicht der Varianten*

## 7.3 Vor- und Nachteile

### **Variante Erweiterung**

#### Vorteile

- Niedrigere Baukosten
- Geringere Anschaffungskosten
- Niedrigere Betriebskosten
- Geringerer Wartungsaufwand

#### Nachteile

- Geringere Anlagenverfügbarkeit
- Weniger Flexibilität bei Störfällen

### **Variante drittes Becken**

#### Vorteile

- Höhere Anlagenverfügbarkeit
- Bessere Störfallversorgung
- Höhere Flexibilität

#### Nachteile

- Höhere Baukosten
- Höhere Anschaffungskosten
- Höhere Betriebskosten
- Höherer Wartungsaufwand

### 7.4 Entscheidungsmatrix

Gesamtbe. = (Kosten × 40) + (Anlagenverfügbarkeit × 20) + (Wartungsaufwand × 10) + (Flexibilität × 5) + (Umweltverträglichkeit × 25)

	Gewichtung (%)	Variante A: Erweiterung	Variante B: Drittes Becken
<i>Wirtschaftlichkeit</i>	40	5	2
<i>Anlagenverfügbarkeit</i>	20	2	5
<i>Wartungsaufwand</i>	10	5	1
<i>Flexibilität</i>	5	3	4
<i>Umweltverträglichkeit</i>	25	3	5
<i>Gesamtbewertung</i>	100	380	335

## **8 Fazit und Schlusswort**

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen deutlich, dass die bestehenden Nachklärbecken die anfallen Abwässer nicht mehr ausreichend reinigen können. Die Analyseergebnisse zeigen, dass sich die Abwassermenge und die Trockensubstanz im Belebungsbecken im Vergleich zu den Berechnungen aus dem Jahr 2010 um ca. 24% erhöht haben.

Diese Zunahme stellt eine erhebliche Herausforderung für die bestehende Infrastruktur dar. Zudem stellte sich heraus, dass die ursprünglich angenommene Trockensubstanz von 5 g/l nicht realistisch ist. Tatsächlich wird die Abwasserbehandlung derzeit mit einer Trockensubstanz von 8,5 g/l betrieben, was die Belastung der Anlagen weiter erhöht. Die neuen Berechnungen zeigt, dass die Beckenoberfläche um 58% zu klein ist, um die gestiegenen Anforderungen zu bewältigen. Diese Unterdimensionierung führt dazu, dass bei hohen Abwassermengen die Nachklärbecken hydraulisch überlastet werden können. Eine solche Überlastung kann zu unerwünschten Strömungen im Nachklärbecken führen, die wiederum einen ungewollten Schlammabtrieb verursachen. Dieser Schlammabtrieb beeinträchtigt die Effizienz der Abwasserreinigung erheblich und kann zu einer Verschlechterung der Wasserqualität führen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei verschiedene Ansätze zur Lösung dieses Problems untersucht. Die erste Variante, die als "Erweiterung" bezeichnet wird, sieht vor, die bestehenden Nachklärbecken zu vergrössern und zusätzliche Kapazitäten zu schaffen. Diese Variante wurde anhand einer Entscheidungsmatrix bewertet und als Favorit ausgewählt. Die Entscheidungsmatrix berücksichtigte verschiedene Kriterien wie Kosten, Anlagenverfügbarkeit, Wartungsaufwand, Flexibilität und Umweltverträglichkeit. Die Variante "Erweiterung" bietet mehrere Vorteile. Sie ermöglicht es, die benötigte Kapazitätssteigerung möglichst kostengünstig zu erreichen und gleichzeitig die Reinigungsleistung zu verbessern. Durch die Erweiterung der Beckenoberfläche kann einer hydraulischen Überlastung entgegengewirkt werden. Dadurch wird die Effizienz der Abwasserbehandlung deutlich gesteigert. Zudem trägt diese Lösung zur langfristigen Sicherstellung der Abwasserreinigung bei und unterstützt die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben und Umweltstandards.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen die Notwendigkeit einer Anpassung der bestehenden Nachklärbecken deutlich machen. Die Variante "Erweiterung" stellt eine effektive und wirtschaftliche Lösung dar, um den gestiegenen Anforderungen gerecht zu werden und die Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung nachhaltig zu verbessern.

## **9 Lessons learned**

Durch die Erstellung meiner Diplomarbeit, konnte ich meine erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten aus dem Studium der Energie- und Umwelttechnik erheblich vertiefen. Eine der grössten Herausforderungen bestand darin, die vorhandenen Daten korrekt auszulesen und zu analysieren. In diesem Bereich liegen auch die grössten potentiellen Fehlerquellen. Ein kleiner Fehler in der Datenauswertung kann zu erheblichen Abweichungen der Ergebnisse führen. Dies führt nachfolgend zur Verfälschung der gesamten Analyse. Die Analyse der aktuellen Anlage war ebenfalls anspruchsvoll. Es war notwendig, die Berechnungen aus dem Jahr 2010 in verschiedenen alten Dokumenten zu suchen und diese mit den aktuellen Daten zu vergleichen. Diese Aufgabe erforderte nicht nur technisches Wissen, sondern auch Geduld und Genauigkeit, um sicherzustellen, dass alle relevanten Informationen korrekt erfasst und interpretiert wurden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt war die Darstellung der erfassten Daten. Es war eine Herausforderung, die komplexen technischen Informationen so aufzubereiten, dass sie leserlich und verständlich sind. Dies erforderte eine klare Strukturierung und Visualisierung der Daten, damit die Ergebnisse auch nachvollzogen werden konnten. Insgesamt war die Arbeit an diesem Projekt äusserst interessant und lehrreich. Ich konnte mir ein tiefgehendes Verständnis über den Betrieb einer Abwasserbehandlungsanlage aneignen und wertvolle praktische Erfahrungen sammeln. Im Rahmen der Arbeit wurde mir bewusst, dass eine akribische Dokumentation der Betriebsdaten unerlässlich ist. Diese Daten bilden die Grundlage für jede Erweiterung oder jeden Neubau und sind entscheidend für die Planung und Optimierung der Anlagen.

Abschliessend kann ich sagen, dass die Diplomarbeit mein technisches Wissen erweitert hat. Des Weiteren hat Sie mir die Wichtigkeit von sorgfältiger Dokumentation und Datenanalyse im Bereich der Energie- und Umwelttechnik aufgezeigt. Diese Erfahrungen werden mir in meiner zukünftigen beruflichen Laufbahn von grossem Nutzen sein.

## **10 Verzeichnisse**

### **10.1 Literaturverzeichnis**

- Arbeitsblatt DWA-A-131 Einstufige Belebungsanlagen
- VSA-Kursordner A5 Biologische Behandlung
- Doktorarbeit: Optimaler Betrieb von Nachklärbecken unter besonderer Berücksichtigung der Schlammräumung (Von Roland Hollenstein)
- Formelsammlung für umwelttechnische Berufe

### **10.2 Quellenverzeichnis**

- [Zur Anwendung abwassertechnischer Kennzahlen im praktischen Kläranlagenbetrieb | Klärwerk.info \(klaerwerk.info\)](#)
- [Wasser-Wissen - Das Internetportal für Wasser und Abwasser](#)
- [VSA-Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute](#)
- [Schweizer Zucker AG](#)
- Interne Betriebsdatenbank
- KI-Tool für Satzstellung und Rechtschreibung
- Google Maps

### **10.3 Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1 Standort Aarberg .....	- 9 -
Abbildung 2 Auszug aus dem Leitsystem vom Reaktor.....	- 11 -
Abbildung 3 Auszug aus dem Leitsystem vom Schwemmwasser .....	- 12 -
Abbildung 4 Einleitbedingungen für die SZU .....	- 14 -
Abbildung 5 Abwasserbehandlungsanlage im Grien Aarberg.....	- 26 -
Abbildung 6 Aufbau der aktuellen Nachklärungsbecken .....	- 27 -

#### 10.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Kurzzeichen .....	- 16 -
Tabelle 2: Auswertung der Abwassermengen 2019-2023 .....	- 17 -
Tabelle 3: Auswertung der Abwasserbelastung Zulauf Aerobie 2019–2023 .....	- 18 -
Tabelle 4: Schlammproduktion aus dem Abbau organischer Stoffe 2018–2023 ( $Y = 0.5$ )- 19 -	
Tabelle 5: Schlammproduktion aus $Ca^{2+}$ -Fällung 2019-2023.....	- 19 -
Tabelle 6: Gesamte Schlammproduktion 2019–2023.....	- 20 -
Tabelle 7: Berechnung Schlammindex .....	- 20 -
Tabelle 8 Vergleich zwischen der Dimensionierungen 2010 und 2024 .....	- 25 -
Tabelle 9 Kostenübersicht der Varianten.....	- 41 -

### 10.5 Formelverzeichnis

Formel 1 Berechnung Flächenbeschickung.....	- 21 -
Formel 2 Berechnung Beckenoberfläche .....	- 22 -
Formel 3 Berechnung Trennzone .....	- 23 -
Formel 4 Berechnung Speicherzone .....	- 23 -
Formel 5 Berechnung Räumzone .....	- 24 -

## **11 Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich allen beteiligten Personen meinen herzlichen Dank aussprechen, die zur Erstellung dieser Arbeit beigetragen haben. Besonders danke ich Herrn Michael Schulze, Leiter der Zuckertechnologie, der mir bei inhaltlichen Fragen stets zur Seite stand. Ebenso möchte ich meinem Diplombetreuer, Herrn Jürg Rickli, für die konstruktive und lehrreiche Zusammenarbeit danken.

## **12 Selbständigkeitserklärung**

**Ich bestätige, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst und alle benutzten Quellen gekennzeichnet habe. Diese Arbeit wurde weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits einer Prüfungskommission vorgelegt.**

**Name / Vorname:**

Steiner Michael

**Ort / Datum / Unterschrift:**

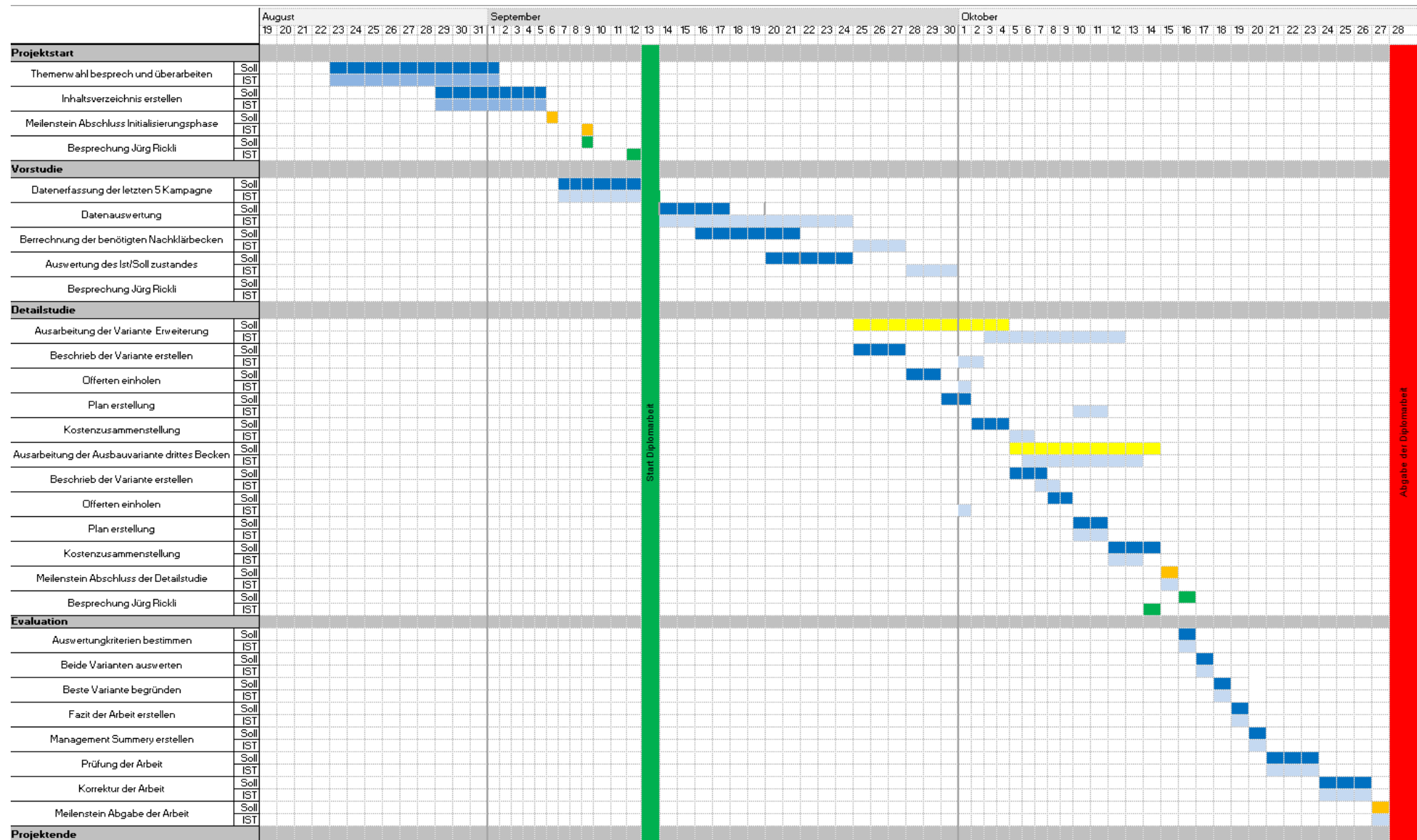
Grafenried, 27.10.2024



## **13 Anhang**

- Terminplan
- Themeneingabe
- Dimensionierungsgrundlage 2010
- Auslegung der bestehenden Becken
- Offerten

# Terminplan



## Themeneingabe

Steiner  
Michael  
Stöckgasse 48, 3308 Grafenried  
079 602 76 96  
michael.steiner2@edu.teko.ch  
B-TEU 21  
Schweizer Zucker AG

### Vorschlag Diplomarbeit

<b>Diplomwunsch</b>	<b>Auslegung der Nachklärbecken</b>
<b>Themabeschreibung</b>	<p>Weshalb mache ich diese Aufgabenstellung zum Thema?</p> <p>Die Schweizer Zucker AG betreibt in Aarberg eine Zuckerfabrik. In den letzten zehn Jahren hat sich die Rübenqualität stetig verschlechtert. Dies ist auf das Pestizidverbot zurückzuführen. Durch die Verschlechterung, weisen die Rüben einen erhöhten Wassergehalt aus. Dieses Wasser wird zuerst verdampft und danach wieder kondensiert. Das kondensierte Wasser wird der Betriebsinternen Kläranlage zugeführt. Diese mehr Menge an Abwasser führte bei der letzten Reinigungsschritt in den Nachklärbecken zu erhöhten Schlammabtrieb. Durch dies werden im Schlamm gebundene Schadstoffe in das Gewässer eingeleitet.</p> <p>Welches Ziel will ich erreichen?</p> <p>Durch das Erfassen der Betriebsdaten und der Berechnung der benötigten Kapazität, soll der Handlungsbedarf im Bereich Kläranlage der Geschäftsleitung aufgezeigt werden können. Somit könnte die Schweizer Zucker AG handeln, bevor es etwaige Auflagen durch das Amt für Wasser und Abfall gibt. Auch die Betriebssicherheit würde durch einen Um- oder Neubau erhöht werden.</p> <p>Wie soll das Ergebnis der Arbeit konkret aussehen?</p> <p>Damit der Schlammabtrieb verhindert werden kann, benötigt es eine neue Auslegung der Nachklärbecken. Damit die Nachklärbecken richtig berechnet werden können, müssen die Betriebsdaten der letzten Jahre erfasst und ausgewertet werden. Mit den erfassten Betriebsdaten werden die Nachklärbecken mit Hilfe des Arbeitsblatt DWA-A-131 neu berechnet.</p> <p>Nach den Berechnungen werden verschiedene Um- oder Neubauvarianten aufgezeigt und eine Kosteneinschätzung +/- 30% erstellt. Durch das Bewerten der vorhandenen Varianten soll ein Variant priorisiert werden.</p> <p>Was liegt bei Auftragsende vor?</p> <p>Der Bericht soll der Handlungsbedarf im Bereich Kläranlage aufzeigen. Des weiteren sollen Lösungsansätze mittels Berechnungen und Kosteneinschätzungen vorliegen. Somit könnte die Schweizer Zucker AG die Kosten in ihren Masterplan implementieren.</p>
<b>Kunde</b>	<p>Die Arbeit wird im Auftrag der Schweizer Zucker AG in Aarberg durchgeführt. Durch die Arbeit soll die Betriebsinterne Kläranlage optimiert werden und so an Betriebssicherheit gewinnen.</p>

<b>Erfolgskriterien</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Durch die Erhebung der Betriebsdaten und der Berechnung soll der Handlungsbedarf aufgezeigt werden.</li><li>- Es werden potenzielle Um oder Neuvarianten erarbeitet</li><li>- Die Varianten werden wirtschaftlich und ökologisch bewertet.</li><li>- Durch eine Entscheidungsmatrix und mittels Begründung wird eine Variante priorisiert.</li></ul>
-------------------------	--

Dimensionierungsgrundlage 2010

Parameter	Dim.	Auslegungsgrösse	
		Mittelwert	Bemessung
<b>Hydraulik</b>			
Abwassermenge	m <sup>3</sup> /d	4'650	5'280
Abwassermenge	m <sup>3</sup> /h	194	220
<b>Schmutzfrachten Zulauf Biologie</b>			
BSB5	kg/d	1'125	1'580
CSB	kg/d	2'250	3'160
Abfiltrierbare Stoffe	kg/d	0	0
TKN	kg/d	433	472
NH <sub>4</sub> -N	kg/d	390	425
NO <sub>x</sub> -N	kg/d	4.7	5.3
P <sub>tot</sub>	kg/d	15.5	19.5
BSB5	mg/l	242	299
CSB	mg/l	484	599
Abfiltrierbare Stoffe	mg/l	0	0
TKN	mg/l	93	89
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	84	80
NO <sub>x</sub> -N	mg/l	1.0	1.0
P <sub>tot</sub>	mg/l	3.3	3.7

A

## Auslegung der bestehenden Becken

**Tabelle 12: Auslegung des einstrassigen NKB-Betriebes.**

Beckenabmessungen	Dim.	
Anzahl Strassen	-	1
Beckenlänge	m	21.00
Beckenbreite	m	6.00
Wassertiefe	m	4.50
Beckenvolumen pro Strasse	m <sup>3</sup>	567
Beckenvolumen total	m <sup>3</sup>	567
Oberfläche pro Strasse	m <sup>2</sup>	126
Oberfläche total	m <sup>2</sup>	126
Schlammkonzentration	kg/m <sup>3</sup>	5.00
Schlammvolumenindex	ml/g	80

Betriebsparameter	Dim.	Ausbauziel	
		Mittelwert	Bemessung
Maximale Zuflussmenge bei TWA	m <sup>3</sup> /h	136	160
Aufenthaltszeit bei TWA max.	h	4.2	3.5
Oberflächenbeschickung TWA max.	m/h	1.08	1.27
Schlammvolumen-OFB TWA max.	l/m <sup>2</sup> *h	431	508

Offerten Baumeisterarbeiten



Müller Aarberg AG  
 Bauunternehmung  
 Postfach 45  
 3270 Aarberg  
 Tel. 032 391 74 10  
 mueller@mueller-aarberg.ch  
 www.mueller-aarberg.ch

Büro/Werkhof Barga  
 Neuenburgstrasse 46  
 3282 Barga

**Kostenschätzung Baumeisterarbeiten 24051 B**

**Bauobjekt: Zusätzliches Nachklärbecken**

**Bauherr:** Schweizer Zucker AG  
 Michael Steiner  
 Radelfingenstrasse  
 3270 Aarberg

**Unternehmer:** Müller Aarberg AG  
 Bauunternehmung  
 Postfach 45  
 3270 Aarberg

**Sachbearbeiter:** Florian gautschi

<b>Bruttosumme</b>		<b>Fr.</b>	<b>333'000.00</b>
Mehrwertsteuer	8.1%	Fr.	26'973.00
<b>Nettosumme inkl. Mehrwertsteuer</b>		<b>Fr.</b>	<b>359'973.00</b>

Es gelten die Bestimmungen der SIA-Norm 118.

Offerte



Müller Aarberg AG  
 Bauunternehmung  
 Postfach 45  
 3270 Aarberg  
 Tel. 032 391 74 10  
 mueller@mueller-aarberg.c  
 www.mueller-aarberg.ch

Büro/Werkhof Barga  
 Neuenburgstrasse 46  
 3282 Barga

**Kostenschätzung Baumeisterarbeiten 24051 A**

**Bauobjekt: Erweiterung Nachklärbecken**

Bauherr: Schweizer Zucker AG  
 Michael Steiner  
 Radelfingenstrasse  
 3270 Aarberg

Unternehmer: Müller Aarberg AG  
 Bauunternehmung  
 Postfach 45  
 3270 Aarberg

Sachbearbeiter: Florian gautschi

<b>Bruttosumme</b>		<b>Fr.</b>	<b>341'000.00</b>
Mehrwertsteuer	8.1%	Fr.	27'621.00
<b>Nettosumme inkl. Mehrwertsteuer</b>		<b>Fr.</b>	<b>368'621.00</b>

Es gelten die Bestimmungen der SIA-Norm 118.