

**Projekthandbuch 2****Klärwerk Gut Marienhof  
Erneuerung der Verfahrens- und Anlagentechnik in der Biologie****Inhaltsverzeichnis**

1.	Bedarf .....	2
1.1	Bedarfsgrund (Anlass und Notwendigkeit) .....	2
1.1.1	Mangelnde Stickstoffelimination .....	2
1.1.2	Veraltete Anlagenkomponenten .....	3
1.2	Bedarfsumfang .....	3
2.	Planungskonzept .....	5
2.1	Verfahrenstechnik .....	5
2.1.1	Variantenuntersuchung der Biologien .....	5
2.1.2	Luftmengenberechnung .....	10
2.1.3	Beschickung der Becken .....	10
2.1.4	Regelung Rückpassmenge .....	11
2.2	Bautechnik .....	11
2.3	Maschinen- und Anlagentechnik .....	13
2.3.1	Erneuerung Belüftungseinrichtungen und Luftregelarmaturen .....	13
2.3.2	Erneuerung Rührwerke .....	14
2.3.3	Messschächte .....	14
2.3.4	Pumpen .....	16
2.3.5	Rohabwasser-Bypass und Kaskaden-Beschickung .....	16
2.3.6	Räumschilde/Zugarme in den Nachklärbecken .....	16
2.3.7	Keilschieber an den Sternschächten und im Belebtschlammkreislauf .....	16
2.3.8	Austausch gehäuseloser Absperrarmaturen .....	17
2.3.9	Methanoldosierung für Biologie 2 .....	17
2.3.10	Rundbeckenräumer: Mittellager und Lager Schleifringkörper .....	17
2.3.11	Provisorien .....	17
2.4	Elektrotechnik .....	18
3.	Dringlichkeit .....	18
4.	Gegebenheiten des Grundstücks .....	18
5.	Rechtliche Bauvoraussetzungen .....	19
6.	Klimaprüfung .....	19
7.	Kosten .....	19
8.	Steuern .....	19
9.	Finanzierung .....	20

**Anlagen**

- A) Termin- und Mittelbedarfsplan
- B) Folgekosten
- C) Lageplan

## 1. Bedarf

### 1.1 Bedarfsgrund (Anlass und Notwendigkeit)

Für das vorgenannte Projekt wurde mit der Bedarfsgenehmigung vom 06.12.2018 der Planungsauftrag erteilt. Die Vorprojektgenehmigung erfolgte mit Beschluss der Werkleitung vom 24.05.2023. Die Entwurfsplanungsunterlagen und das Projekthandbuch 2 wurden erarbeitet. Der Entwurf für das Projekt wird hiermit zur Genehmigung vorgelegt.

Der Gesamtstickstoff wird in den Kläranlagen durch die biologischen Prozesse der Nitrifikation und der Denitrifikation abgebaut. Während die Nitrifikation ausschließlich in den biologischen Reinigungsstufen der beiden Klärwerke erfolgt, findet die Denitrifikation sowohl in den biologischen Reinigungsstufen als auch in den Sandfilteranlagen statt. Die Denitrifikation in den Sandfiltern über die Zugabe von Methanol wird in absehbarer Zeit so nicht mehr zur Verfügung stehen, da diese für die neuen bzw. strengeren Anforderungen an die Spurenstoff- und Phosphorelimination aus der EU-Kommunalabwasserrichtlinie (EU-KARL) genutzt werden müssen. Die Denitrifikation muss an andere Stelle verlagert werden und verstärkt in den vorgeschalteten biologischen Stufen stattfinden.

Ziel der hier beschriebenen Maßnahme ist die Erhöhung der Betriebssicherheit in der biologischen Stufe durch Optimierung der Verfahrenstechnik hinsichtlich Stickstoffelimination in den bestehenden Belebungsbeckenvolumen bei gleichzeitiger Erneuerung der Anlagentechnik. Des Weiteren soll der Sandfilter hinsichtlich der Restdenitrifikation durch Methanoldosierung entlastet werden.

Die Umsetzung soll schrittweise von 2026 bis 2032 erfolgen, um den Umbau im laufenden Betrieb gewährleisten zu können.

#### 1.1.1 Mangelnde Stickstoffelimination

Das Klärwerk Gut Marienhof ist vor 35 Jahren als zweistufige Kläranlage in Betrieb gegangen. Die erste Biologische Stufe wurde vornehmlich zum Kohlenstoffabbau, die zweite Stufe zur Nitrifikation des Ammoniumstickstoffs konzeptioniert. Aufgrund geänderter Mindestanforderungen der Ablaufqualität wurde über die Jahre die Anlage verfahrenstechnisch so umgestaltet, dass eine weitgehende Denitrifikation bzw. ein rechtlich geforderter Ablaufwert an Gesamtstickstoff ( $N_{\text{ges}}$ ) < 13 mg/l erreicht wird. Maßnahmen hierfür waren die Methanolzugabe im Sandfilter zur Restdenitrifikation und die Rückführung von nitrathaltigem Abwasser aus der Nachklärung in die erste Biologische Stufe. Nach Problemen mit der Denitrifikation im Sandfilter erfolgte die Realisierung einer angepassten Denitrifikation in der zweiten Biologischen Stufe durch einen Rohabwasser-Bypass, welcher Rohabwasser direkt nach der Vorklärung unter Umgehung der Biologie 1 in die Biologie 2 leitet.

Folgende Faktoren erfordern Optimierungsmaßnahmen in der biologischen Reinigung:

- Hydraulische Engpässe (aufgrund der Rückführung des nitrathaltigen Abwassers aus der Nachklärung in die erste Biologische Stufe)
- Niedriger Trockensubstanz (TS)-Gehalt in der Belebungs 2. Stufe
- Sauerstoffverschleppung in unbelüftete Zonen durch den seitlichen Zulauf über Zackenüberlaufrippen und Walzenbildung zwischen belüfteten und unbelüfteten Bereichen aufgrund fehlender Trennwände
- Schlechte Durchmischung von Abwasser und Schlamm aufgrund des seitlichen Abwasserzulauf über Zackenwehr)
- Veraltete Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (u.a. schlechtes Regelverhalten der vorhandenen Luftregelklappen)
- Hoher Energie- und Ressourcenverbrauch (Methanol) und damit entsprechend hohe Betriebskosten

Aus diesen Gründen wurde 2015 eine Studie zur Optimierung der Stickstoffelimination auf dem Klärwerk Gut Marienhof unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit des Sandfilters bei erhöhter P-Elimination, der Energieeffizienz, der Reduzierung von externen Kohlenstoffquellen und des prognostizierten starken Einwohnerzuwachses in Auftrag gegeben. In dieser Studie wurden zur Verbesserung der Stickstoffelimination in den Biologischen Stufen und Entlastung der Restdenitrifikation im Sandfilter unterschiedliche Varianten untersucht und bewertet. Die Varianten mit umfassender Umgestaltung des Klärwerks (z. B. zum einstufigen Belebungsverfahren, mit Zweckentfremdung von Absetzbecken für die Denitrifikation oder mit Schlammvorversäuerung) wären nur mit sehr umfangreichen Baumaßnahmen zu realisieren und wurden zunächst verworfen.

Empfohlen wurde in der Stickstoffstudie eine Variante, die eine zusätzliche nachgeschaltete Denitrifikationszone in der zweiten Biologischen Stufe vorsieht und die mit Hilfe zeitweiser Methanoldosierung sowie optimierter Verfahrens-, Mess- und Regeltechnik zu einer deutlichen Entlastung der Denitrifikation im Sandfilter, ohne große Umbaumaßnahmen, führen würde. Diese Variante wurde in der Vorplanung untersucht.

### **1.1.2 Veraltete Anlagenkomponenten**

Die Betriebszeit der Anlagentechnik liegt mittlerweile bei 35 Jahren (Inbetriebnahme 1989). Insbesondere die im Nassbereich und im Erdreich installierten Absperrarmaturen sind in einem schlechten Zustand, schwergängig bis nur sehr schwer bedienbar.

Trocken installierte Armaturen mit sehr großen Nennweiten (bis DN1200) sind nach 35 Jahren Betriebszeit ebenfalls in schlechtem Zustand. Bislang wurden nur die Zulaufregelklappen der Zwischenklärung und der Nachklärung im Zuge anderer Maßnahmen 2010 bis 2014 saniert.

Grundsätzlich ist die Ersatzteillage nicht sicher, da teilweise Hersteller nicht mehr existieren oder Ersatzteile nicht mehr hergestellt werden.

Die Überschussschlammumpen haben durch hohen Verschleiß eine verkürzte Lebensdauer und müssen regelmäßig ausgetauscht werden.

An der Methanoldosierstation konnte kein dringender Bedarf festgestellt werden. Sämtliche Armaturen sind aus Edelstahl und in einem guten Zustand. Die Pumpen sind funktionstüchtig und können gegebenenfalls vom Betrieb schnell getauscht werden.

Die Belüftungstechnik ist nicht mehr Stand der Technik und im Hinblick auf die notwendige Optimierung der Verfahrenstechnik zu erneuern. Die Luftregelklappen haben eine schlechte Regelcharakteristik und eine Durchflussregelung ist derzeit nur bedingt möglich. Dahingehend sind diese hinsichtlich Energieverbrauch ineffizient.

Die 1989 installierten Luftverteilerregister im Belebungsbecken der zweiten Biologie sind zum Teil unvollständig und die Anschlussgewinde sind durch die ursprünglich installierten schweren Keramikkerzen ausgeleiert. Eine Abdichtung ist trotz aufwendiger Adapter-Stücke nicht immer, bzw. nur mit großem Aufwand möglich.

Die Belüfter der ersten Biologie mussten vorzeitig in 2023 ausgetauscht werden, da das Ende der Lebensdauer der Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk der M-Gruppe (EPDM)-Rohrbelüfter erreicht war. Hierbei wurden auch die Verteilerregister ausgetauscht.

## **1.2 Bedarfsumfang**

Schwerpunkt der Maßnahme ist die Optimierung der Verfahrenstechnik und Erneuerung der Anlagentechnik im Bereich der Belebungsbecken der Biologien (1. und 2. Biologische Reinigungsstufe - siehe Anlage 3) im Klärwerk Gut Marienhof zum Erhalt der Betriebssicherheit.

Ein wesentlicher Bestandteil ist die Erneuerung der Anlagentechnik (Aggregate, Armaturen, Rohrleitungen) aller Anlagenteile dieses Bereichs, der im Wesentlichen aus folgenden Anlagenteilen besteht:

- Belebungsbecken der ersten Biologischen Reinigungsstufe (BBSt1)
- Belebungsbecken der zweiten Biologischen Reinigungsstufe (BBSt2)
- Zwischenklärbecken (ZKB)
- Nachklärbecken der ersten und zweiten Stufe (NKBS1+2)
- Entleerungspumpwerke Zwischenklärung, Nachklärung Stufe 1 und 2 (NKSt1+2)
- Messschächte 1 und 2 (MS1+2)
- Zulauf- und Ablaufmessschächte Zwischenklärung, Nachklärung Stufe 1 und 2
- Rohabwasserverteilschächte 1 und 2 (RAV1+2)
- Sternschächte (STS) Zwischenklärung, Nachklärung Stufe 1 und 2
- Messschacht Belebtschlammkreislauf
- Vorschächte Nachklärung

Die Biologischen Stufen sind zur Einhaltung der wasserrechtlich geforderten Ablaufwerte zwingend erforderlich - auch während des Umbaus. Einzuhaltende Stickstoffwerte im Ablauf sind:

- Gesamtstickstoff ( $N_{ges}$ )  $\leq 13$  mg/l im Zeitraum vom 01.05. - 31.10. und
- Ammonium-Stickstoff ( $NH_4-N$ )  $\leq 2,3$  mg/l im Zeitraum vom 01.04. - 31.10.
- $P_{ges} \leq 0,5$  mg/l ganzjährig

Alle Umbaumaßnahmen müssen im laufenden Betrieb nach enger Abstimmung mit dem Betriebspersonal erfolgen. Hinsichtlich eventuell notwendiger Umleitung der Abwassermengen sind auch mit dem Klärwerk Gut Großlappen Abstimmungen zu treffen.

Parallel zum Projekt wurde die strategische Ausrichtung der Abwasserreinigungsprozesse im Klärwerksverbund an zukünftige Anforderungen betrachtet und bewertet. Dies erfolgte im Konzept „Langfristiger verfahrenstechnischer Optimierungs- und Anpassungsbedarf der Abwasserreinigungsprozesse in beiden Klärwerken der Münchner Stadtentwässerung“ (Beschluss des Stadtentwässerungsausschusses vom 30.04.2024 (VB) und Beschluss der Vollversammlung des Stadtrates vom 03.07.2024 mit Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 12817). Im Rahmen dieses Konzeptes wurde verdeutlicht, dass das Klärwerk II an seiner Belastungsgrenze arbeitet und weder Einwohnerzuwächse noch zukünftige erhöhte Anforderungen an die Ablaufgrenzwerte (insbesondere für Stickstoff) bewältigen kann. Ein Verzicht auf die Sandfilterdenitrifikation – als Voraussetzung zur Implementierung einer 4. Reinigungsstufe – ist mit vorhandenen Belebungsbeckenvolumina ebenfalls nicht zu realisieren. Mit der Änderung der EU-Kommunalabwasserrichtlinie (EU-KARL) und der damit erforderlichen Verpflichtung zum Betrieb einer 4. Reinigungsstufe sowie der Grenzwertverschärfungen beim Stickstoff ist eine signifikante Erweiterung des Klärwerks Gut Marienhof unabdingbar. Neben diesen Einflüssen werden bei der Dimensionierung / Auslegung der zukünftigen biologischen Kapazitäten auch Bevölkerungszuwächse Berücksichtigung finden.

Für die Planung des hier vorliegenden Projektes wurde angenommen, dass die Erweiterung aus dem Konzept, welche über ein separates Projekt abgewickelt wird, so gewählt wird, dass die derzeitigen Anforderungen bewältigt werden und der mit diesem Projekt optimierte und erneuerte Bestand auch zukünftig weiter genutzt wird. Die Maßnahmen innerhalb des Projekts dienen somit vorrangig der Sicherstellung der Betriebsfähigkeit der Anlage und Prozessstabilisierung des an der Belastungsgrenze betriebenen Klärwerks bis zur Umsetzung der Erweiterung und darüber hinaus.

Die mit der EU-KARL einhergehenden verschärften Anforderungen an die Ablaufgrenzwerte führen zu zusätzlichen, vermutlich größeren Erweiterungsvarianten. Der Umfang der Weiternutzung des Bestandes klärt sich erst im weiteren Planungsverlauf der Erweiterung des Klärwerks. Vor diesem Hintergrund wurde vor Erstellung des hier vorliegenden Projekthandbuchs 2 überprüft, welche Maßnahmen zur Aufrechterhaltung eines sicheren Betriebs unbedingt erforderlich sind und ob es Maßnahmen dieses Projektes gibt, die eventuell verschoben werden oder ggf. erst bei Bedarf

durchgeführt werden können. Dabei haben sich nach Abstimmung mit dem Betrieb Reduzierungen am Projektumfang ergeben.

Auch wurde die aufwendige Optimierung der Verfahrenstechnik nochmals überprüft bzw. gerechtfertigt. Auf die Umsetzung der verfahrenstechnischen Optimierung durch eine Kaskaden-Denitrifikation soll nicht verzichtet werden, da deren Umsetzung die Betriebssicherheit bis zur Realisierung der Erweiterung sicherer gewährleistet als die Bestands-Verfahrenstechnik.

## 2. Planungskonzept

Das Ziel des Projekts war ursprünglich, einen möglichst einheitlichen Stand hinsichtlich der Lebensdauer der Anlagen- und Verfahrenstechnik herzustellen. Demnach sollte die Anlagentechnik, die keinen Einfluss auf die Verfahrenstechnik hat, 1:1 erneuert werden. Aufgrund der anstehenden Erweiterung des Klärwerks wurden einige in der Vorplanung berücksichtigte Maßnahmen vorerst in Folgeprojekte verschoben. Die Verfahrenstechnik der biologischen Stufen ist hinsichtlich der Stickstoffelimination so weit als möglich auf den Stand der Technik zu optimieren. Grundsätzlich soll die Optimierung in den bestehenden Beckenvolumina stattfinden. Demnach waren - von Anfang an - keine größeren Maßnahmen, wie die Schaffung zusätzlicher Belebungsvolumen, geplant gewesen.

Es wurde im Rahmen der Vorplanung untersucht, ob zusätzlich zum Umbau der Belebung in Ergänzung mit kleineren Maßnahmen an der Nachklärung oder mit alternativen Belebungsverfahren (wie z. B. Biofilmverfahren) auf die Denitrifikation im Sandfilter möglichst verzichtet werden kann, um den Sandfilter anderweitig (z. B. als 4. Reinigungsstufe oder für eine erhöhte Phosphor-Elimination) nutzen zu können. Folgende untersuchte Maßnahmen waren nur bedingt erfolgversprechend und wurden bereits in der Vorplanung insbesondere vor dem Hintergrund der anstehenden Erweiterung des Klärwerks verworfen:

- Biofilmverfahren (MABR, S-Select, IFAS)
- Optimierung der zweistufigen Nachklärung
- Einstufige Nachklärung

### 2.1 Verfahrenstechnik

#### 2.1.1 Variantenuntersuchung der Biologien

Der 1. Biologischen Stufe läuft das Abwasser aus der Vorklärung ( $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  bis  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) inklusive Rückpass ( $0$  bis  $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und abzüglich des Bypasses ( $0$  bis  $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) in die 2. Biologische Stufe zu. Daraus ergibt sich eine Abwassermenge von  $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$  bis  $4,73 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die 1. Biologische Stufe ist in erster Linie eine Hochlastbiologie zur Kohlenstoff-Elimination. Der Kohlenstoff wird jedoch auch dazu genutzt, dass über die Rückführung zurückgeführte Nitrat zu denitrifizieren.

Die bestehende 1. Biologische Stufe besteht aus 4 Belebungsbecken mit jeweils 3 Kammern, die vom Abwasser nacheinander durchströmt werden. Das Abwasser wird über Vor-Kopf-Schieber (stirnseitig der ersten Kammer) zugeleitet. Ebenso erfolgt die Zuführung des Rücklaufschlammes vor Kopf in der ersten Kammer. Die erste Hälfte der Kammer 1 ist eine permanente (unbelüftete) Denitrifikations (DN)-Zone, die über das Verschließen von Handarmaturen bis zum Ende der ersten Kammer erweitert werden kann. In dieser unbelüfteten Zone wird denitrifiziert, d.h. das über die Rückführung zugeführte Nitrat (das in der zweiten biologischen Stufe aus Ammonium entsteht) wird mit Hilfe des Kohlenstoffs aus dem zulaufenden Abwasser unter Ausschluss von Sauerstoff denitrifiziert (zu gasförmigem Stickstoff). Die Kammern 2 und 3 werden permanent belüftet, wodurch hauptsächlich der Abbau der Kohlenstoffverbindungen erfolgt.

Für die Biologie 1 ist aufgrund der vorhandenen Anlagenkonzeption nur die vorgeschaltete Denitrifikation (DN) sinnvoll möglich. In der Entwurfsplanung wird daher für die Biologie 1 wieder eine vorgeschaltete Denitrifikation vorgesehen. Die Zu- und Abschaltung der Belüftung der Kammer 1 soll wie in der bestehenden Anlage stufenweise, per Handarmaturen erfolgen, so dass bis zu 33 % des Gesamtbeckenvolumens zur Denitrifikation verwendet werden kann.

Die vorgeschaltete DN-Zone wird mit einer Trennwand abgetrennt. Die DN-Zone wird mit zwei Rührwerken umgewälzt, um das Absetzen des unbelüfteten Schlammes zu verhindern.

In der Biologie 1 sind in der Kammer 1 im hinteren Bereich aktuell 8 Abgänge zu Belüftungsregistern vorhanden. Da alle Absperrklappen in den Luftfallleitungen der ersten Biologie getauscht werden, kann über die neuen Absperrklappen in der Kammer 1 die DN-Zone je nach Bedarf (durch manuellen administrativen Eingriff) vergrößert und verkleinert werden. Da im vorderen Bereich der Kammer 1 immer denitrifiziert wird, wird hier keine Belüftung installiert, sondern Rührwerke. Der hintere Bereich der Kammer 1 soll in der gleichen Dichte mit Belüftern wie in den Kammern 2 und 3 ausgerüstet werden.

Aus den verfahrenstechnischen Berechnungen wurden die maximalen Sauerstoffverbräuche der einzelnen Lastfälle mittels stationärer Simulation ermittelt und hieraus die benötigte Anzahl an Belüfterelementen berechnet. Dabei wurde von denselben Belüftertypen (Rohrbelüfter) ausgegangen, wie sie aktuell im Bestand seit 2023 im Einsatz sind.

Im Unterschied zur Biologie 1 wird die Biologie 2 verfahrenstechnisch vollständig überplant. Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der verfahrenstechnischen Untersuchungen der Biologie 2 aus der Vorplanung wiedergegeben.

In der Vorplanung erfolgte zunächst die Berechnung der Leistungsfähigkeit des bestehenden Klärwerks, das anfallende Abwasser mit der derzeitigen verfahrenstechnischen Ausstattung zu reinigen (Nachweis Ist-Zustand). Darauf aufbauend wurden vier verfahrenstechnische Varianten für die Biologie 2 entwickelt und hierfür die verfahrenstechnischen Berechnungen nach der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft (DWA) hinsichtlich der möglichen Reinigungsleistung durchgeführt. Die Biologie 2 dient dem Stickstoffabbau, bestehend aus Nitrifikation (Ammonium wird zu Nitrat oxidiert) und Denitrifikation (Abbau von Nitrat zu gasförmigem Stickstoff).

Folgende Varianten wurden untersucht:

Variante 1: Kombination aus vorgeschalteter, nachgeschalteter und Kaskaden-Denitrifikation

Variante 2: Teil-Kaskaden-Denitrifikation

Variante 3: Simultane Denitrifikation

Variante 4: Vorgeschaltete Denitrifikation

Variante 1 wurde aufgrund der sehr komplexen Verfahrenstechnik (Kombination aus vorgeschalteter DN, nachgeschalteter DN und Kaskaden-DN, Kohlenstoffquellen-Dosierung (C-Quellen-Dosierung) an mehreren Stellen, Bypassregelung) mit großem Abstand niedriger bewertet als die übrigen Varianten. Da die Baukosten der Variante 1 in der gleichen Größenordnung wie der Varianten 2 und 4 liegen und Variante 1 hinsichtlich der Anlagenkriterien deutlich schlechter abgeschnitten hat, wurde diese für die weitere Bewertung ausgeschlossen. Variante 3 wurde nach einer kurzen Voruntersuchung als für das bestehende Klärwerk verfahrenstechnisch ungeeignet ausgeschlossen. Die Varianten 2 und 4 wurden in einer Multikriterienanalyse als gleichwertig bewertet. Hierbei wurden verfahrenstechnische Kriterien (Betreiberfreundlichkeit, Betriebssicherheit, Flexibilität), die technische Realisierbarkeit (bautechnisch, maschinentechnisch und elektrotechnisch), die zeitliche Umsetzbarkeit sowie wirtschaftliche Kriterien (Betriebskosten und Investitionskosten) betrachtet. Aufgrund der Gleichwertigkeit wurde in der Vorplanung entschieden eine **Kombination** aus den Varianten 2 und 4 zu untersuchen.

Zu Beginn der Entwurfsplanung wurde vom Planungsbüro eine Optimierung der Variante 2 (Variante 2A) vorgestellt, die eine reine Kaskaden-Denitrifikation darstellt, im Unterschied zur Variante 2 die einer Teil-Kaskaden-Denitrifikation entspricht. Der Unterschied besteht darin, dass bei Variante 2A der Abwasserzulauf auf 2 Kaskaden (gleich große Becken-Bereiche) aufgeteilt wird, was im Durchschnitt zu einem höheren Trockensubstanz-Gehalt (und damit höherer Bakterienmasse) in den Belebungsbecken führt. Anstatt 3,6 g/l können wegen des höheren Feststoffgehaltes in Kaskade 1 von 4,85 g/l im Mittel 4,2 g/l Feststoffgehalt in der Belebung erzielt werden. Dies führt zu einer Kapazitätssteigerung der Biologie um 15 % und damit zu einer zusätzlichen Absicherung der Nitrifikation bei niedrigen Abwassertemperaturen sowie mehr

Flexibilität zur Denitrifikation innerhalb der zweiten biologischen Stufe. Hierdurch wird eine deutliche Verbesserung der Betriebssicherheit im Vergleich zu den Varianten 2 und 4 erreicht. Von der MSE wurde deshalb beauftragt, die Kombination der Variante 2A mit der Variante 4 zu untersuchen.

Im Folgenden werden die Varianten 4, 2A und die Kombination daraus detailliert beschrieben. Zum besseren Verständnis der Unterschiede der Varianten zur Bestandsanlage wird allerdings zunächst die Bestandsanlage schematisch dargestellt (siehe Abbildung 1) und erläutert.

Die Bestandsanlage wird seitlich über Rinnen mit Abwasser beschickt. Der Rücklaufschlamm (RS) wird vor Kopf (stirnseitig in Kammer 1) zugegeben. Am Anfang der ersten Kammer und am Anfang der zweiten Kammer sind feste Denitrifikationszonen angeordnet. Nach der ersten DN-Zone sowie vor und nach der zweiten DN-Zone sind Zonen, in denen die Belüftung an und ausgeschaltet werden kann (also entweder nitrifiziert oder denitrifiziert werden kann). Der Bypass, welcher Abwasser direkt nach der Vorklärung (sogenanntes Rohabwasser) unter Umgehung der Biologie 1 in die Biologie 2 leitet, wird am Anfang der Kammer 2 in der DN-Zone zugegeben. Mit den im Rohabwasser enthaltenen Kohlenstoffverbindungen wird das Nitrat, das in den Nitrifikationszonen der zweiten Biologie entsteht und über den Rücklaufschlamm in die DN-Zone gelangt, von den Mikroorganismen unter Ausschluss von Sauerstoff zu Stickstoff denitrifiziert. Denitrifikation kann nur unter 3 Bedingungen stattfinden: es ist Nitrat vorhanden, es ist kein Sauerstoff vorhanden und es sind Kohlenstoffverbindungen verfügbar.

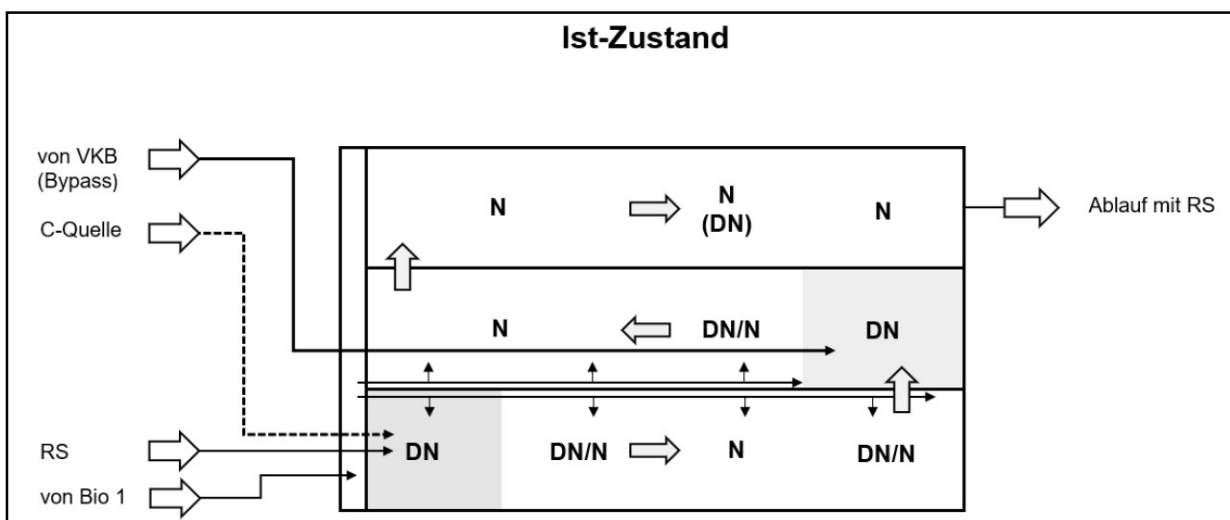


Abbildung 1: Schema Biologie Stufe 2 (Bestandsanlage)

Die nachfolgende

Abbildung 2 zeigt schematisch die Betriebsweise der vorgeschalteten Denitrifikation (VDN), Variante 4. In der Vorkammer der 2. Biologischen Stufe wird das Abwasser aus der Zwischenklärung der 1. Biologischen Stufe mit dem Bypass gemischt. Der Rücklaufschlamm wird direkt in den Zulauf der 2. Biologischen Stufe geleitet. Die C-Quellendosierung (als C-Quelle wird Methanol eingesetzt) erfolgt bereits im Sternschacht der Rücklaufschlammführung vor der Aufteilung auf die einzelnen Belebungsstraßen. Die ersten zwei Bereiche in der Kammer 1 können als dauerhafte DN-Bereiche ausgeführt werden. Danach folgen vier Wechselbereiche DN/N, die je nach Bedingungen als Nitrifikation oder Denitrifikation betrieben werden können.

Die DN-Zonen umfassen maximal 50 % des Belebungsvolumens.

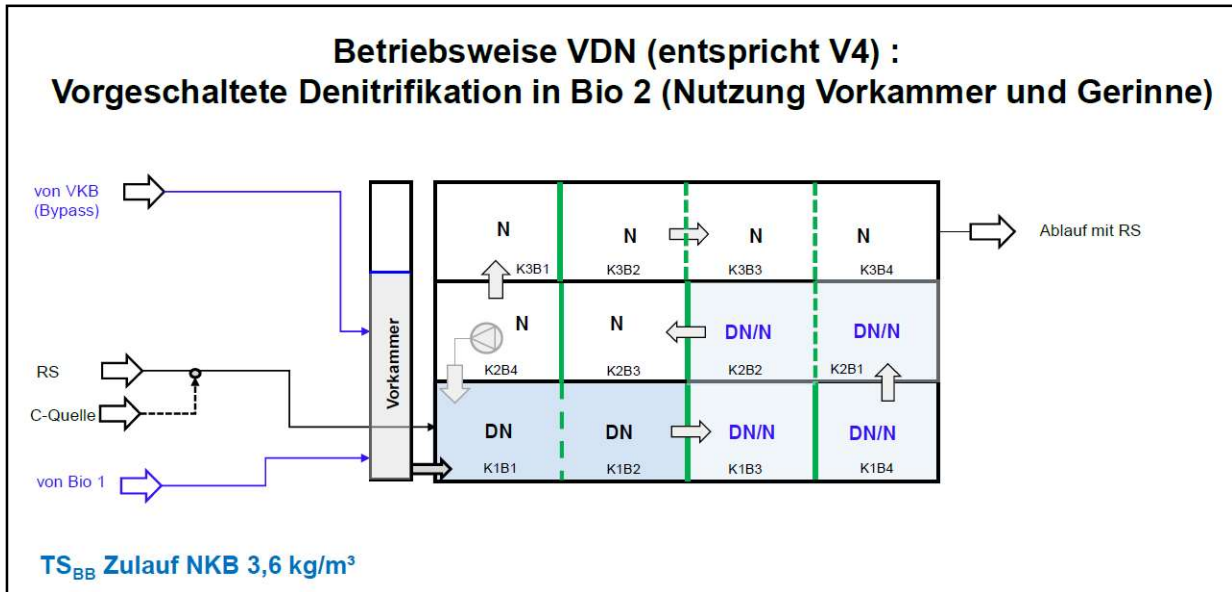


Abbildung 2: Biologie Stufe 2, Schema VDN (Variante 4)

Der Feststoffgehalt (TS-Gehalt) in der Belebung 2 ist durch die Leistungsfähigkeit der 2-stufigen Nachklärung auf 3,6 g/l begrenzt. Dies erfordert je nach Temperaturlastfall entsprechend große Beckenvolumina für die Nitrifikation und begrenzt damit die Möglichkeiten zur Denitrifikation.

Für die einzelnen Temperaturlastfälle wurde der Luftbedarf ermittelt. Aus den maximal benötigten Luftmengen für jeden einzelnen Beckenbereich wurde die Anzahl der benötigten Belüfter ermittelt.

Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt schematisch die Betriebsweise der Kaskadendenitrifikation (Variante 2A).

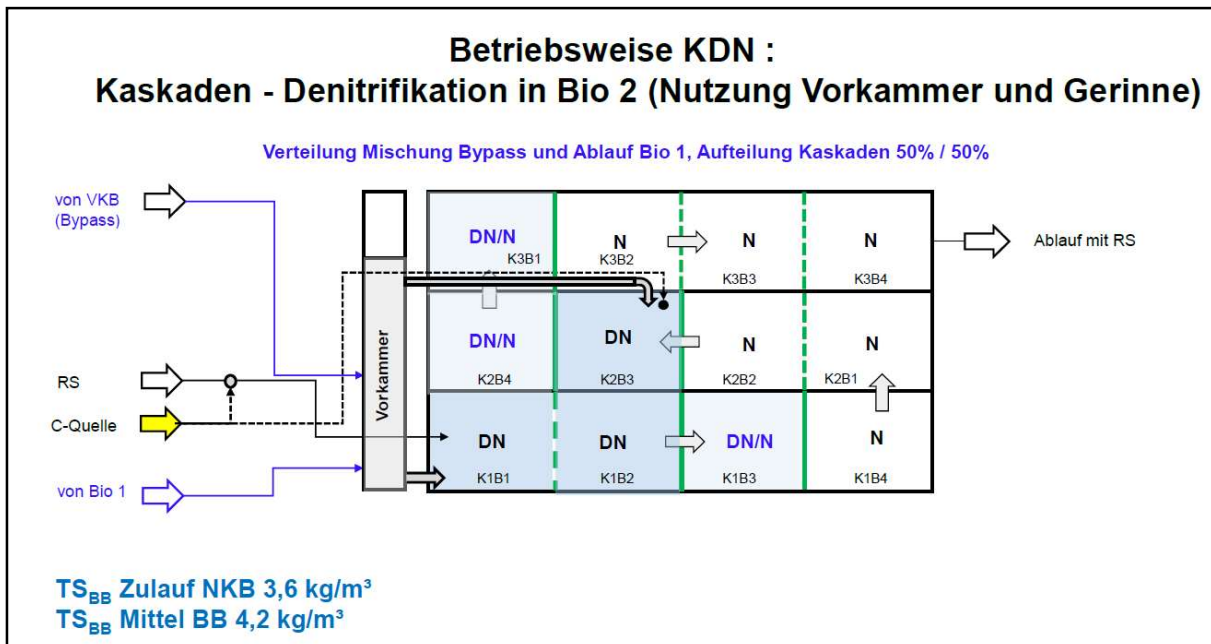


Abbildung 3: Biologie Stufe 2, Schema KDN (mit höherem TS-Gehalt in Kaskade 1) (Variante 2A)

In der Vorkammer der 2. Biologischen Stufe wird das Abwasser aus der Zwischenklärung der 1. Biologischen Stufe mit dem Bypass gemischt.

Die verfahrenstechnische Kaskade 1 (Kaskade 1) erstreckt sich über die vollständige Kammer 1 (die Bereiche K1B1, K1B2, K1B3, K1B4) und die in Fließrichtung 1. Hälfte der Kammer 2 (die Bereiche K2B1 und K2B2). Die verfahrenstechnische Kaskade 2 (Kaskade 2) erstreckt sich über



die in Fließrichtung 2. Hälfte der Kammer 2 (die Bereiche K2B3, K2B4) und die vollständige Kammer 3 (die Bereiche K3B1, K3B2, K3B3, K3B4). Das Abwasser-Bypass-Gemisch wird zum Teil in die Kaskade 1 geleitet und zum Teil in die Kaskade 2. Der Rücklaufschlamm wird direkt in den Zulauf der 2. Biologischen Stufe geleitet.

Die C-Quellendosierung erfolgt zum einen Teil für alle 4 Belebungsstraßen zusammen bereits im Sternschacht der Rücklaufschlammführung vor der Aufteilung auf die einzelnen Belebungsstraßen und zum anderen Teil in den Anfang der 2. Kaskade (K2B3).

Die ersten zwei Bereiche in der Kaskade 1 (K1B1 und K1B2) werden als dauerhafte DN-Bereiche ausgeführt. Danach folgt ein Wechselbereich DN/N (K1B3), der je nach Bedingungen als Nitrifikation oder Denitrifikation betrieben werden kann. Dann folgen 3 Bereiche (K1B4, K2B1, K2B2), die immer nitrifizieren.

Der erste Bereich der Kaskade 2 (K2B3) wird dauerhaft als DN-Bereich, die folgenden zwei Bereiche in der Kaskade 2 (K2B4, K3B1) werden als Wechselbereiche DN/N ausgeführt, die je nach Bedingungen als Nitrifikation oder Denitrifikation betrieben werden. Dann folgen drei Bereiche (K3B2, K3B3, K3B4), die immer nitrifizieren. Die DN-Zonen umfassen maximal 50 % des Belebungsvolumens.

Der große Vorteil dieser Variante 2A (KDN) ist der im Mittel leicht erhöhte TS. Anstatt 3,6 g/l können wegen des höheren Feststoffgehaltes in Kaskade 1 von 4,85 g/l im Mittel 4,2 g/l Feststoffgehalt in der Belebung erzielt werden; dies führt zu einer Kapazitätssteigerung der Biologie um 15 % und damit zu einer zusätzlichen Absicherung der Nitrifikation bei niedrigen Abwassertemperaturen sowie mehr Flexibilität zur Denitrifikation innerhalb der zweiten biologischen Stufe.

Die ersten beiden Teilbereiche K1B1 und K1B2 sowie der Teilbereich K2B3 werden immer als DN-Bereiche (25 %) betrieben. Bei steigenden Abwassertemperaturen und auf Grund des durchschnittlich höheren TS-Gehaltes lässt sich die Nitrifikation (insbesondere auch im Vergleich zur vorgeschalteten Denitrifikation) in kleineren Beckenvolumina realisieren und sichern, womit in der 2. Biologischen Stufe mehr Raum zur Denitrifikation zur Verfügung steht. Über den Rücklaufschlamm der 2. Biologischen Stufe wird Nitrat in den Zulauf der Biologie 2 zurückgeführt und um dieses zu denitrifizieren wird Kohlenstoff benötigt, der soweit möglich, über den Bypass bereitgestellt wird.

Für die einzelnen Temperaturlastfälle wurde der Luftbedarf ermittelt. Aus den maximal benötigten Luftmengen für jeden einzelnen Beckenbereich wurde die Anzahl der benötigten Belüfter ermittelt.

Im Nachgang wurde untersucht, bei welchem Lastfall eine Betriebsweise der vorgeschalteten (Variante 4) oder der Kaskaden-Denitrifikation (Variante 2A) Vorteile bietet und ob es sinnvoll ist, die Verfahrenstechnik so zu konzipieren, dass beide Betriebsweisen möglich sind, bzw. je nach Lastfall die Betriebsweise zu wechseln (Kombivariante). Schematisch wird diese Variante in folgender Abbildung 4 dargestellt.

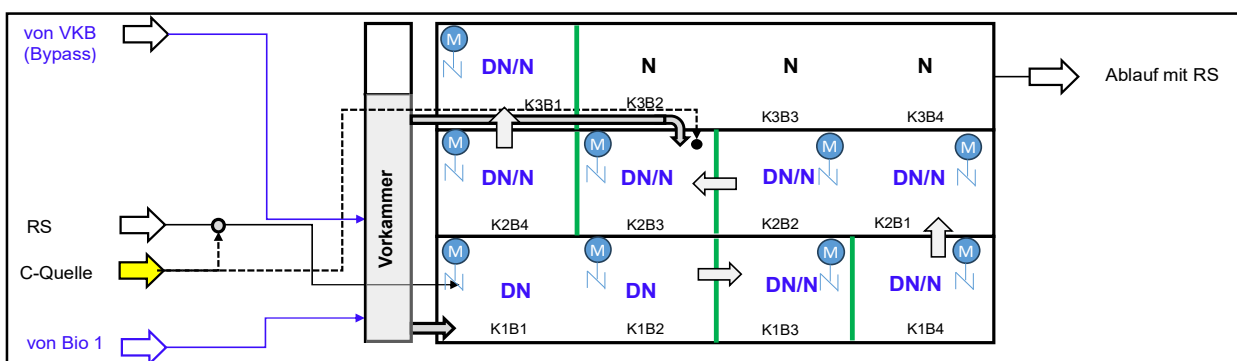


Abbildung 4: Biologie Stufe 2, Kombivariante

Aus den verfahrenstechnischen Berechnungen geht hervor, dass der von der DWA empfohlene Prozessfaktor (Maß für die Prozessstabilität) von mindestens 1,5 von beiden Betriebsweisen eingehalten werden kann und gleichzeitig die Nitrat-Ablaufkonzentration im Ablauf der Nachklärbecken (NKB) bei der Kaskadendenitrifikation (Variante 2A) tendenziell geringer ist als bei der vorgeschalteten Denitrifikation (Variante 4). Insbesondere im Lastfall 2 (Abwasser-Temperatur von 13,5 °C im Übergangszeitraum im Frühling und Herbst) limitiert bei der vorgeschalteten Betriebsweise der Prozessfaktor die Zugabe einer C-Quelle, was zu deutlich höheren Nitrat-Ablaufwerten (17,0 mg/l in VDN gegenüber 14,4 mg/l in KDN) führt. Lediglich im Lastfall 4 (Nachweis der Belüftung bei maximaler Temperatur), der jedoch nur kurzzeitig im Jahr auftritt, ist die Nitrat-Ablaufkonzentration in der vorgeschalteten Denitrifikation etwas geringer als bei der Kaskadendenitrifikation.

Bei Betrachtung der anlagentechnischen Umsetzung für beide Betriebsweisen wäre bei der Kombivariante bei den Belüftern, Rührwerken und Luftregelarmaturen ein erheblicher Mehraufwand durch die Verwirklichung zweier Betriebsweisen erforderlich. Dazu kommt der entsprechende Mehraufwand bei der Elektrotechnik und Automatisierungstechnik.

Dem steht durch den Wechsel der Betriebsweise von der KDN zur VDN im Lastfall 4 nur ein geringer verfahrenstechnischer Vorteil durch eine geringere Nitratstickstoff-Ablaufkonzentration von 11,8 mg NO<sub>3</sub>-N/l statt 13,1 mg NO<sub>3</sub>-N/l gegenüber. Nur in diesem seltenen Fall hat es Sinn, von der Betriebsweise der Kaskadendenitrifikation in die vorgeschaltete Denitrifikation zu wechseln. Die Denitrifikation im Sandfilter wird allerdings weiterhin bei jeder der untersuchten Varianten erforderlich sein.

Zusammenfassend ergibt sich für die Biologie 2 damit das folgende Ergebnis:

In der Entwurfsplanung wurde die Variante 2 der Vorplanung zur reinen Kaskaden-Denitrifikation (Variante 2A) weiterentwickelt. Der deutliche verfahrenstechnische Vorteil der Variante 2A im Vergleich zur Variante 4 besteht in der Aufteilung des Zulaufs auf zwei Kaskaden, wodurch höhere Trockensubstanzgehalte im Belebungsbecken möglich sind, was einer Kapazitätssteigerung der Biologie von 15 % entspricht.

Hinsichtlich des Projektziels Erhöhung der Betriebssicherheit kommen demnach die Variante 2A und die Kombivariante in Frage. Bei beiden Varianten kann von einer Kapazitätssteigerung von ca. 15 % ausgegangen werden. Die Realisierung der Kombivariante verursacht einen erheblichen Mehraufwand bei der maschinentechnischen Ausrüstung der Belebungsbecken, da viele Beckenbereiche sowohl zur Nitrifikation (Belüftung) als auch zur Denitrifikation (zusätzliche Rührwerke, Luftregelarmaturen) ausgestattet werden müssen. Der Vorteil der vorgeschalteten Denitrifikation gegenüber der Kaskaden-Denitrifikation tritt nur bei höheren Abwassertemperaturen (Lastfall 4) und damit in einem zu kurzen Zeitraum des Jahres auf, als dass er die Ausführung der Kombivariante rechtfertigen würde. Die Variante 2A stellt die verfahrenstechnisch sinnvollste Variante dar und wurde deshalb in der Entwurfsplanung ausgearbeitet. Sie soll im weiteren Projektverlauf umgesetzt werden.

### **2.1.2 Luftmengenberechnung**

Im Rahmen der Vorplanung wurde die vorhandene Förderleistung der Turboverdichter untersucht. Für alle Varianten liegen die benötigten Luftmengen in der gleichen Größenordnung. Derzeit sind 4 Turboverdichter der Bio1 zugeordnet und 6 der Bio2. Auch in dieser Zuordnung ist die vorhandene Förderleistung sowohl im Normalbetrieb als auch unter Ansatz von jeweils 1 Gebläse im Standby (bzw. n-1-Fall) ausreichend. Somit bleibt die vorhandene Zuordnung unverändert.

### **2.1.3 Beschickung der Becken**

Aus verfahrenstechnischen Gründen sollen in der Kaskade 1 die Belebungsbecken Stufe 2 (analog zur bereits durchgeführten Umstellung in der Bio1) künftig von Vor-Kopf beschickt werden (d. h. die Beschickung erfolgt über Zulauföffnungen, die stirnseitig in der Kammer 1 sitzen, nicht mehr

seitlich über Rinnen). Hierfür werden die vorhandenen, im Rahmen des Projekts auszutauschenden Zulaufschütze genutzt. Die hydraulische Überprüfung ergab, dass beim Beschicken der Belebungsbecken durch die Zulaufschütze ein niedrigerer Verlust als im derzeitigen Betriebszustand entsteht. Die geplante Beschickung ist somit hydraulisch günstiger als die bestehende Situation. Vorteil ist eine bessere Durchmischung des Abwassers (vermischt mit dem Rohabwasserbypass in der Vorkammer) mit dem Belebtschlamm sowie das Verhindern von Sauerstoffeinträgen in die vorgeschaltete Denitrifikationszone. Die Zulaufrinnen zu den Kammern 2 und 3 werden fest verschlossen (Betonwand). Die Zulaufrinne der Kammer 1 wird mit einem neuen Rinnenschieber ausgestattet für die Beschickung im n-1-Fall (n-1-Fall bedeutet die Außerbetriebnahme eines von vier Belebungsbecken).

Für die die Beschickung der zweiten Kaskade (Bereiche K2B3, K2B4, K3B1, K3B2, K3B3 und K3B4) ist eine neue Rohrleitung DN700 inkl. Regelklappe und magnetisch induktive Durchflussmessungen (MID) vorgesehen. Die Abwasserzugabe (Zulauf/Bypass-Gemisch) aus der Vorkammer findet am Anfang des K2B3 statt. An dieser Stelle ist für eine Zugabe von Methanol eine Methanol-Dosierleitung inkl. Regelarmatur vorgesehen.

Wenn ein Becken der Biologie 2 außer Betrieb genommen wird, werden die Vorkammerabsperreschütze geöffnet, um den Zulauf auf die drei verbliebenen Belebungsbecken zu verteilen. Für den Lastfall n-1 bei Außerbetriebnahme einer Straße der Zwischenklärung und/oder einer Straße der Belebungsbecken Stufe 2 wird die erste Kaskade zusätzlich über das bestehende Zulaufgerinne der Kammer 1 beschickt. Im vorderen Bereich der Zulaufgerinne werden die seitlichen Öffnungen daher nicht verschlossen. Durch diese Vorgehensweise können die hydraulischen Verluste im System reduziert werden bzw. die Gleichverteilung im n-1-Fall realisiert werden.

#### **2.1.4 Regelung Rückpassmenge**

Eine präzise Regelung der Rückpassmenge (nitrathaltiges Abwasser aus der Nachklärung) ließe sich nur mit nachzurüstenden Frequenzumformern im Rückpasspumpwerk verwirklichen. Aus elektrotechnischer Sicht ist diese Nachrüstung sehr aufwändig und auch nicht unbedingt erforderlich. Die Rückpassmenge lässt sich mit Zu- und Abschalten von Pumpen mit ausreichender Genauigkeit verändern.

## **2.2 Bautechnik**

Bei einer vorab durchgeführten Betonuntersuchung durch einen externen Gutachter in 2021 wurden Schäden festgestellt. Die Standsicherheit der Bauwerke ist in keinem Fall beeinträchtigt. Weitere Untersuchungen an den begutachteten Bauwerken sind nicht erforderlich. Laut dem auf Basis der Betonuntersuchung erstellten Gutachten sind folgende Instandsetzungsmaßnahmen durchzuführen:

- Erneuerung des Oberflächenschutzsystems im Bereich der Mauerkrone der Belebungsbecken
- Verpressen von Rissen im Bereich der Mauerkrone der Belebungsbecken
- Punktuelle Betoninstandsetzung im Bereich freiliegender und abgetrennter Bewehrung
- Punktuelle Betoninstandsetzung im Bereich von Abplatzungen
- Verpressen von Rissen mit einer Rissweite > 0,3 mm
- Erneuern der Fugen zwischen den Betonrohren

Die rechnerische Lebensdauer der bestehenden Abdeckung der Biologie 1 ist überschritten und somit ist die Begehbarkeit nicht mehr sicher gewährleistet. Zur Wartung der Auslaufschieber und zum Entfernen der äußeren Elemente (per Kran) müssen diese Abdeckungs-Elemente begehbar sein. Deshalb sind die zwei äußeren Elemente auf beiden Seiten jeder Kammer (4 Stück) zu erneuern. Weiterhin muss der Zugang zu den Elementen über den Rührwerken in Kammer 1 möglich sein. Hierfür werden voraussichtlich 5 weitere Elemente benötigt.

Für eine optimale Vermischung von Zulauf/Bypass-Gemisch und Rücklaufschlamm wird im Zulauf der Kammer 1 der Belebungsbecken Stufe 1 und 2 jeweils eine Prallwand aus Stahlbeton eingezogen. Die Prallwand wird so auf der Beckensohle und den Beckenwänden angeordnet, dass sie seitlich umströmt werden kann. Zur Auslegung der Öffnungen in den Beckenwänden wurden Vorergebnisse der CFD-Simulation herangezogen.

Die Wände werden in Ortbeton hergestellt und mittels Einklebebewehrung an den bestehenden Beckenwänden und der Beckensohle befestigt. Es wird eine konstruktive Bewehrung sowie eine Bewehrung zur Sicherstellung der Tragfähigkeit erforderlich.

Im Zuge der Maßnahme müssen zur Kaskadierung der Belebungsbecken Stufe 2 zwischen den einzelnen Kaskaden Trennwände errichtet werden. Zur Trennung der belüfteten von den unbelüfteten Bereichen werden zur Abdeckung aller Lastfälle insgesamt 5 Trennwände pro Becken erforderlich.

Alle Trennwände sind gleich aufgebaut und können unter- und überströmt sowie seitlich umströmt werden. Die seitliche Öffnung hat nach vorläufiger Auslegung der hydraulischen Simulation die lichten Abmessungen von  $B \times H = 2,10 \times 2,00$  m. Somit ist unter Beachtung der geplanten Belüftungseinrichtungen auf der Beckensohle eine Begehung der Beckensohle unter Nutzung der Öffnungen in den Trennwänden grundsätzlich möglich.

Die Trennwände werden voraussichtlich aus Stahlbeton in Ortbeton hergestellt und mittels Einklebebewehrung an den bestehenden Beckenwänden und der Beckensohle befestigt. Es wird eine konstruktive Bewehrung sowie eine Bewehrung zur Sicherstellung der Tragfähigkeit erforderlich.

In der Biologie 1 werden, in derselben Art und Weise wie in der Biologie 2, vier Trennwände hergestellt.

Die Absenk-Rinnenschütze der Biologischen Stufe 1 werden demontiert und die Rinnen mit einer Betonwand verschlossen. Die Absenkrinnenschütze der Biologie 2 Kammern 2 und 3 (8 Stk 800/1300) werden zurückgebaut und die Rinne fest mit einer Betonwand verschlossen. Die Absenkrinnenschütze der Kammern 1 (4 Stk 800/1300) werden erneuert und die Zulaufgerinne nach einigen Metern mit einer Betonmauer verschlossen. Bis zu dieser Betonmauer bleiben die seitlichen Zulauföffnungen zur Beschickung offen. Alle restlichen seitlichen Zulauföffnungen werden mit Blechen verschlossen.

Eine Vielzahl von Steigleitern an den Becken und Schächten entsprechen nicht mehr dem heutigen Sicherheitsstandard der MSE und müssen daher ersetzt werden. Die Steigleitern werden durchgängig aus Edelstahl Werkstoff 1.4571 erneuert.

In den Belebungsbecken Stufe 1 und 2 werden die Gitterroste und Abdeckungen im Bereich der auszutauschenden Schütze/Schieber ersetzt. Die verbleibenden Gitterroste und Abdeckungen werden, falls erforderlich, bedarfsgerecht ausgebessert.

Um die Dichtheit der Dammplatten wieder herzustellen, müssen Risse zwischen Dammplattenrahmen und Beton verpresst werden. Alle Dammplattenrahmen in den Querverteilungen der Belebungsbecken Stufe 1 und 2 sollen je nach Zustand gestrahlt und neu beschichtet werden. Nach Bedarf muss eine Metallsanierung erfolgen.

Für die elektrotechnische Ausrüstung der geplanten Maßnahmen sind zwei separate elektrische Betriebsräume/Stationen für die Biologie Stufe 1 und Stufe 2 zu errichten. Die Elektrostationen werden über neue Kabelleerrohrtrassen an bestehende Stationen angebunden. Die Elektrostationen (Fertigteilstationen aus Stahlbeton) haben jeweils Abmessungen von  $L \times B \times H = \text{ca. } 7,20 \times 3,30 \times 3,60$  m und sind mit einem Kabeldoppelboden ausgestattet. Das auf dem Flachdach der Stationen anfallende Niederschlagswasser wird vor Ort versickert. Eine Wärmedämmung der Stationen ist nicht erforderlich.

## 2.3 Maschinen- und Anlagentechnik

Die Maßnahmen im Bereich der Maschinen- und Anlagentechnik werden im Folgenden beschrieben.

### 2.3.1 Erneuerung Belüftungseinrichtungen und Luftregelarmaturen

Die Luftversorgung der Belebungsbecken Stufe 1 erfolgt weiterhin über die Turboverdichter am Maschinenhaus (Containeranlagen). Die Luftzuführung erfolgt weiterhin über die bestehende erdverlegte Hauptluftleitung mit abnehmendem Durchmesser DN1400 bis DN600. Für die Luftzuführung zu den einzelnen Becken sind für jede Kammer an den Bedienstegen installierte Luftverteiler DN500 vorhanden, von denen Luftfallleitungen DN125 oder DN150 zu den Verteilerregistern führen.

Die Verteilerregister und die Rohrbelüfter der ersten Biologie wurden auf Grund des schlechten Zustandes bereits im Rahmen des betrieblichen Unterhalts im ersten Halbjahr 2023 erneuert. Die realisierte Belegung der Belüfter erfolgte auf der Grundlage von Betriebserfahrungen.

In der Entwurfsplanung erfolgte die genaue Berechnung des Luftbedarfs und hieraus wurde die optimale Belegung und Anordnung der Belüfter ermittelt. In den Kammern 2 und 3 ändert sich hiernach nichts an der aktuellen Belegung. Sämtliche PE-Rohrbelüfter der Kammern 1, 2 und 3 (ca. 3000 Stück) werden aufgrund der höheren Lebensdauer durch Membranrohrbelüfter aus Silikon ersetzt. In der Kammer 1 werden auf vorhandenen freien Belüfterplätzen noch ca. 100 weitere Silikon-Rohrbelüfter je Straße nachgerüstet (demnach zusätzlich ca. 400 Stück). Insgesamt sind somit ca. 3.400 Stück Rohrbelüfter in den Belebungsbecken Stufe 1 vorgesehen.

Weiterhin werden die bestehenden Membranabsperrventile in den Fallleitungen gegen neue zentrische Hand-Absperrklappen (insgesamt 32 Stk DN150 und 112 Stk DN125) mit Passstück (aufgrund der kürzeren Baulänge) ersetzt. Nach einem durchgeführten Preisvergleich ist eine zentrische Absperrklappe mit Passstück deutlich günstiger als eine neues Membranabsperrventil – bei gleicher Funktion und Lebensdauer.

Die Luftversorgung der Belebungsbecken Stufe 2 erfolgt weiterhin über die Turboverdichter am Maschinenhaus (Containeranlagen). Die Luftzuführung erfolgt weiterhin über die bestehende erdverlegte Hauptluftleitung mit abnehmendem Durchmesser DN1800 bis DN800. Für die Luftzuführung zu den einzelnen Becken sind für jede Kammer an den Bedienstegen installierte Luftverteiler DN500 vorhanden, von denen Luftfallleitungen DN100 bzw. DN125 zu den Belüfterelementen führen. Die Luftverteiler DN500 bleiben bestehen. Die Fallleitungen sowie die Membranabsperrventile DN100 bzw. DN125 werden zurückgebaut und die Stutzen mit Blindflanschen versehen. Künftig erhält jede belüftete Kaskade eine eigene Stichleitung mit Anschluss an die Verteilleitungen.

Alle drei Kammern der Belebungsbecken werden vollständig mit neuen Belüfterelementen ausgestattet. Hinsichtlich der Ausführung der Belüfterelemente wurden die Varianten Rohrbelüfter und Plattenbelüfter untersucht. Die Varianten wurden anhand einer Multikriterienanalyse hinsichtlich Material, Belegungsgrad, Beckenreinigung, Montageaufwand, Druckverlust, Investitionskosten und Betriebskosten (bzw. Energieeffizienz) untersucht. Die Varianten werden in etwa gleich bewertet. Die Entscheidung wird in der Ausschreibung anhand rein wirtschaftlicher Kriterien (Investitionskosten, Lebensdauer und Energiekosten) getroffen. In der Planung und der Kostenberechnung wird der Einbau von insgesamt ca. 6000 Silikon-Rohrbelüftern berücksichtigt. Die einzelnen Beckenbereiche werden entweder mit zwei Fallleitungen (K2B1/K2B2 sowie K3B3/K3B4) oder mit einer Fallleitung (K1B3, K1B4, K2B4 und K3B1) versehen. Für Bereiche mit zwei Fallleitungen sitzt in jeder der beiden Fallleitungen eine zentrische Absperrklappe (eine Handabsperklappe und eine Automatik-Absperrklappe), um die Luftmenge bei geringem Luftbedarf auf die Hälfte der Belüfter zu verteilen.

Insgesamt sind 20 Hand-Absperrklappen und 20 Automatik-Absperrklappen in den Belebungsbecken Stufe 2 vorgesehen. Analog zur Biologie 1 werden zentrische Absperrklappen eingesetzt.

Sämtliche Luftregelarmaturen in den Belebungsbecken der Stufe 1 und 2 werden durch energieeffizientere Armaturen nach Stand der Technik ersetzt. Für die erste Biologie sind 12 neue Luftregelarmaturen erforderlich und für die zweite Biologie 24 Stück. Insgesamt sind somit 36 neue Luftregelarmaturen erforderlich. Hinsichtlich der Ausführung der Luftregelarmaturen wurden die Varianten Regelventil Vacomat jet control valve (Fabrikat Binder) und Iris Blendenregulierschieber (Fabrikat Egger) anhand einer Multikriterienanalyse hinsichtlich Konstruktion und Bauabwicklung, Energieeffizienz sowie die Investitions- und Betriebskosten untersucht. Beide Varianten schließen in der Bewertung in etwa gleich ab. Die letztendliche Entscheidung, welche Regelarmatur zum Einsatz kommt, soll über die Ausschreibung nach rein wirtschaftlichen Kriterien für das Gesamtsystem Belüfter und Luftregelarmaturen erfolgen. Hierbei werden die Investitionskosten, Lebensdauer und Energiekosten bewertet.

In den Belebungsbecken der Stufe 1 werden die neuen Luftregelarmaturen wie aktuell im Bestand am Anfang des Luftverteilers DN500 angeordnet. Es werden insgesamt 12 neue Luftregelarmaturen anstelle der bestehenden DN500 Luftregelklappen eingebaut. Aufgrund der geringeren Nennweiten der neuen Armaturen sind für beide untersuchten Varianten (Binder/Egger) der Luftregelarmaturen entsprechende Reduzierstücke erforderlich.

In den Belebungsbecken der Stufe 2 werden insgesamt 24 neue Luftregelarmaturen eingebaut. In Bereichen mit einer Falleitung sind die Luftregelarmaturen in der neuen Falleitung angeordnet, in Bereichen mit zwei Falleitungen in der DN500 Luftverteilung. Insgesamt sind somit 36 Luftregulierschieber (12 Stück in Belebungsbecken Stufe 1 und 24 Stück in Belebungsbecken Stufe 2) DN200 bzw. DN250 vorgesehen.

Die bestehenden DN500 Luftregelklappen werden zurückgebaut. In der zweiten Biologie werden auch die Membranabsperrentile in den Falleitungen, die Falleitungen sowie die Vierkant-Verteiler und die alten Silikon-Belüfter zurückgebaut.

### **2.3.2 Erneuerung Rührwerke**

Die bestehenden Rührwerke in beiden Stufen werden gegen neue energieeffizientere Rührwerke nach Stand der Technik ersetzt. In Kammer 1 der Biologie 1 sind zwei Rührwerke vorgesehen. Für die Biologie 2 ist in jedem DN-Bereich und in jedem DN/N-Bereich (K1B1, K1B2, K1B3, K2B3, K2B4, K3B1) ein Rührwerk geplant. Insgesamt sind somit 32 Rührwerke (8 Stück in Belebungsbecken Stufe 1 und 24 Stück in Belebungsbecken Stufe 2) vorgesehen.

Hinsichtlich der Ausführung der Rührwerke wurden 3 Varianten über eine Multikriterienanalyse untersucht:

Variante A: Tauchmotorrührwerk (horizontales Rührwerk)

Variante B: Vertikalrührwerk mit Propellerflügeln

Variante C: Hyperboloid-Rührwerk

Die Analyse erfolgte nach den Bewertungskriterien Kosten (Investitionskosten und Betriebskosten), Konstruktion und Bauabwicklung (Montageaufwand, Abhängigkeit der Belüfterverteilung von der Rührwerksanordnung, Kompatibilität mit der GFK-Abdeckung der Bio1, Erreichbarkeit durch den vorhandenen betriebseigenen Mobilkran, Energieeffizienz und Sohlgeschwindigkeit), Variabilität (Möglichkeit nachträglicher Veränderungen) und Betriebsverhalten (Bedienbarkeit und Wartung). Die Variante A ergibt sich als Vorzugsvariante.

### **2.3.3 Messschächte**

Die Regelklappen in den nachfolgend aufgeführten Messschächten werden inklusive Pass- und Ausbaustücken 1:1 ausgetauscht.

- Ablaufmessschächte Nachklärbecken Stufe 1 (4 Stk DN800 Regelklappen)
- Ablaufmessschächte Nachklärbecken Stufe 2 (4 Stk DN500 Regelklappen)
- Ablaufmessschächte Zwischenklärbecken (4 Stk DN800 Regelklappen)
- Messschacht 1 (4 Stk DN600 Regelklappen + 4 Stk DN600 Hand-Absperrklappen)
- Messschacht 2 (4 Stk DN600 Regelklappen + 4 Stk DN600 Hand-Absperrklappen)

Die Absperrklappen in den Zulaufmessschächten der Zwischenklärbecken sowie der Nachklärbecken Stufe 1 und 2 wurden bereits saniert und die Absperrklappen der NKB3St1 und NKB1St2 wurden komplett erneuert. Ebenfalls wurden die Antriebe komplett erneuert. Aufgrund des nach der Sanierung guten Zustandes und der anstehenden Planung zur Erweiterung des Klärwerks werden nur die Getriebe der Absperrklappen getauscht:

- Zulaufmessschächte Nachklärbecken Stufe 1 (4 Stk)
- Zulaufmessschächte Nachklärbecken Stufe 2 (4 Stk)
- Zulaufmessschächte Zwischenklärbecken (4 Stk)

Der Austausch der Armaturen im Belebtschlammkreislaufmessschacht (vor den Verteilerschächten der Nachklärung Stufe 2) wurde im Zuge der Planung verworfen, da die verfahrenstechnischen Konzepte keine Nutzung des Belebtschlammkreislaufes vorsehen. Es erfolgen somit dort keine Maßnahmen.

Die Handklappen in den nachfolgend aufgeführten Messschächten werden inklusive Pass- und Ausbaustücke 1:1 ausgetauscht:

- Messschacht 1 (4 Stk DN600 Hand-Absperrklappen)
- Messschacht 2 (4 Stk DN600 Hand-Absperrklappen)

Die vorhandenen Abluftventilatoren in den Messschächten 1 und 2 mit einer Leistung von jeweils 600 m<sup>3</sup>/h werden gegen neue Ventilatoren gleicher Leistung ersetzt.

Ebenfalls werden in den beiden Messschächten 1 und 2 die vorhandenen Kellerentwässerungspumpen und die zugehörigen Armaturen in den Druckleitungen gegen gleichwertige Komponenten ausgetauscht.

Die magnetisch induktiven Durchflussmessungen (MID) in den nachfolgend aufgeführten Bauwerken sind auszutauschen:

- Messschacht 1 (Durchfluss Belebtschlamm)
- Messschacht 2 (Durchfluss Belebtschlamm)
- Zwischenklärbecken (Durchfluss Zulauf und Schlammabzug)
- Nachklärbecken Stufe 1 (Durchfluss Zulauf und Schlammabzug)
- Nachklärbecken Stufe 2 (Durchfluss Zulauf und Schlammabzug)

Da die MID's seit 35 Jahren in Betrieb sind und bereits die Innenbeschichtung beschädigt ist, ist das Ende der Lebensdauer erreicht. Dahingehend sind auch die MID's im Bereich Nachklärung zu tauschen, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Der Austausch des MID im Messschacht in der Belebtschlammkreislaufleitung vor den Verteilerschächten der Nachklärung Stufe 2 wurde im Zuge der Planung verworfen, da die verfahrenstechnischen Konzepte keine Nutzung des vorhandenen Belebtschlammkreislaufes vorsehen.

Im Zuge des Austauschs der MID's in den Zulaufmessschächten der Rundbecken werden auch die Pass- und Ausbaustücke ausgetauscht.

### 2.3.4 Pumpen

In den Entleerschächten der Nachklärbecken Stufe 1, Nachklärbecken Stufe 2 und der Zwischenklärbecken werden die vorhandenen Entleerpumpen und zugehörigen Armaturen 1:1 ausgetauscht. Für die Entleerschächte der Belebungsbecken Biologie 1 und 2 wird eine Ersatzpumpe beschafft, die vom Betrieb auf Lager gelegt wird.

Im Belebtschlammumpwerk 2 werden ebenfalls die vorhandenen Überschussschlammumpen und zugehörigen Armaturen 1:1 ausgetauscht. Aufgrund von Schwingungen im vorhandenen Leitungssystem sind die vorhandenen Rohrhalterungen und die Befestigung der Kupplungsfußkrümmer der Tauchmotorpumpen ausgeschlagen. Auch diese werden erneuert. Gemäß Kennlinie der vorhandenen Überschussschlammumpen liegt der Betriebsbereich der größeren der beiden Pumpen zwischen 36 und 90 m<sup>3</sup>/h. Der Überschussschlammfall liegt bei 40 m<sup>3</sup>/h. Eine Vergrößerung der vorhandenen Pumpen ist somit nicht erforderlich.

Die Probenahmepumpen sind in Freiluft-Schaltschränken neben den Ablaufschächten am Ende der Ablaufringleitung der Zwischenklärbecken (ZKB) 3 und 4 installiert. Die neuen Exzentrerschneckenpumpen werden im Messschacht 2 aufgestellt. Die neuen Pumpen werden - wie die alten Pumpen - auf einen Förderstrom von 117 l/min ausgelegt.

Die vorhandenen Druckleitungen DN50 werden zwischen den Ablaufschächten der ZKB 3 und 4 und den neuen Exzentrerschneckenpumpen als Freigefälledruckleitung genutzt. Zur Probenstromaufbereitung und Online-Messtechnik werden neue Druckleitungen verlegt. Die Verrohrung der Pumpen erfolgt so, dass mit jeder Pumpe aus beiden ZKBs (3 und 4) Proben gezogen werden können. Demnach sind hier entsprechende Handarmaturen erforderlich. Die Saugleitungen im Bereich der Ablaufschächte werden umverlegt.

### 2.3.5 Rohabwasser-Bypass und Kaskaden-Beschickung

Die Rohabwasser-Bypassleitung wird im Bereich der Vorkammer gekürzt, so dass das Wasser des Bypasses direkt in der Vorkammer mit dem Abwasserzulauf vermischt wird. Damit erfolgt die Zuleitung des Bypasses in den Zulauf beider Kaskaden (K1B1 und K2B3).

Die erste Kaskade 1 (Bereiche K1B1, K1B2, K1B3, K1B4, K2B1 und K2B2) wird durch die Zulaufschütze 1500/1100 in Kammer 1 mit dem Zulauf/Rohabwasser-Gemisch beschickt. Für die Beschickung der zweiten Kaskade (Bereiche K2B3, K2B4, K3B1, K3B2, K3B3 und K3B4) ist eine Beschickungsleitung DN700 inkl. Regelklappe und MID vorgesehen. Die Beschickung der zweiten Kaskade mit dem Zulauf/Rohabwasser-Gemisch aus der Vorkammer erfolgt am Anfang des Bereichs 3 Kammer 2 (K2B3).

### 2.3.6 Räumschilde/Zugarme in den Nachklärbecken

Die Bodenräumschilde in den Nachklärbecken Stufe 1 und 2 werden vollständig einschließlich der Abhängungen und Zugarme aus Edelstahl Werkstoff 1.4571 erneuert. Die Ausführung erfolgt wie im Bestand unter Berücksichtigung des vorhandenen Sohlensprungs in der Beckensohle und in Anlehnung an die Ausführung der vor Kurzem in den Zwischenklärbecken installierten Zugarme und Räumschilde.

### 2.3.7 Keilschieber an den Sternschächten und im Belebtschlammkreislauf

Die erdverlegten Keilschieber DN500 und DN800 in den Rücklaufschlammleitungen der Sternschächte der Zwischen- und Nachklärbecken werden inklusive Ausbaustücken 1:1 erneuert. Die geplanten Armaturen werden - wie im Bestand - erdverlegt mit Straßenkappe und Vierkant ausgeführt. Für den Armaturentausch müssen die erdverlegten Armaturen im Bereich der Sternschächte freigelegt werden. Hierzu sind umfangreiche Erdarbeiten und eine provisorische Abdichtung der Rohrleitung im Sternschacht erforderlich.



Die Keilschieber DN500 in den Verteilschächten des Belebtschlammkreislaufes werden demontiert und die verbleibenden Öffnungen dicht verschlossen.

### **2.3.8 Austausch gehäuseloser Absperrarmaturen**

Folgende gehäuselose Armaturen werden durch Edelstahl-Armaturen ersetzt:

- Rohabwasserverteilschacht 1: Gewindeschieber 1 Stk DN300, 4 Stk DN600 und 1 Stk DN900)
- Rohabwasserverteilschacht 2: Gewindeschieber 4 Stk DN500)
- Belebungsbecken Stufe 1: Vorkammerabsperrschütze 4 Stk 1200/2000, Auslaufschütze 1 Stk 1500/1100, 8 Stk Entleer-Gewindeschieber DN300)
- Belebungsbecken Stufe 2: Vorkammerabsperrschütze 4 Stk 1200/2000, Zu- und Auslaufschütze insgesamt 8 Stk 1500/1100, 8 Stk Entleer-Gewindeschieber DN300)

Die Absenkrinnenschütze der Kammern 1 (4 Stk 800/1300) werden für den Betrieb im n-1-Fall weiter benötigt und deshalb erneuert.

Aus der Sanierung im Bereich Sandfilter hat sich gezeigt, dass die Demontage eingegossener Schütze extrem aufwändig ist. Es sind umfangreiche Stemmarbeiten erforderlich und die Rahmen sind mit der Bewehrung verschweißt.

Die Vorkammerabsperrschütze 1 (jeweils 1 Stk pro Stufe 1 und 2 Dimension 1200/2000) werden demontiert und stattdessen eine Betonwand eingezogen, die mit einem Hand-Schieber DN300 zur Entleerung der Vorkammer versehen wird.

### **2.3.9 Methanoldosierung für Biologie 2**

Im Zuge der Maßnahme ist eine gezielte Methanoldosierung in die Belebungsbecken Stufe 2 geplant. Die Methanoldosierung erfolgt mit einer der bestehenden regelbaren Pumpen in der Methanoldosierstation.

Für die Kaskade 1 wird das Methanol in Kammer 1 Bereich 1 dosiert, wie bis jetzt über den Sternschacht der Nachklärbecken Stufe 1. Hierfür sind keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich. Für die Kaskade 2 wird das Methanol am Anfang der Kammer 2 Bereich 3 dosiert.

### **2.3.10 Rundbeckenräumer: Mittellager und Lager Schleifringkörper**

Die Mittellager aller Räumern in den Rundbecken der Vor-, Zwischen- und Nachklärung werden im Zuge der straßenweisen Außerbetriebnahmen erneuert. Beim Tausch der Mittellager müssen die Schleifringkörper demontiert werden. In diesem Zuge werden diese Lager ebenfalls getauscht.

### **2.3.11 Provisorien**

Für den Austausch der Anlagentechnik in den Vorkammern und den Sternschächten sowie der Abdichtung der Dammplattenrahmen in den Querverteilungen sind Provisorien zur sicheren Absperrung der Kanäle und Rohrleitungen erforderlich, um die Arbeiten im laufenden Betrieb ausführen zu können. Zur Absperrung der Vorkammern (3 x 1,8 m) werden Stahlprofile in die Vorkammer gedübelt, gegen die sich eine eingestellte Stahlplatte oder Dammplatte abstützen kann.

Die Absperrung innerhalb der Querverteilung kann über die vorhandenen Dammplatten erfolgen. Da diese aufgrund der korrodierten Rahmen nicht mehr dicht sind, kommt zusätzlich eine provisorische Absperrung bestehend aus einem Rohrkurzstück DN1700 mit Deckel und einer Gliederkettendichtung zum Einsatz.

## 2.4 Elektrotechnik

Im Zuge des Projektes ändern sich Betriebsmittel, Messtechnik, Steuerung und Energiebedarf des Bereiches der Biologie 1. Die notwendigen Anpassungen sind aus elektro-, mess- und steuerungstechnischer Sicht zu betrachten und umzusetzen.

Alle Sensoren der Biologie 1 wurden bereits im laufenden Anlagenunterhalt erneuert. 12 Schaumsonden sind im Rahmen dieses Projektes zu ersetzen. Die Bestands-Verkabelung der Biologie 1 zu bestehenden Sensoren bleibt erhalten. Weiterhin werden 12 Stk Luftregelarmaturen inklusive Verkabelung erneuert. Insgesamt werden 8 Rührwerke in der Biologie 1 installiert, die elektrotechnisch anzubinden sind.

Die Änderungen an der Biologie 2 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Beschaffung und Einbindung zusätzlicher Messtechnik in der Biologie 2
- Flächendeckende Erneuerung der Bestands-Messtechnik Biologie 2
- Flächendeckende Erneuerung der Bestands-Verkabelung Biologie 2 (für Messtechnik und Antriebe)
- Versorgung neuer (ersetzter oder zusätzlicher) Antriebs- und Messtechnik
- Anbindung neuer, energieeffizienterer Antriebe über Frequenzumformer oder Sanftanlauf
- Einbindung neuer Betriebsmittel (ersetzter oder zusätzlicher) in die Steuer- und Regelungstechnik
- Erweiterung Feldbusknoten/Messtechnikschränke entsprechend verfahrenstechnischen Änderungen.
- Erweiterung Hand-vor-Ort (HvO)-Steuerstellen entsprechend verfahrenstechnischen Änderungen
- Änderung der Steuerung der provisorisch aufgestellten Turboverdichter
- Anpassung der Automatisierungs- und Prozessleittechnik
- Erstellung eines Lastenhefts auf Basis der verfahrenstechnischen Funktionsbeschreibung
- Erstellen einer Anleitung zur grafischen Darstellung für Automatisierungs- und Prozessleittechnik
- Rückbau der Elektro-/Steuerungstechnik für nicht mehr benötigte Anlagenteile
- Einbindung in das Lichtwellenleiter (LWL)-Netzwerk der Klärwerks-Infrastruktur

Im Anschluss wird in der gesamten Biologie die Prozessleittechnik auf die neue Verfahrenstechnik angepasst und der aktuelle Standard des Prozessleitsystems PCS7 umgesetzt.

## 3. Dringlichkeit

Aufgrund des Zustands diverser Anlagenkomponenten ist die Anlagenverfügbarkeit mittel- bis langfristig unsicher. Daher ist zügiger Handlungsbedarf geboten. Der Baubeginn der Maßnahme ist für 2026 vorgesehen. Die Außer- bzw. Wiederinbetriebsetzung erfolgt straßenweise. Die Inbetriebnahme der vierten und letzten Straße (Gesamtinbetriebnahme) erfolgt im I. Quartal 2032.

## 4. Gegebenheiten des Grundstücks

Die o.g. Maßnahmen betreffen den Bereich der Biologie 1, der Zwischenklärung, der Biologie 2 sowie beide Nachklärungsstufen. Auch an den Vorklärbecken werden Arbeiten in geringem Umfang ausgeführt. Die Maßnahmen haben keine direkte Auswirkung auf die angrenzende Bebauung bzw. die Freiflächen. Alle betroffenen Anlagenbereiche befinden sich auf dem Gelände des Klärwerks Gut Marienhof und befinden sich somit im Eigentum der Landeshauptstadt München – Münchner Stadtentwässerung.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes werden keine Anlagenteile zurückgebaut.

## 5. Rechtliche Bauvoraussetzungen

Art und Umfang der Nutzung der vorhandenen Bauwerke werden durch das Projekt nicht geändert. Demnach sind keine öffentlich-rechtlichen Genehmigungen erforderlich. Für die GFK-Abdeckung der ersten Biologie ist vom Auftragnehmer eine Zulassung im Einzelfall zu erwirken. Für die Änderung der Methanoldosierleitung ist voraussichtlich eine Sachverständigen-Abnahme erforderlich.

## 6. Klimaprüfung

Das Vorhaben ist nicht oder nur wenig klimaschutzrelevant (Klimaschutzcheck 2.0). Eine vertiefte Prüfung ist nicht erforderlich und wurde daher nicht durchgeführt. Eine Einbindung des RKU ist nicht erforderlich. Auf der Arbeitsebene fand dennoch eine Abstimmung statt.

Aufgrund der eingesetzten Baustoffe für neue Betonwände sowie für zu erneuernde Stahlkomponenten und Elektrotechnik (graue Energie) werden Treibhausgase freigesetzt. Die Maßnahmen sind allerdings dringend erforderlich, um den sicheren Betrieb der Abwasserreinigung und die Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte zu gewährleisten. Aufgrund der zu erwartenden Einsparungen von Energie und Betriebsmitteln (Methanol) werden Treibhausgas-Emissionen in der Betriebsphase der erneuerten Anlagen reduziert. In der Gesamtbetrachtung ergibt die Klimaschutzprüfung eine neutrale bis positive Klimarelevanz in geringem Ausmaß.

## 7. Kosten

Nach Kostenberechnung der vorliegenden Entwurfsplanung ergeben sich als Gesamtkosten für das Projekt 31.900.000 € brutto. Darin enthalten ist ein Ansatz von 15 % Unvorhergesehenes. Unabhängig davon ist eine Kostenfortschreibung auf Grund von Index- bzw. Marktpreisentwicklungen zulässig. Die Projektkosten gliedern sich wie folgt auf:

Bautechnik	2.923.697 €
Betriebstechnik	12.583.769 €
Elektrotechnik	6.636.037 €
Nebenkosten	5.583.716 €
Zwischensumme	27.727.219 €
Unvorhergesehenes (15 %)	4.159.083 €
<hr/>	
Gesamtkosten brutto	31.886.302 €
Gesamtkosten brutto gerundet	31.900.000 €

Die Kosten für die Maßnahme werden komplett von der MSE getragen, jedoch wird eine Förderung gemäß Kommunalrichtlinie Förderschwerpunkt 4.2.7 c) für zu ersetzende Rührwerke angestrebt.

## 8. Steuern

Im Rahmen bzw. durch Betrieb der Maßnahme erwirtschaftet die MSE keine Umsätze von Dritten (d. h. die MSE erstellt keine Ausgangsrechnungen außer ggf. solcher an Referate oder Eigenbetriebe der LHM). Entsprechend erfolgt mit Blick auf die Kosten und Folgekosten der Maßnahme bei Eingangsrechnungen an die MSE kein Vorsteuerabzug.

Im Rahmen oder durch den Betrieb der Maßnahme werden keine Energieanlagen maßgeblich, d. h. mit energierechtlicher Relevanz, verändert.

## **9. Finanzierung**

Das Projekt ist im Wirtschaftsplan 2025 / Investitionsprogramm 2024 - 2028 unter der Kontonummer 8-2440 enthalten. Die Anpassung der Kostenentwicklung erfolgt mit der Aufstellung des Wirtschaftsplans 2026 / Investitionsprogramm 2025 - 2029.