



Naturbad Badi Beringen

Standardisierte Untersuchung und Bewertung von biologisch aufbereiteten Badegewässern
Vorschläge für eine Systemverbesserung

Impressum

Auftraggeber: Gemeinde Beringen

Ansprechperson: Matthias Frei

Auftragnehmer: ASC SCHWEIZ
Neuburgstrasse 75A
CH-8408 Winterthur

Verfasser: Matthias Frei – MSc. ZFH in Umweltingenieurwesen
matthias.frei@ascschweiz.org

Bild Frontseite: Biobad Gwaggen 2021, Foto M. Frei

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Einleitung..... | 1 |
| 1.1. | Ausgangslage | 1 |
| 1.2. | Vorgehen & Ziele | 1 |
| 1.1.1 | Ziele | 1 |
| 2 | Grundlagen..... | 2 |
| 2.1 | Ziele der biologischen Wasseraufbereitung | 2 |
| 2.2 | Phosphor als limitierendes Element | 2 |
| 2.3 | Nährstoffbilanz | 2 |
| 2.4 | Biologische Wasseraufbereitung | 2 |
| 2.4.1 | Prozesse der biologischen Wasseraufbereitung..... | 3 |
| 2.5 | Beschrieb Technische Kategorie 4&5..... | 3 |
| 2.5.1 | Definition der zu erwartenden Gewässerqualität | 3 |
| 2.5.2 | Funktionsbeschreibung..... | 4 |
| 2.5.3 | Kurzbeschreibung der biologischen Wasseraufbereitung | 4 |
| 2.5.4 | Nährstoffmanagement | 4 |
| 3 | Bestandsaufnahme | 5 |
| 3.1 | Organisation | 5 |
| 3.2 | Rahmenbedingungen | 5 |
| 3.2.1 | Nährstoff - Einträge | 5 |
| 3.2.2 | Nährstoff - Austräge..... | 1 |
| 3.2.3 | Pflanzemittel..... | 1 |
| 3.3 | Hydraulik..... | 3 |
| 3.3.1 | Pumpen & Leitungen | 3 |
| 3.3.2 | Beckenhydraulik | 3 |
| 3.4 | Pflanzensandfilter | 5 |
| 3.4.1 | Oloid..... | 11 |
| 3.5 | Wassernachspeisung und -überlauf | 12 |
| 3.5.1 | Nachfüllwasser Qualität | 12 |
| 3.5.2 | Nachfüllwasser Quantität | 13 |
| 3.6 | Pflege und Unterhalt | 16 |
| 4 | IST-Zustand Gewässerqualität..... | 19 |
| 4.1 | Visuelle Beurteilung – Äussere Aspekte | 19 |
| 4.2 | Nutzung | 20 |
| 4.3 | Chemische Parameter..... | 22 |
| 4.3.1 | Phosphorverlauf | 22 |
| 4.4 | Mikrobiologische Beurteilung | 23 |
| 4.5 | Endbeurteilung..... | 23 |
| 4.6 | Übersicht Bestandsaufnahme und Gewässerbeurteilung..... | 24 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5 | Optimierungsvarianten..... | 25 |
| 5.1 | Bestand optimieren | 25 |
| 5.2 | Vergleich verschiedener biologischer Filter | 25 |
| 5.3 | Grobkonzept Variante 1: Kiesfilter..... | 27 |
| 5.4 | Grobkonzept Variante 2: Schwebebettfilter | 27 |
| 5.4.1 | Grobdimensionierung Variante 2..... | 29 |
| 5.4.2 | Grobkostenschätzung Variante 2..... | 30 |
| 5.4.3 | Grobkostenschätzung Unterhalt nach Umbau | 31 |
| 5.5 | Grobkonzept Provisorium..... | 31 |
| 5.5.1 | Zu erwartende Wirkung..... | 32 |
| 5.5.2 | Grobkostenschätzung Provisorium..... | 33 |
| 6 | Fazit / Empfehlung | 34 |
| 7 | Literatur | 35 |
| 8 | Verzeichnisse | 36 |
| | Abbildungsverzeichnis..... | 36 |
| | Tabellenverzeichnis | 37 |
| Anhang | | 39 |
| | Beispielbilder Filtertypen (Im Feld)..... | 39 |

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Im Frühling 2021 wurde beim Erstkontakt die folgende Situation geschildert und das Vorgehen sowie die Ziele definiert.

Aufgrund Rückzugs des Bäder-Planers in das ferne Ausland fehlte eine Unterstützung bei Betrieb und Wartung. Die Unterhaltsarbeiten wurden nach bestem Wissen durchgeführt. Die Aufwände in den vergangenen Jahren wurden allerdings als übermässig hoch empfunden, um die Beckenqualität zu erhalten, sowie den Filterbereich zu warten. Einzelne Überschreitungen der mikrobiellen Richtwerte sorgten zu Unmut, es war nicht klar, wie diese interpretiert werden sollen, bzw. welche Massnahmen ergriffen werden sollen.

Im Allgemeinen wurde aber vermerkt, dass die Badegäste mit dem Naturbad sehr zufrieden sind und sich auch Leute von weiter weg deshalb in dieses Bad gegeben. Die Gemeinde wolle grundsätzlich klar an der biologischen Wasseraufbereitung festhalten und die Umstände klären.

1.2 Vorgehen & Ziele

Für die vorliegende Untersuchung wurden die relevanten Daten zur standardisierten Qualitätsbeurteilung während der Saison 2021 aufgenommen. Die kontinuierliche Qualitätskontrolle ermöglicht eine Überwachung und Rückverfolgbarkeit der Entwicklung und erlaubt ein frühzeitiges Eingreifen in das biologische System, ein gezielteres Management der technischen Anlage sowie bei Bedarf eine frühzeitige Definition von zielführenden Massnahmen. In diesem Rahmen wurde eine systematische Untersuchung zur biologischen, mikrobiologischen und chemischen Entwicklung durchgeführt und eine Bewertung der Anlage vorgenommen.

Die Wartungs- und Pflegearbeiten wurden in laufender Absprache mit den beteiligten Personen koordiniert und durch die Angestellten des Werkhofes, dem Unterhaltspersonal sowie Mitarbeiter.ch ausgeführt.

Weiter wurden mehrere mögliche Massnahmen und Umbauvarianten erarbeitet, welche zu einer Verbesserung der Gewässerqualität bzw. Minimierung der Arbeitsaufwände führen soll.

1.2.1 Ziele

- Funktionskontrolle und Überwachung: Überprüfen der Gewässerqualität und -stabilität im Jahresverlauf
- Anlagenmanagement und Nutzerverhalten: Aufnahme, Dokumentation und Optimierung von Betrieb und Pflege
- Definieren von gezielten Massnahmen bei Bedarf
- Beurteilung der Anlage nach festgelegten Kriterien
- Optimierungskonzepte mit baulichen Eingriffen

Im folgenden Kapitel werden informativ kurz und sehr allgemein die wichtigsten Grundlagen der biologischen Wasseraufbereitung beschrieben.

2 Grundlagen

2.1 Ziele der biologischen Wasseraufbereitung

Das Badewasser muss so beschaffen sein, dass durch seinen Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger nicht zu besorgen ist und die visuelle Qualität den definierten Anforderungen gerecht wird. Daraus ergeben sich für die Wasseraufbereitung folgende Kernaufgaben:

Kernaufgaben der biologischen Wasseraufbereitung:

- Die sichere Erfüllung der mikrobiologischen Anforderungen des Badewassers bei Badebetrieb gemäss definierter Nennbelastung.
- Die sichere Kontrolle der Nährstoffe im Wasser, um übermässiges Algenwachstum zu vermeiden. Im Zentrum steht die Stabilisierung des Phosphorgehalts auf tiefem Niveau.

2.2 Phosphor als limitierendes Element

Jeder im Gewässer gelöste Stoff hat, unabhängig von seiner Konzentration, eine mehr oder weniger grosse Bedeutung für die Organismen und den Stoffumsatz im Gewässer. Darüber hinaus kann er je nach Verfügbarkeit und Bedarf zum Minimumstoff werden und durch seine Quantität den Stoffhaushalt der Organismen oder einzelne biochemische Prozesse begrenzen. Das Gesetz vom Minimum (Liebig 1862) besagt, dass der Ertrag (Produktion) von demjenigen Wachstumsfaktor abhängt, der im Verhältnis zu allen übrigen Faktoren im Minimum ist. Für den Aufbau jeglicher Art von Biomasse ist Phosphor erforderlich, der im Wasser gelöst oder organisch gebunden vorliegt. In biologisch aufbereiteten Badegewässern wird eine Phosphorlimitierung angestrebt.

2.3 Nährstoffbilanz

Gelangt insbesondere zu viel Phosphor in ein Gewässer, bewirkt dies ein zunehmendes Aufkommen von schwebenden oder fädigen Algen sowie Biofilmbelägen auf Oberflächen. Dies wird durch natürliche, aber gezielt gesteuerte Nährstoffkonkurrenz verhindert. In der Bilanz müssen alle durch Badegäste und andere Eintragsquellen in das Wasser eingebrachten Stoffe wieder aus dem System entfernt werden, damit keine Eutrophierung stattfindet. Die Nährstoffe gelangen in unterschiedlicher Form in das Gewässer und sollen mit geeigneten Massnahmen aus dem Gewässer entfernt werden können.

2.4 Biologische Wasseraufbereitung

Die angestrebte Wasserqualität soll mit verschiedenen Wasseraufbereitungsmechanismen langfristig gewährleistet werden. Die unterschiedlichen Belastungstoffe (Konsistenz, Grösse, etc.) machen es erforderlich, dass sich die Badewasseraufbereitung bei herkömmlichen und biologisch aufbereiteten Bädern aus mehreren Aufbereitungsstufen zusammensetzt, um die verschiedenen Wasserinhaltsstoffe zu reduzieren. Die Wasseraufbereitungsmechanismen sind entsprechend der kategoriespezifischen Merkmale zu planen.

Tabelle 1: Verschiedene zu erwartende Belastungsstoffarten im Wasser

| Art der Verschmutzung | Teilchengröße | Beispiele für Schmutzstoffe |
|-----------------------------|--------------------------------|---|
| Grobe Schwimmstoffe | größer als 1 mm | Haare, Schuppen, Textilfasern |
| Grobe Trübstoffe | 0,0001–1 mm | Hauptschuppen, Hauttalg, Seifenreste, Salben, Öle |
| Kolloidale Stoffe | 0,0001–0,000001 mm | Kosmetika, Schleim, Speichel, Mikroorganismen |
| Gelöste organische Stoffe | kleiner als 0,000001 mm gelöst | Harnstoff, Aminosäuren |
| Gelöste anorganische Stoffe | gelöst | Phosphor, Nitrate |

2.4.1 Prozesse der biologischen Wasseraufbereitung

Filter können trotz ähnlichem Aufbau unterschiedliche Aufgaben verschieden effizient bewältigen. Die Entfernung von Einträgen kann entweder durch mechanische Entfernung, Abbau (z.B. organische Stoffe, Stickstoff) oder durch Bindung an einem spezifischen Ort geschehen (z.B. Phosphor in Biofilmen oder Pflanzen). Aufgrund der Überlegungen zu den angestrebten Prozessen werden je nach Aufgabenstellung spezialisierte Filtertypen eingesetzt und zu einer Wasseraufbereitungskette zusammengestellt.

2.5 Beschrieb Technische Kategorie 4&5

2.5.1 Definition der zu erwartenden Gewässerqualität

Für die Kategorien 4 und 5 haben die zuordenbaren gewässerökologischen Leitbilder natürlichen Fließgewässern zu entsprechen. Diese per Definition oligotrophen Gewässer sind sehr nährstoffarm und weisen daher eine geringe organische Produktion im Wasser auf. Die geringe Phosphatzufuhr und entsprechenden Austragswege von Phosphor begrenzen das Algenwachstum, Trübungen und die Belagsbildung. Leicht rutschige und sichtbare Biofilmbeläge auf Oberflächen sind zu erwarten. Das im Wasser vorhandene Plankton ist sehr individuenarm, das Wasser im Normalfall sehr klar. Die Sichttiefe ist in der Regel grösser als 6 m. Das Wasser erscheint visuell blau bis grünlich. Es kann bei Überlastungen, speziellen Ereignissen wie Düngereinträgen vorübergehend zu Trübungen kommen. Um diesen Zustand langfristig zu erreichen ist eine entsprechend effiziente Wasseraufbereitungskette zu planen.

Tabelle 2: Trophiestufe – Qualitätsmerkmale für oligotrophe Gewässer

| | |
|--|-------------------------------------|
| | oligotroph |
| Sichttiefe (in Meter) | 5 bis 10, höchstens 15 -20 |
| Phosphatgehalt (mg/m ³) | >4 bis 10 (0 - 4 = ultraoligotroph) |
| Nitrat- und Ammonium-Gehalt im Herbst (mg N pro l) | höchstens 1 |
| Chlorophyllgehalt im Jahresmittel (mg/m ³) | weniger als 3,5 |
| O ₂ -Gehalt (in mg/l) | mehr als 8 |
| CSB (in mg/l) | 1 bis 2 |
| Bakterienzahl (Anzahl pro ml) | weniger als 100 |

2.5.2 Funktionsbeschreibung

Mit einem mechanischen Vorfilter werden grobe Feststoffe wie Blätter zurückgehalten. Mit einem Feinfilter können auch feinere Partikel entfernt werden womit ein Grossteil der organisch gebundenen Nährstoffe bereits vor deren Zersetzung aus dem System entfernt werden können. Durch diese Entfernung von Feststoffen kann die Wassertrübung minimiert und der darauffolgende Biofilter stark entlastet werden. Im biologischen Schnellfilter werden restliche Feinstoffe abgesetzt und die gelösten Nährstoffe im Biofilm gebunden. Über ein Rückspülverfahren werden diese Nährstoffe aus dem System ausgetragen. Die Kategorie 5 unterscheidet sich von einer Kategorie 4 nur noch gering und bietet normativ insbesondere bei der Biofiltergestaltung mehr Freiheit.

2.5.3 Kurzbeschreibung der biologischen Wasseraufbereitung

Durch die mechanische Filtration über ein Sieb oder Gitter kann bereits eine Vorfilterung zum Schutz der Pumpe und Entlastung des Feinfilters erfolgen. Mechanische Grobfilter eignen sich, um Blätter, Samen und andere, grössere Partikel zurückzuhalten. Die Maschenweiten der Filtersiebe liegen zwischen 3 und 100 mm und werden normalerweise von Hand entleert.

Noch feinere Partikel können vor den Biofiltern mit mechanischen Feinfiltern (Quarzsand, Vlies, AFM, Membran) entfernt werden. Mechanische Schnellfilter, die man auch aus der herkömmlichen Schwimmbadwasseraufbereitung kennt, werden am häufigsten eingesetzt. Diese können unter Druck betrieben und mit Mehrwegventilen rückgespült werden.

Nach der Entfernung von gröberen und feineren Partikeln sind die gelösten Nährstoffe, welche die mechanischen Reinigungsstufen passieren, zu entfernen. Aufgabe eines Biofilters ist die effiziente Aufnahme und Speicherung dieser gelösten Nährstoffe, insbesondere die Fixierung Phosphor. Durch Biofilmwachstum wird Phosphor in die Biomasse eingebaut und im Filterkörper gespeichert. Durch die anschliessende Entfernung des Biofilms durch den Rückspülvorgang wird das organisch gebundene Phosphor aus dem System entfernt. Die Leistung des Biofilters ist direkt abhängig vom Biofilmwachstum im Filter. Neben der effizienten Aufnahme von Nährstoffen im Filter, ist gleichermassen die anschliessende Entfernung im Biofilm gespeicherter Nährstoffe aus dem Filter massgebend.

2.5.4 Nährstoffmanagement

Damit Phosphor effizient von Mikroorganismen im Biofilm aufgenommen werden kann, müssen andere Nährstoffe wie z.B. Stickstoff oder Kohlenstoff in ausreichender Konzentration zur Verfügung stehen, damit keine Limitierung auftritt und sich Phosphor akkumuliert. Mit dem durch Dosierpumpen automatisierten Nährstoffmanagement werden unerwünschten Limitierungen vermieden, es wird damit für ausgeglichene Nährstoffverhältnisse im Biofilter gesorgt.

3 Bestandsaufnahme

3.1 Organisation

Die beteiligten Personen wurden für die geordnete Koordination während der Saison und für Rücksprachen wie folgt aufgenommen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Beteiligte Personen, Funktion und Verantwortlichkeiten

| Person | Funktion | Aufgaben / Kompetenzen |
|-----------------|--|---|
| Fabian Hell | Gemeinderat | Übergeordnete Entscheidungen/Verantwortung |
| Dieter Kunz | Leiter Bauamt | Bauprojekte |
| Chris Birrer | Leiter Werkhof | Verantwortung Unterhalt und Pflegearbeiten Aufbereitungsbereich |
| René Hedinger | Mitarbeiter Werkhof | Unterhalt und Pflegearbeiten Aufbereitungsbereich |
| Ringo Zielke | Bademeister | Leitung und Durchführung Pflegearbeiten am und um das Becken |
| Daniel Spörndli | Stv. Bademeister und Mitarbeiter Werkhof | |
| Div. | Mitschaffe.ch | Pflegearbeiten nach Anleitung |
| Matthias Frei | ASC SCHWEIZ | Beratung, Qualitätsprüfung, Datenerhebung, Beurteilung, Massnahmendefinition, Bericht |

3.2 Rahmenbedingungen

3.2.1 Nährstoff - Einträge

In der Bilanz müssen alle durch Badegäste und andere Eintragsquellen in das Wasser eingebrachten Stoffe wieder aus dem System entfernt werden, damit keine Eutrophierung des Wassers stattfindet und die mikrobiologischen Anforderungen langfristig erfüllt werden können. Einträge durch Badegäste, Luftdeposition, Frischwasser und Regen können nur bedingt reduziert werden.

Badegasteinträge können durch vorgängiges Duschen leicht reduziert werden, jedoch ist die Haupteintragsquelle von Nährstoffen über Badegäste Urin. Gemäss Literatur werden pro Badegast im Mittel ca. 4 g organische Substanzen (Hautpartikel, Haare, Kosmetika, Textilfasern etc.) (Saunus, 1989) und 70 ml Urin (Saunus 1989; Zwiener et al. 2007; Lindsay et al. 2007) durch Blasenleerungen in das Gewässer eingetragen. Die grösste Entlastung ist also eine gut zugängliche und erreichbare Sanitäranlage und die Sensibilisierung der Badegäste. Dies sollte zwar kommuniziert werden, ein Schild oder freundliche Hinweise sind durchaus möglich. Jedoch sollte dies nicht zu aufdringlich oder gar mit harten Konsequenzen umgesetzt werden (Siehe Google Rezensionen).

Um das Wasser und die Wasseraufbereitung nicht unnötig zu belasten, sind weitere und insbesondere erhöhte Einträge soweit möglich zu verhindern oder zu Minimieren. Das gleiche gilt auch bei chemisch aufbereiteten Bädern.

Randeinträge vom Umland können aufgrund unzureichender Randabschlüsse und Drainagen, insbesondere bei Hanglagen oder direkt angrenzenden Mauern und starken Regenereignissen,

das Gewässer zusätzlich belasten. Direkt an das Becken angrenzende Blumenbeete oder Pflanztöpfe sind zu vermeiden, da bei Starkregen Spritz- und Stauwasser entstehen kann und über nicht ausgefugte Pflanzenbereiche sehr schnell hohe Nährstofffrachten in das Becken eingetragen werden können (Abbildung 1).



Abbildung 1: Potenzielle Nährstoffeinträge durch nicht ausgefugte und an Wasserbecken grenzende Pflanzenbeete.

Rasenflächen in der gesamten Anlage sind ausschliesslich mit phosphorfriem Rasendünger zu düngen. Der Düngevorgang selbst kann sehr sorgfältig durchgeführt werden, womit der Eintrag in das Gewässer verhindert werden kann, jedoch können Phosphorfrachten über Rasenmäher aufgewirbelt und eingetragen werden oder über Füße und Körper der Badegäste in das Gewässer gelangen (Abbildung 2).

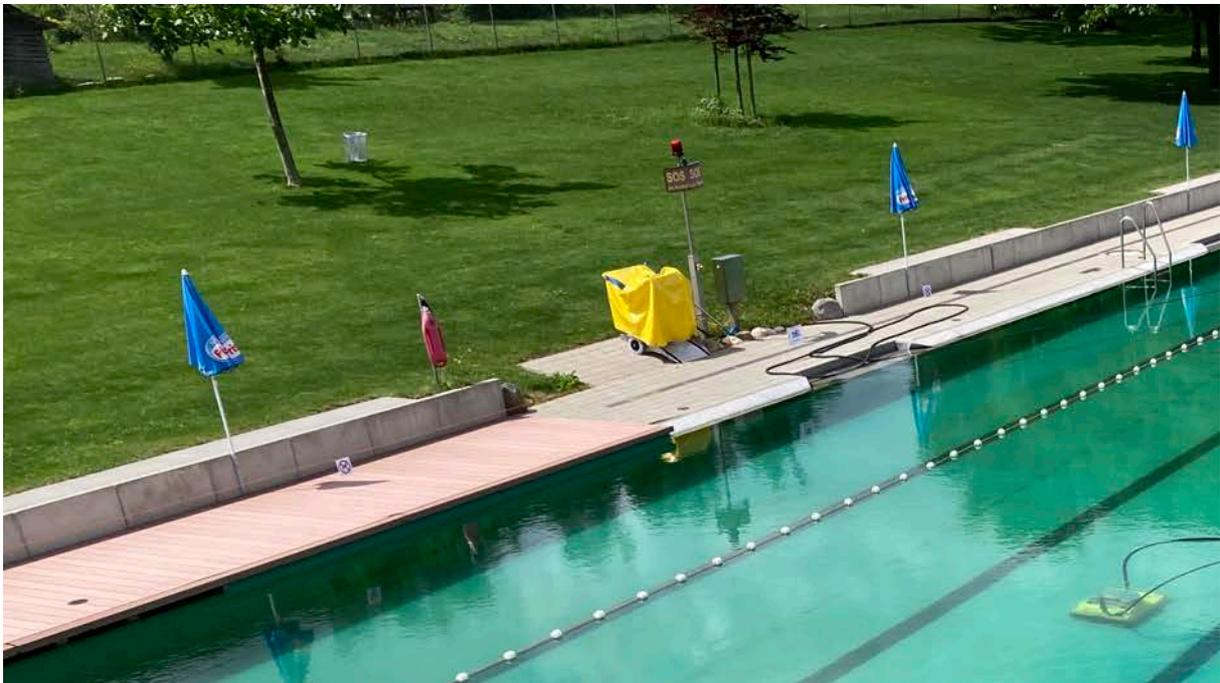


Abbildung 2: Angrenzende Rasen-Liegeflächen mit direktem Zugang zum Bad werden mit Rasendüngern (inkl. Phosphor) gedüngt.

3.2.2 Nährstoff - Austräge

Bei der Planung der Wasseraufbereitung müssen die unvermeidbaren Einträge (Kapitel 3.2) beachtet werden. Diese muss so dimensioniert werden, dass diese täglichen Nährstoff-Frachten wieder aus dem Wasser entfernt werden können. Die Austräge aus dem Wasser-Kreislauf erfolgen entsprechend der spezifischen Anforderungen der technischen Kategorie.

In Bilanz kann die vorhandene Wasseraufbereitung die Nährstofffrachten nicht verarbeiten. Aktuell findet im Naturbad Beringen der grösste Nährstoffaustrag aus dem Gewässer über die Reinigung (Algenabsaugung, Sedimententfernung, Roboter) statt. Der Pflanzenschnitt trägt allenfalls noch dazu bei, ist im Verhältnis zu den aufgenommenen Reinigungsarbeiten und den Algenentfernungen aber beinahe vernachlässigbar.

Nach Stand der Technik 2021 sind Biofilter so zu gestalten, dass die Filterschichten gereinigt/Rückgespült werden können, inkl. Unterboden des Filters. Dadurch werden im Biofilter aufgenommene Nährstoffe aus dem Kreislaufsystem geführt.

Die Filter sind so zu dimensionieren, dass die durch die Spitzenbesucherzahl eingetragenen Nährstoffe während der Hauptbesucherzeit (Normalfall Juli), aufgenommen und über die Wasseraufbereitungsanlage ausgetragen werden können. Nur so verringert sich das Algenwachstum.

Da die Filterschichten des vorhandenen Pflanzensandfilters nicht rückgespült oder manuell gereinigt werden können, lösen sich die aufgenommenen Partikel/Nährstoffe in den Schichten zurück in das Wasser (Mineralisierung), davon «ernähren» sich die Algen und Pflanzen.

3.2.3 Pflegemittel

Die Ursache von verstärktem Algen- und Belagwachstum oder Trübungen im Nutzungsbereich, ist entweder ein zu hoher Eintrag von Phosphor oder zu geringe Leistung der biologischen Wasseraufbereitung (siehe obige Kapitel). Um das Algenwachstum zu reduzieren ist die Ursache zu eruieren und zu eliminieren, bzw. das System und dessen Betrieb zu optimieren. Vorübergehend müssen Algen manuell entfernt werden, Algenvernichtungsmittel o.ä. dürfen nicht eingesetzt werden. Leider werden bei Algenwachstum oft aus Verzweiflung mehr oder weniger aggressive Pflegemittel für die schnelle Problemlösung verwendet. Damit werden jedoch meistens nur Symptome und nicht die Ursache des Algenwachstums bekämpft. Kurzfristig sind manche Vorgehen sehr effektiv, langfristig wird damit nichts oder gar das Gegenteil erreicht. Die Schwimmteichbiologie wird meist zusätzlich gestört. Zudem gibt es Mittel die gar zusätzlichen Nährstoffe in das System eintragen und schlussendlich das Gegenteil des Ziels bewirken.

Folgend werden die angewendeten Mittel genannt und beurteilt:

Dango-Würfel

«Dango-Würfel» enthalten gem. chemischer Analysen nach Auflösung pro 1kg knapp 1g Phosphor. 1kg Dango entspricht im Mittel dem Eintrag von ca. 50 Badegästen. Mit 1g Phosphor kann wiederum ca 1kg feuchte Algenbiomasse gebildet werden, wenn diese Fracht die Wasseraufbereitung nicht aufnehmen kann. Oder ganz grob: So viel kg Dango wie in das Gewässer eingebracht werden, so viel Algen und Beläge können potenziell auch wieder entstehen im schlimmsten Fall, ausser der Filter würde diese Binden. Sedimente sollen zudem nicht wie von EM beschrieben abgebaut werden, Ziel ist der Austrag. Ein Abbau bedeutet immer, dass Phosphor wieder gelöst und verfügbar wird, da Phosphor im Gegensatz zu Stickstoff keine relevante

Gasform kennt und somit nicht aus dem Gewässer verflüchtigen kann. D.h. es gäbe zwar eine Sedimentreduktion aber auch erneut Algen. Phosphorhaltige Pflegemittel sind unabhängig von deren sonstigen Wirkung nicht zulässig.

Teichfit

Teichfit: Die süsslich-säuerlich riechende Flüssigkeit beinhaltet aus chemischer Sicht insbesondere sehr viel Kohlenstoff, Stickstoff aber ebenfalls auch Phosphor.

Gemäss Produktebeschreibung und Datenblatt ist die Idee des Produkts, dass Bakterien in das Gewässer eingebracht werden: «Ein Multimikroben-Präparat, das speziell mit Photosynthesebakterien angereichert ist». Bakterien, die eine Photosynthese durchführen fallen in zwei verschiedene Gruppen, zum einen Mitglieder der Ordnung Rhodospirillales und zum anderen Cyanobakterien. Rhodospirillales sind Bakterien, die unter anaeroben (sauerstofflosen) Bedingungen die Photosynthese durchführen können. Eine Bedingung, die in Naturbädern per se nicht vorkommen darf.

Cyanobakterien (umgangssprachlich Blaualgen) sind insbesondere in Umgebungen mit Stickstoffmangel dominant und können je nach Art sehr unterschiedliche Toxine produzieren, die auch schädlich für Tiere und Mensch sein können. Es ist unklar was dieses Bakterium in einem Naturbad positiv bewirken soll.

Unabhängig davon welche Bakterien oder Mikroorganismen mit diesem Mittel genau eingebracht werden, sind die Bakterien, die in einem solchen Medium angezüchtet wurden, nicht auf die Bedingungen im Naturbad angepasst (sehr nährstoffarm, anderer pH-Wert, etc.). Es ist daher sehr fraglich ob von diesen eingebrachten Bakterien überhaupt überleben können. Gleichermassen sind die erforderlichen, nützlichen Bakterien nachweislich in offenen Gewässern und Naturbädern vorhanden (Frei et al. 2021).

Vielmehr ist ein deutlicher Effekt durch die Einbringung einer sehr nährstoffhaltigen Flüssigkeit mit viel Kohlenstoff und Stickstoff. Beide Nährstoffe fördern Bakterienkulturen im Filter und sind grundsätzlich positiv für diesen Teil der Anlage. Die Phosphoranteile sind jedoch negativ zu werten: 1 L Teichfit entspricht dem Eintrag von ca 1 Badegast.

3.3 Hydraulik

3.3.1 Pumpen & Leitungen

Die Rohrleitungsdimensionen, Umwälzraten und Pumpenauslegungen entsprechen dem technischen Stand bei Planung (Jahr 2015). Nach heutigem Stand der Technik (2021) würde eine höhere Umwälzrate (>2) angestrebt. Die Fördermengen der Pumpen sind per Kugelhahn eingestellt worden. Sinnvoller ist eine tatsächliche Pumpensteuerung per Frequenzumformer (FU). Damit kann die Pumpe ohne zusätzlichen Gegendruck genau eingestellt, somit technisch entlastet und Energie eingespart werden. Aufgrund des Filterwiderstandes auf der Saugseite konnten im Schnitt nur 80 m³/h gefördert werden.



Abbildung 3: Technikraum mit Pumpen für Kleinkinderbad, Hauptbad und Skimmer im Regenerationsbereich, 08.07.2021

3.3.2 Beckenhydraulik

Die Planung von Anströmung und Wasserverteilung im Becken eines Naturbades, ist im Vergleich zur chemischen Wasseraufbereitung differenzier zu betrachten. Eine schnelle und möglichst gleichmässige Wasserwechselrate vom Becken zu Filter sollte erzielt werden, jedoch muss die direkte Anströmung von Oberflächen verhindert werden. An angeströmten Oberflächen entstehen besonders schnell Algen und Biofilme, da dort die Nährstoffanlieferung verstärkt wird. Im chemischen Bad ist das Gegenteil der Fall; die Oberflächen werden absichtlich stark angeströmt und mit Desinfektionsmitteln versorgt, damit Biofilme und Algen abgetötet werden und nicht gedeihen können. Die Vorhandenen Düsen mit seitlichen Ausströmer-Schlitzten und die Lage der Düsen sind daher nicht optimal, die Biofilmbeläge an der Wand um die Düsen herum entsprechen dem Strömungsbild (Abbildung 4, Abbildung 5). Verbessert werden könnte diese Situation durch andere Düsenaufsätze. Optimaler wären offene Einläufe mit vergrößerter Durchmesser oder Einlaufkannten. Aufgrund der Sicherheitsbestimmungen dürfen bei Einläufen maximale Lochgrößen von 8 mm eingeplant werden. Vorsicht: Der Düsenaufsatz ist unter dem Folienflansch und der Folie fix an das Rohr geklebt (Abbildung 5)! Dieser müsste vermutlich herausgeschnitten und durch einen anderen Einsatz ersetzt werden. Ein Aufsatz mit Lochblech oder ähnlichem, anstelle der vorhandenen Düsenaufsätze würde die Problematik verbessern. Die Überlaufbauwerke sind gut umgesetzt.



Abbildung 4: Düsen mit seitlichen ausströmenden Schlitzen führen zu verstärkter Anströmung der Folien-Oberflächen und somit zu verstärkter lokaler Biofilmbildung, 16.09.2021



Abbildung 5: Düsen mit seitlichen ausströmenden Schlitzen und sichtbares Strömungsprofil auf der Folie, 16.09.2021

3.4 Pflanzensandfilter

Ein Pflanzensandfilter kann viele Wasserinhaltsstoffe auf natürliche Weise mineralisieren umwandeln oder (z.B. Stickstoff) in flüchtige Produkte transformieren. Dies geschieht im Wesentlichen durch ein Zusammenwirken von Filtermaterial (mechanischer Rückhalt), das Aufnehmen oder Abbauen der Wasserinhaltsstoffe durch Bakterien und organische Prozesse (biologisch), Adsorption an Bodenteilchen (physikalisch) sowie durch Fällungsreaktionen zwischen den Wurzeln (chemisch).

Die hauptsächlichen Austragsarten aus des Pflanzensandfilters sind Denitrifikation, Ammoniakverflüchtigung und anaerobe Ammoniak Oxidation (Anammox), also die Stickstoffentfernung. Daneben findet auch ein Austrag von gebundenen Nährstoffen über das Pflanzen-Schnittgut statt.

Im Gegensatz zu Stickstoff kann Phosphor nicht in gasförmiger Form abgeschieden werden, was im Weiteren bedeutet, dass Pflanzensandfilter (abgesehen vom Pflanzenschnitt) nur eine endliche Menge an Phosphor aufnehmen können. Es erfolgen Fällungsreaktionen aufgrund des im Bodenkörper vorhandenen Eisensalzes oder anderer Mineralien. Die Phosphorelimination nimmt nach den ersten Betriebsjahren meist stark ab. Darüber hinaus wird Phosphor von den Pflanzen als Nährstoff aufgenommen und kann dem Wasser so entzogen werden. Dieser Vorgang kann aber nur vollzogen werden, sofern die gewachsene Pflanzenbiomasse regelmäßig entfernt wird, da ansonsten der Phosphor bei der Verrottung wieder dem Wasser zugeführt wird. In Summe kann über den Pflanzenschnitt im Verhältnis zu heutigen Biofiltern nur wenig Phosphor pro m² Filteroberfläche ausgetragen werden, da die Pflanzenbiomasse pro m² Bodenfläche durch die Lichtabhängigkeit limitiert ist. Biofilme benötigen kein Sonnenlicht und können daher die Biomasse 3-Dimensional auch unter Boden bilden. Eine tatsächliche Rückspülung von diesen bewachsenen Bodenfiltern ist nicht möglich. Das Resultat davon, ist häufig (gleichermaßen in Beringen) die Kolmation (Abbildung 7) oder ungleichmässige Durchströmung aufgrund Durchbrüche (Abbildung 10, Abbildung 11) oder zu starker Durchwurzelung an einzelnen Filterstellen. Der Filter druckseitig ist fast nur noch an den unbepflanzten Stellen ohne hydraulischen Widerstand oder direkt an den Schächten durchströmt (Abbildung 8, Abbildung 9). Die übrigen Bereiche sind kaum mehr wirksam. Unter diesen Bedingungen kann das Wasser nicht mehr effizient aufbereitet werden. Das Vorkommen von *Pseudomonas aeruginosa* wird begünstigt, da dieser Indikatorkeim unter sauerstoffarmen Bedingungen sehr gut gedeiht.



Abbildung 6: Spärlich bewachsener Pflanzensandfilter auf der Ansaugseite der Pflanzensandfilter-Zone.



Abbildung 7: Verhärtete, kolmatierte Substratschicht im Filter saugseitig, 08.07.2021



Abbildung 8: Färbetest in einem Filtersegment, eingefärbt über einen Beschickungsschacht, 21.07.2021



Abbildung 9: Färbetest mit Uranin im Pflanzensandfilter, vollflächige Anwendung über Einlauf-Sammelschacht, 16.09.2021



Abbildung 10: Filterdurchschüsse druckseitig im vordersten Teil in Richtung Badebereich, 19.08.2021



Abbildung 11: Sichtbare Filterdurchschüsse, 19.08.2021

Aufgrund der geringen Korngrösse des Filters und der Wirkungsweise ist die hydraulische Beschickungshöhe (m^3 Wasser pro m^2 Filteroberfläche pro Stunde oder Tag) allgemein stark limitiert. Bei einem Durchlaufsystem mit geringem Wasservolumen oder kleineren Kreislaufsystem

ist dies meist weniger relevant, bei einem grossvolumigen Gewässer ist der Flächenbedarf aber häufig ein entscheidender Faktor, eine Umwälzrate >2 pro Tag ist erforderlich, bei starker Belastung ist die Umwälzrate entsprechend zu erhöhen und die biologische Wasseraufbereitung zu vergrössern.

Die Umwälzmenge wird in Beringen durch den hydraulischen Widerstand des Filters ansaugseitig limitiert. Das oberhalb liegende Filtermedium mit sehr feinem sandigem Anteil bis $<1\text{mm}$ Korngrösse kolmatiert sehr schnell. Der Wasserstand im Ansaugschacht sinkt gegenüber dem Wasserstand über dem Filter sehr schnell bei grösseren Umwälzmengen (Abbildung 12). Die Umwälzpumpe saugt dann Luft an, wenn diese mit voller Leistung betrieben wird, da der passive Nachlauf durch den Filter zu gering ist. Um dies zu reduzieren, wurde der Pflanzensandfilter durch Standrohre an verschiedenen Stellen kurzgeschlossen (Abbildung 13). Dadurch kann auch bei Kolmatierung die erforderliche Umwälzmenge gefördert werden, die Filterleistung wird gleichzeitig reduziert.

Angesammeltes oder aufgebautes und abgestorbenes organisches Material in den Filterschichten kann beim vorliegenden Filteraufbau nicht mehr entfernt werden, da die Zonen bis zum Boden mit Kies befüllt wurden und kein Zwischenraum oder Zugang für die Entfernung vorhanden ist. Gem. Abbildung 14 ist zu vermuten, dass dem groben Rundkies zusätzliche Feinanteile (weisslich) zugemischt wurden.



Abbildung 12: Hydraulischer Widerstand im Filter saugseitig, sichtbar über den Niveauunterschied im Ansaugschacht und der Wasserfläche des Filters um den Schacht (ca 30cm Differenz), 21.07.2021



Abbildung 13: Hydraulischer Kurzschluss über eingelegte Rohre auf der Saugseite des Pflanzensandfilters, 08.07.2021



Abbildung 14: Aufbau Pflanzensandfilter Naturbad Beringen

3.4.1 Oloid

Bei der geringen Tiefe und minimalen Nährstoffgehalt des Wassers (oligotroph), müssen keine anaeroben Zonen im Freiwasser bis zur Sedimentschicht befürchtet werden. In Abbildung 9 (Färbetest) ist deutlich erkennbar, dass eine vollständige Durchmischung des mittleren Wasserbereichs ohne Betrieb des Oloid vorhanden ist, eine Wärmeschichtung ist nicht auszuschliessen, wäre aber kein negativer Effekt. Sollte das Wachstum von Seerosen gefördert werden, ist der Oloid kontraproduktiv, Schwimmblattpflanzen reagieren sensibel auf Wellenbewegungen. Für die Wasseraufbereitung ist keine nachvollziehbare, positive Wirkung zu erwarten, jedoch auch keine weitere negative Auswirkung. Die Investition und Stromkosten stehen für diesen Zweck kaum in Relation zum effektiven Nutzen.



Abbildung 15: Oloid, 08.07.2021

3.5 Wassernachspeisung und -überlauf

3.5.1 Nachfüllwasser Qualität

Ein Wasserwechsel oder geregelter Frischwasserzusatz zur Aufrechterhaltung der Wasserqualität oder Entfernung von akkumulierten Substanzen ist nicht im Sinne der biologischen Wasseraufbereitung. Ein Ausgleich der Wasserverdunstung und Verluste über Badegäste mit Frischwasser ist jedoch unumgänglich.

Tabelle 4: Chemische Anforderungen an Füll- und Nachfüllwasser für öffentlich zugänglichen Badanlagen mit biologischer Wasseraufbereitung (SVBP, 2021)

| Nr. | Kategorie | Parameter | Einheit | RW ¹ | TW ² | Bemerkung |
|-----|--------------------------------|----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------|
| 1 | Chemische Anforderungen | | | | | |
| 1.1 | BAB Kategorie 1-3 | Phosphor Total | µg/l | <10 | <30 | |
| 1.2 | BAB Kategorie 4-5 | Phosphor Total | µg/l | <10 | <20 | |

¹) Richtwert (RW): anzustrebender Wert

²) Toleranzwert (TW): Wert, bei dessen Überschreitung eine verminderte Wasserqualität vorliegt. Referenzmessungen sind zu erheben und entsprechende Massnahmen zu ergreifen.

Gem. Aussagen des Werkhofes kann das Wasser für die Nachspeisung, je nach vorhandenen Wasserreserven, aus unterschiedlichen Quellen stammen. Bei grösseren Nachspeisemengen kann ein erhöhter Phosphorgehalt im Frischwasser zu einer zusätzlichen Belastung des Gewässers führen. Um den Phosphorgehalt im Frischwasser zur Nachspeisung zu reduzieren, wird dieses in Beringen über einen Eisenoxydfilter geführt. Die Stichprobenmessung hat ergeben, dass keine relevante Wirksamkeit vorhanden ist, sondern gar eine Rücklösung aus dem Filtermedium stattgefunden hat. Bei längerem Nichtgebrauch oder Übersättigung des Filtermediums kann dies der Fall sein. In diesen Tiefen Konzentrationen ist die Wirksamkeit von Eisenoxydfilter im Allgemeinen sehr gering. Die Frischwasserwerte entsprachen zum Zeitpunkt der Messung dem erforderlichen Richtwert für Nachfüllwasser von <10 µgP/l.

Tabelle 5: Überprüfung der Phosphorelimination aus dem Frischwasser durch den vorhandenen Eisenoxydfilter (Einmalige Messungen vom 21.07.2021)

| | Einheit | Saison Total | Bemerkung / Annahmen |
|-----------------------------------|---------|--------------|------------------------|
| Phosphorgehalt Zulauf zu Filter | µgP/l | 9 | Messung vom 21.07.2021 |
| Phosphorgehalt Ablauf vom Filter: | µgP/l | 11.5 | Messung vom 21.07.2021 |
| Phosphorelimination durch Filter | µgP/l | -2.5 | |



Abbildung 16: Eisenoxydfilter zur Phosphorelimination im Frischwasser

3.5.2 Nachfüllwasser Quantität

Aufgrund der von der Gemeinde abgegebenen Liste der Wassermengen, wurden die Verbrauchszahlen aufgenommen und die Kosten grob abgeschätzt (IST). Über Kennzahlen anderer Anlagen, wurde eine Verbrauchsabschätzung vorgenommen und ebenfalls die Kosten abgeschätzt (Soll) (Gemäss den Vergleichswerten ist der Wasserverbrauch im Naturbad Beringen aussergewöhnlich hoch. Im Verlaufe der Saison 2021 wurde klar, dass die Nachspeisung nicht nur bei Unterschreitung des minimalen Wasserstandes im Ausgleichsbecken (Pflanzbecken) vorgenommen wird, sondern laufend auf den Maximalwasserstand nachgefüllt wurde. Durch die Badegastverdrängung wird so laufend Wasser per Überlauf verloren. Teilweise wurde die Nachspeisung auch nach dem Erreichen des Überlaufs weiterlaufen gelassen. Zudem wurde das Kinderbecken täglich geleert, was ebenfalls zu Wasserverlust führt. Beides ist bei richtiger Handhabung nicht erforderlich. Kleinere Leckagen vom Personal im Schwimmbereich vermutet.

Durch die richtige Handhabung der Nachfüllung (z.B. Definition Minimalstand) sollte der Frischwasserbedarf ca. um die Hälfte gesenkt werden können. Sollte dies nicht der Fall sein, ist nach weiteren Ursachen für Wasserverluste zu suchen.



Abbildung 17: Abgesenkter Teil des Stellriemens beim Rand des Pflanzenfilters (Bachseitig) dient als Überlauf des Systems.

Tabelle 6: Auswertung des Frischwasserbedarfs für Reinigung, Neubefüllung, Nachfüllwasser (Mengenangaben aus der Saison 2020).

| | Einheit | Saison Total | Bemerkung / Annahmen |
|---|-----------------------|--------------|----------------------------------|
| Frischwasserbedarf (IST) | | | |
| Reinigung und Befüllung (IST) | [m ³] | 1'600 | |
| Nachfüllwasser (Verdunstung und Verluste über 119 Tage) | [m ³] | 5'424 | |
| Nachfüllwasser (Verdunstung und Verluste im Tagesdurchschnitt) | [m ³] | 45.6 | |
| Wasserverbrauch Total | [m ³] | 7'024 | |
| Frischwasser Preisannahme | [CHF/m ³] | 2.- | Exkl. Abwassergebühr |
| Geschätzte Kosten (IST) | [CHF] | 14'048.- | |
| Frischwasserbedarf (Soll) | | | |
| Geschätzter täglicher Nachfüllwasserbedarf im Tagesdurchschnitt nach Erfahrungswerten | [m ³] | 18 | 1cm/m ² /d |
| Geschätzter täglicher Nachfüllwasserbedarf (Verdunstung und Verluste über 119 Tage) gem. Erfahrungswerten | [m ³] | 2'142 | |
| Reinigungen und Befüllung | [m ³] | 1'600 | Annahme: wie bisher durchgeführt |
| Geschätzter Wasserverbrauch Total (Soll) | [m ³] | 3'742 | |
| Frischwasser Preisannahme | [CHF/m ³] | 2.- | |
| Geschätzte Kosten (Soll) | [CHF] | 7'484.- | |
| Geschätztes Einsparpotential gegenüber IST | [CHF] | 6'564.- | Ca. 47% |

3.6 Pflege und Unterhalt

Pflege- und Unterhaltsarbeiten sind wichtig für einen reibungslosen Betrieb und eine gute Wasserqualität. Die laufenden Arbeiten wurden vom Personal bereits weitgehend fachgerecht und verantwortungsvoll durchgeführt. Einige wenige Tätigkeiten wurden im Jahr 2021 nach Absprache leicht angepasst. Durch die Gegebenheiten des vorhandenen Systems konnten keine weitreichenden Massnahmen zur Optimierung vorgenommen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Aufwände im Jahr 2021 im Vergleich zum Vorjahr nicht stark verändert haben. In der Tabelle 7 wurden die durchschnittlichen Arbeitsaufwände nach Tätigkeitsbereich der Saison 2015-20 gem. Liste der Gemeinde ausgewertet und die Kosten grob abgeschätzt (IST). Über Kennzahlen vorhandener Anlagen, wurde eine Aufwandsabschätzung vorgenommen und ebenfalls die Kosten abgeschätzt (Soll).

Tabelle 7: Auswertung der Pflege- und Unterhaltsarbeiten über 5 Jahre bis 2020, gem. erhaltener Liste, sowie Aufwandabschätzung (Soll), nach Kennwerten von bestehenden Anlagen mit biologischer Wasseraufbereitung.

| | Einh. | Tages-schnitt | Saison Total | Zuständig-keit | Bemerkung / Annahmen |
|---|--------------|----------------------|---------------------|------------------------------|--|
| Betriebsdauer des Roboters | [h] | 16.5 | 1'963.5 | | 2 Roboter (Hochdruck und Normal) |
| Automatische Reinigung Total | | 16.5 | 1'963.5 | | |
| Reinigung Manuell | [h] | 7.0 | 833 | Mitschaffe.ch & Bademeister | Kinderbecken ca. 1h/d, Schwimmbecken ca. 6h/d |
| Roboter einsetzen/entnehmen | [h] | | | Bademeister | |
| Reinigung manuell (Wände, Treppen, etc) | [h] | 6.0 | 714 | Mitschaffe.ch | 119 Tage x 6h |
| Grundreinigung (Sedimente/Pflanzen) | [h] | 5.0 | 594 | Mitschaffe.ch | Saisonvorbereitung 33 Tage x 18h =594h / 119d |
| Pflanzensandfilter Pflege und Unterhalt | | | | | |
| Rückschnitt von Sumpfpflanzen | [h] | 3.7 | 440.3 | Werkhof Beringen | (Durchschnitt 5 Jahre) 437h / 119 d |
| Unterhalt und Pflege Pflanzensandfilter | [h] | 2.7 | 324 | Werkhof Beringen | 324h / 119d |
| Arbeitsaufwand Total (IST) | [h] | 24.4 | 2'906 | | |
| Geschätzter Aufwand (IST) | [CHF] | 714.- | 80'000.- | | Basisansätze interne Kosten (geschätzt) Mitschaffe.ch (20.-/h) Werkhof int. (50.-/h) |
| Geschätzter Aufwand Pflege nach Erfahrungswert (Soll) | [h] | 6 | 714 | | Erfahrungswert: 1.2h/32m2/W |
| Geschätzter Aufwand Pflege (Soll) | [CHF] | | 21'420.- | | Mit Mittellohn 30.- |
| Geschätzter Erfahrungsaufwand Wartung Biofilter, Technische Anlagen und Arbeit Techniker (Soll) [CHF] | [CHF] | | 10'000.- | Werkhof Beringen & Techniker | Kenngrosse ähnliche Anlagen, Annahme interne Kosten Werkhof int. (50.-/h) |
| Geschätztes Einsparpotential gegenüber IST [CHF] | CHF | | Ca. 50'000.- | | Entspricht >50% |

Gemäss den Vergleichswerten ist der Aufwand für die Pflege- und Unterhaltsarbeiten im Naturbad Beringen aussergewöhnlich hoch (Tabelle 7). Durch die Unterfunktion und mangelhafte Nährstoffreduktion im Pflanzensandfilter ist die Algen- und Belagsbildung in den Becken sowie den Filteroberflächen übermässig hoch. Die Entfernung dieser Biomasse erfordert erhöhte Aufwände in der manuellen Pflege.

Der Pflanzensandfilter kolmatiert aufgrund des Oberflächenbewuchses mehrfach während der Saison. Damit die Durchlässigkeit gewährleistet werden kann muss die Oberfläche laufend abgesaugt und gereinigt werden (Abbildung 18, Abbildung 19). Ohne diese Reinigung, muss die Umwälzrate reduziert werden, was wiederum zu einer verschlechterten Wasserqualität im Becken führt (Nährstoffanreicherung, Sedimentation, Algenbildung, Trübung).



Abbildung 18: Manuelles Absaugen der Oberflächen des Pflanzensandfilters, 08.07.2021



Abbildung 19: Austräge bei der Absaugung der Oberfläche des Pflanzensandfilters: Algen-Sand-Kies gemisch, 08.07.2021

4 IST-Zustand Gewässerqualität

4.1 Visuelle Beurteilung – Äussere Aspekte

Die visuelle Beurteilung erfolgte mit einem standardisierten Beurteilungsraster (Frei 2020). Dank intensiver, laufender Reinigung (siehe Kapitel 3.6) konnte im Jahresmittel eine gute optische Gewässerqualität erhalten werden. Beläge und Algen im Becken wurden laufend entfernt. Im September nahm die Belagsbildung im Becken zu.



Abbildung 20: Zustand 19.05.2021



Abbildung 21: Zustand 08.07.2021



Abbildung 22: Zustand 20.07.2021



Abbildung 23: Zustand 19.08.2021



Abbildung 24: Zustand 16.09.2021

4.2 Nutzung

Die Nutzung im Naturbad Beringen (Eintritte) entspricht den zu erwartenden Badegastanzahlen von einem Bad dieser Grösse (Verglichen mit Kennwerten von 11 öffentlichen Badeanstalten im Kanton Zürich) (Abbildung 25). Die Monatssummen waren im Jahr 2021 etwas tiefer als zu erwarten, kann aber an den schlechten Sommermonaten Juli und August der vergangenen Saison liegen (Abbildung 26).

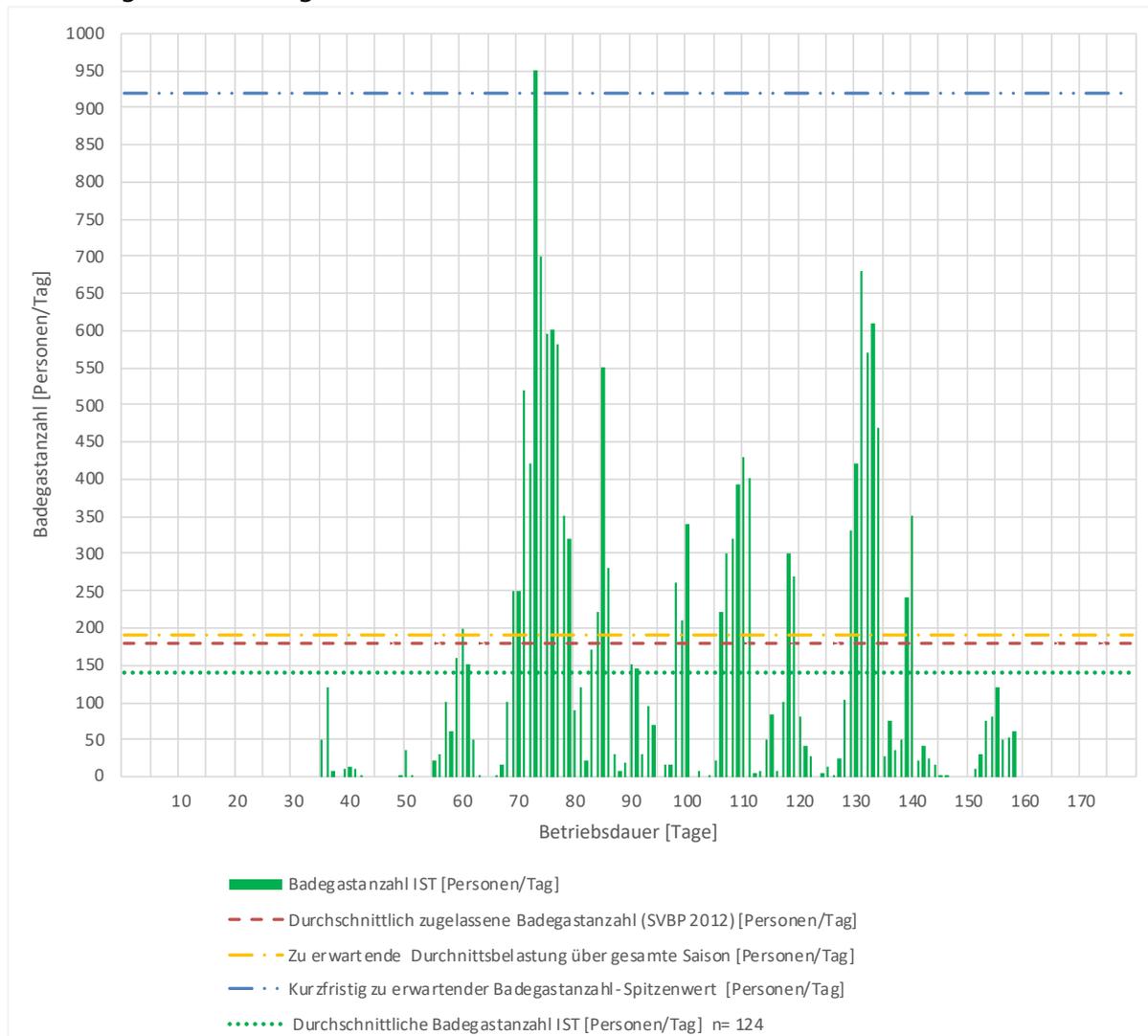


Abbildung 25: Summen der täglichen Badegäste (Eintritte) im Saisonverlauf, verglichen mit Vorgaben (SVBP 2012) und zu erwartenden Standardwerten (Frei 2022, unveröffentlicht).

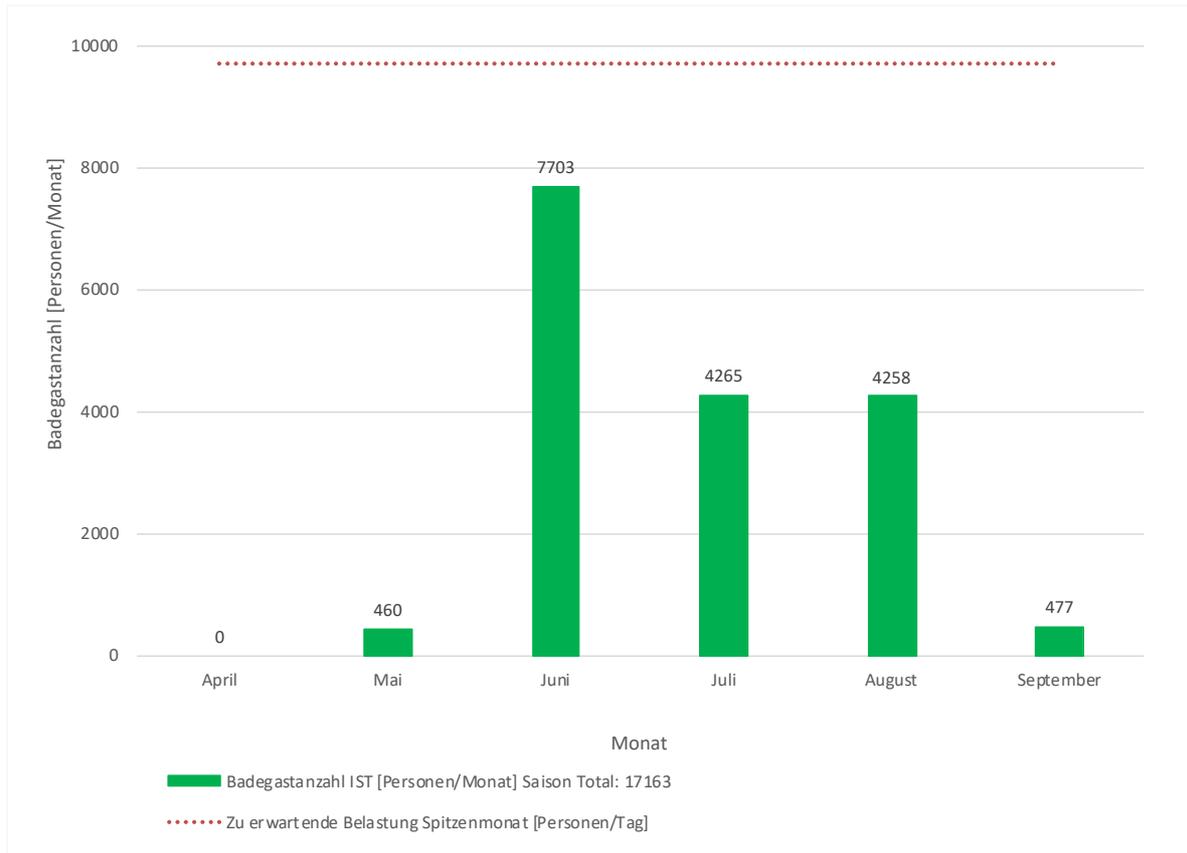


Abbildung 26: Summe der monatlichen Badegäste (Eintritte) im Saisonverlauf, verglichen mit zu erwartenden Standardwerten (Frei 2022, unveröffentlicht).

4.3 Chemische Parameter

4.3.1 Phosphorverlauf

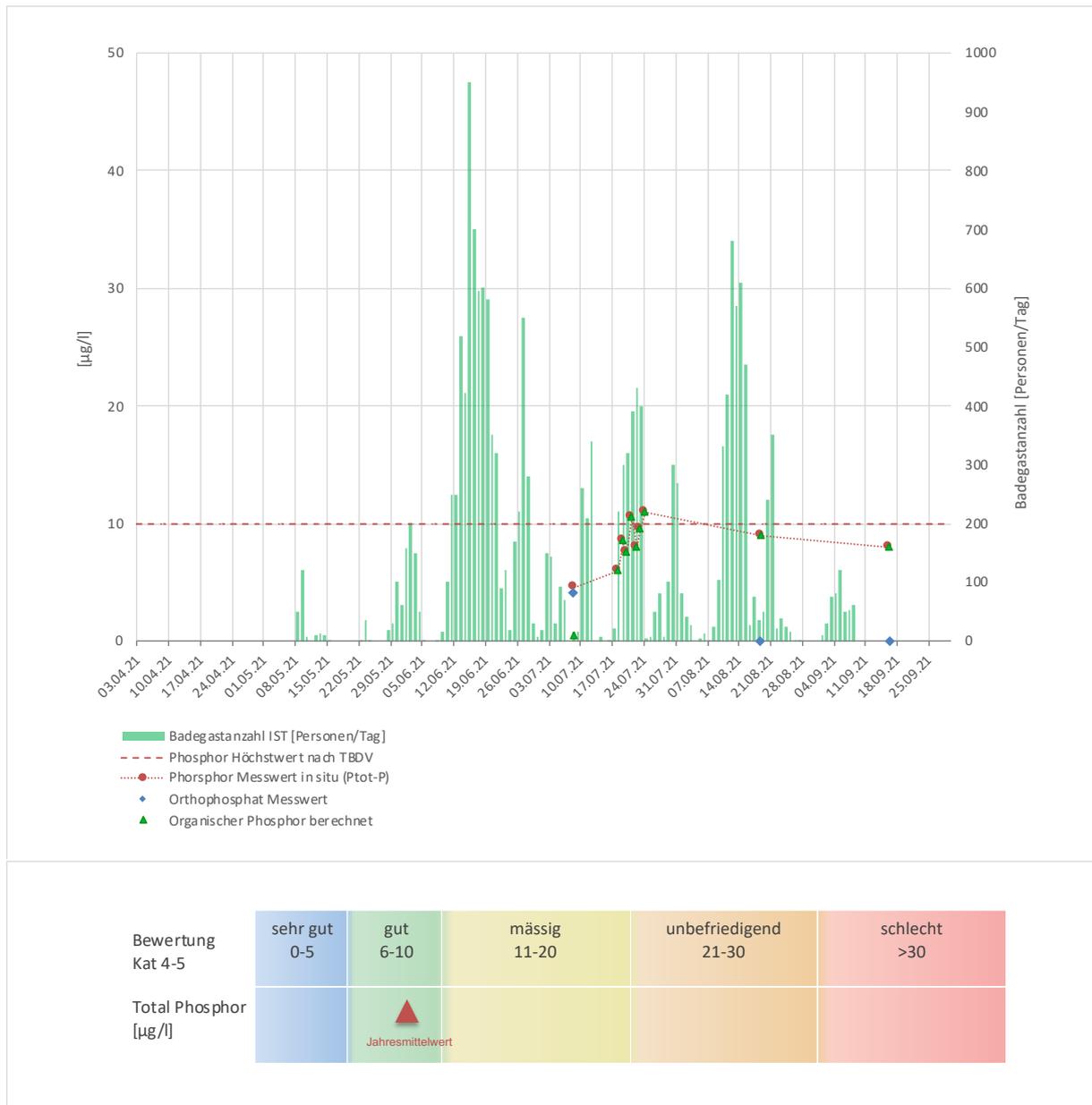


Abbildung 27: Real gemessener Phosphorverlauf (Stichproben) in situ, im Vergleich zur Summe der täglichen Badegäste (Eintritte) im Saisonverlauf 2021, mit Endbewertung nach (Frei 2020)

Die mittlere jährliche Phosphorkonzentration liegt mit 8 µgP/l unterhalb des Richt- und Grenzwerts des SVBP (2012) sowie unterhalb des Höchstwertes gemäss TBDV (EDI, 2016). Gemäss ASC-Bewertungsraster (Frei 2020) ist der Phosphorgehalt im Jahresmittel insgesamt als «gut» zu beurteilen.

4.4 Mikrobiologische Beurteilung

Da vom Jahr 2021 noch keine Zusammenfassung der Daten vorlag, wurden die Daten der vergangenen Jahre beurteilt.

Die mikrobiologischen Parameter, welche zur Beurteilung der hygienischen Badewasserqualität analysiert werden, erfüllten in den letzten 5 Jahren nicht durchgehend die Anforderungen des EDI (TBDV). Bei mehreren Stichproben lagen die Werte über den Grenzwerten der Verordnung. Gem. Beurteilungsmethode (Frei, 2020), welche sich auf die CH-Einstufung zur Untersuchung und Beurteilung der Badewasserqualität von See- und Flussbädern des Bundesamts für Umwelt BAFU stützt, erreicht die Gesamtbeurteilung dennoch ein gut. Eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch das Badewasser ist bei diesen Werten nicht zu erwarten (Schaffner et al., 2013).

4.5 Endbeurteilung

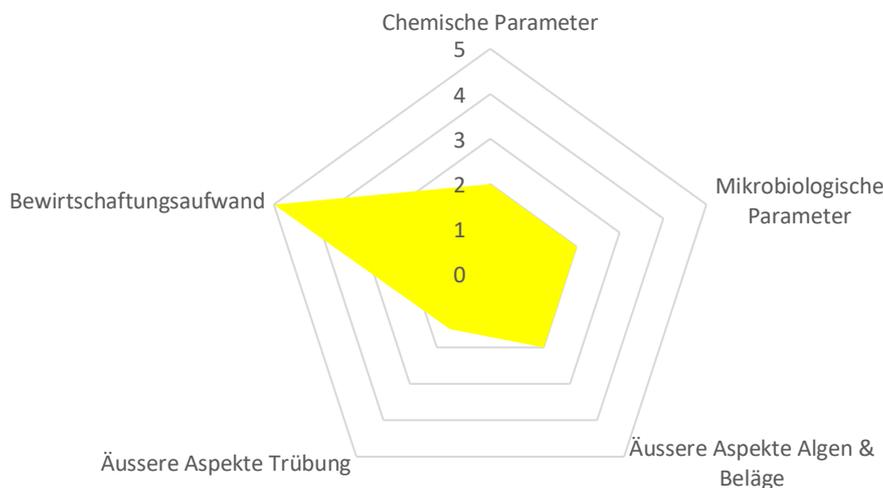


Abbildung 28: Bewertungsrelevante Parameter, aufgenommen im Naturbad Beringen mit Endbewertung nach (Frei 2020). 1=sehr gut, 2=gut, 3=mässig, 4=unbefriedigend, 5=schlecht

Die Phosphorkonzentration entsprach mehrheitlich den erwünschten Sollwerten, die Anlage erreicht im Beurteilungspunkt «chemische Wasserqualität» im Saisonmittel (2021) die Beurteilung «gut».

Die mikrobiologischen Parameter, die zur Beurteilung der hygienischen Badewasserqualität verwendet werden, lagen nicht bei allen Stichprobenmessungen, unterhalb der Höchstwerte der TBDV. Die Anlage erreicht im Beurteilungspunkt «Hygiene» im Saisonmittel (2015-20) die Beurteilung «gut».

Das Biofilm- und Algenwachstum wurde durch die manuelle und automatisierte Reinigung begrenzt, die Nährstoffausträge wurden insbesondere durch die Sedimententfernung und Reinigung gewährleistet. Die Anlage erreichte im Beurteilungspunkt «Äussere Aspekte» im Saisonmittel die Beurteilung «gut».

Die Anlage erreichte aufgrund des erhöhten Aufwands im Beurteilungspunkt «Pflege» im Saisonmittel die Beurteilung «schlecht».

In der Gesamtbeurteilung erreichte die Anlage insbesondere aufgrund der erhöhten Pflegeaufwände das Fazit „mässig“.

4.6 Übersicht Bestandsaufnahme und Gewässerbeurteilung

| | Kurzbeurteilung | Kapitel |
|--|--|----------------|
| Rahmenbedingung | | |
| Umland | Rasendüngung anpassen, Anliegende Beete aufheben und ausfügen, um Einträge zu vermeiden | 3.2 |
| | | |
| Hydraulik | | |
| Pumpen | Die Pumpenauslegungen und Umwälzraten entsprechen dem technischen Stand bei Planung (Jahr 2015) | 3.3.1 |
| Leitungen / Dimensionen | Die Rohrleitungsdimensionen entsprechen dem technischen Stand bei Planung (Jahr 2015) | 3.3.1 |
| Becken | Düsenverteilung ungünstig, führt zu erhöhter Belagsbildung | 3.3.2 |
| Pflanzensandfilter | Kolmatierung fortgeschritten und hydraulische Kurzschlüsse an Einzelstellen vorhanden. | 3.4 |
| | | |
| Pflege und Unterhalt | | |
| Arbeitsweise, Zeitpunkt und Massnahmen | Bisher sehr gut umgesetzt, einzelne Arbeiten wurden im Ablauf und Zeitpunkt angepasst. | 3.6 |
| Maschinen und Geräte | Pflege kann mit geeigneten Pflegegeräten etwas erleichtert werden. | 3.6 |
| Pflegemittel | Ungeeignete, nährstoffhaltige Pflegemittel in Anwendung, Einsatz wurde gestoppt | 3.2.3 |
| Aufwand | Die Aufwände sind massiv höher (ca. +100%) als gem. Standardwerten zu erwarten und ist als schlecht zu beurteilen. | 3.6 |
| | | |
| Gewässerbeurteilung | | |
| IST-Bewertung Becken | Visuelle, mikrobiologische und chem. Wasserqualität sind gut | 4.3 |
| Frischwasserqualität | Ok, Eisenoxydfilter ist nicht wirksam bei Tests | 3.5.1 |
| Frischwasserverbrauch | Bisher zu hoch (ca. +100%) gem. Standardwerten | 3.5.2 |
| Besucheraufkommen | Entspricht den zu erwartenden Grössen nach Stand der Technik (2021) | 4.2 |
| Einträge (zu Vermeidende) | Rasendünger, Beete, Duschen und Sanitäranlagen, Sensibilisierung Gäste | 3.2.1 |
| Einträge (einzuplanen) | Badegäste, Lufteinträge, Regen, Frischwasser | 3.2.1 |
| Austrag | Unzureichend geplante Austräge über die Wasseraufbereitung, Mängel werden durch den erhöhten Unterhalt aufgehoben. | 1.1.1 / 3.6 |

5 Optimierungsvarianten

5.1 Bestand optimieren

Wie unter Kapitel 3.4 beschrieben, kann der bestehende Filter ohne grössere bauliche Eingriffe nicht massgeblich verbessert werden. Anpassungen und Optimierungen der vorhandenen Rahmenbedingungen können nur geringe Verbesserungen bewirken.

Daher werden im Folgenden Abschnitt insbesondere mögliche Umbauvarianten aufgezeigt und beschrieben.

5.2 Vergleich verschiedener biologischer Filter

Das Funktionsprinzip von Pflanzensandfiltern bzw. mineralisierenden Langsamfiltern wurde im Kapitel 3.4 aufgezeigt. Um den Nährstoffeintrag über den Pflanzenschnitt gewährleisten zu können, wäre eine Fläche von ca 3900 m² notwendig (ca. 800m² vorhanden).

Biologische Schnellfilter (nach Stand der Technik 2021 gem.

Tabelle 13 im Anhang), können durch 3-dimensionalen Wirkungsweise (Biofilme brauchen kein Licht) in die Höhe oder Tiefe vergrössert werden und benötigen daher geringere Grundflächen. Die mögliche hydraulische Beschickung ist durch den geringen Widerstand von grobkörnigerem Filtermedium viel höher und bestimmt nicht primär die Grösse des Filters.

Kiesfilter (Festbett) sind die klassische Version des biologischen Schnellfilters, die als Nachfolger der Pflanzensandfilter in den letzten 15 Jahren sehr häufig eingesetzt wurden. Vorteil ist die bessere Regenerierbarkeit durch Rückspülung und die erhöhte Durchströmungsgeschwindigkeit gegenüber den Pflanzensandfiltern. Bei der Rückspülung wird das anfallende organische Material zwischen den Kiesschichten durch das Einblasen von Luft aufgewirbelt (ähnlich wie im Sprudelbad) und anschliessend ausgespült. So bleibt die Durchlässigkeit dieser Filter länger gewährleistet. Die Filterschichten können im Gegensatz zu Schwebebettfiltern aber nicht vollständig verwirbelt und neugeschichtet werden, der Wasserverbrauch und Zeitaufwand für die Rückspülung ist wesentlich höher als bei Schwebebettfiltern.

Schwebebettfilter können einfach rückgespült, das schwimmende Filtermedium mit Luft vollständig verwirbelt und neugeschichtet werden. Dadurch wird der Filter nach einer Rückspülung beinahe auf den Neuzustand zurückgesetzt, ohne einen nennenswerten Verschleiss am Filtermedium zu verursachen. Dadurch ist kein Ende der Lebensdauer des Filters abzusehen. Die Rückspülung ist bei guter technischer Umsetzung verhältnismässig einfach und schnell durchzuführen.

Die Filterleistung (Phosphorentzug pro m³ Filtermaterial) kann bei diesem Filtertyp zusätzlich stark erhöht werden, dies würde bei Filtern mit feinkörnigem Substrat umgehend zu einer Kolmatierung führen. Die Wasseraufbereitung erfolgt nach wie vor durch natürliche Prozesse, wirkt durch die technische Ausführung aber nicht gleich natürlich wie ein Pflanzenfilter. Bei Betrachtung des geringeren Flächenbedarfs des Biofilters, bleibt aber eine grössere Fläche für die tatsächlich natürliche Bepflanzung (mit Mehrwert für die Biodiversität) übrig. Im Falle von Beringen würde die erforderliche Fläche nur einen kleinen Teil der bestehenden Pflanzenzone benötigen, der Rest könnte bestehen bleiben und als Biotop erhalten werden. Aufgrund der Lebensdauer eines vollständig rückspülbaren Biofilters ist auch die Nachhaltigkeit insgesamt besser. Die Filtermedien und Baumaterialien (PE oder PP) von Schwebebettfiltern sind 100% recyclebar.

Tabelle 8: Vergleich von Kennzahlen und Dimensionen dreier Filtertypen für die biologische Wasseraufbereitung in Beringen

| Filter | Einheit | Kiesfilter | Schwebebett | Pflanzenfilter |
|--|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Filtermaterial & -dimensionen | | | | |
| Filtertyp | | Biol. Schnellfilter Festbett | Biol. Schnellfilter Schwebebett | Langsamfilter Festbett |
| Filtermaterial (FM) | | Kies 16-32 | Künstliches Filtermedium | Sand und/oder Reaktives Filtermedium |
| Flächenbedarf (Nährstoffe) | m ² | ca. 600 | ca. 150 | ca. 3900 m ² |
| Einbau Unterflur möglich | | Ja | Ja | nein |
| Bepflanzung | | Nein | Nein | möglich |
| Filterbeschickung | | | | |
| Strömungsrichtung | | Vertikal | Vertikal | Vertikal |
| Beschickungsgeschwindigkeit | m/h | >2 | >10 | <0.3 |
| Beschickung neu geplant | m ³ /h | 315 | 315 | 315 |
| Hydraulischer Flächenbedarf (aufgrund max. Beschickung) | m ² | n. relevant | n. relevant | 1'050 m ² |
| Gleichmässigkeit der Filterdurchströmung | | | | |
| Längste Filterstrecke die durchströmt wird | m | 1.5 | 2 | 1 |
| Neuschichtung Filterbett bei Rückspülung möglich | | Nicht möglich | Ja | Nicht möglich |
| Gleichmässigkeit der Durchströmung (langfristig) | | + | ++ | - |
| Effizienz Rückspülung | | | | |
| Blower (Luft für RS) | | Ja | Ja | Nein |
| Rückspülwassermenge pro Rückspülung | | ca. 500 m ³ pro Jahr | ca. 200 m ³ pro Jahr | - |
| Verwirbelung des Filtermaterials bei RS | | Nein | Ja | Nein |
| Zugänglichkeit des Filterbodens unter der Schüttung | | Ja | Ja | Nein |
| Reinigung des Filtermaterialtyps bei optimaler Rückspülung und Bodenzugang | | Ca. 50% | Ca. 80% | - |
| Lebensdauer | | 10-15 Jahre | >20 Jahre | Ca. 10 Jahre |
| Nährstoffmanagement Filter | | Möglich | Ja | Nicht möglich (Kolmatierung) |
| Betriebsmittel für P Akkumulation | | Kohlenstoffquelle für Biomasseaufbau | Kohlenstoffquelle für Biomasseaufbau | Keine |

5.3 Grobkonzept Variante 1: Kiesfilter

Bei dieser Variante wird die komplette Regenerationszone mit einem Saugbagger ausgepumpt und die Filterschichten in den bestehenden Zonen neu aufgebaut. Die Filterschichten mit Kies (8-16) würden im Gegensatz zum heutigen Filter auf ein Gitter mit Abstand zum Boden aufgebaut, womit der Filterunterboden frei bleibt und gereinigt werden kann. Das Kies kann bei der Filterreinigung von oben nach unten durchgespült werden.

Die Rückspülung bei der grossen erforderlichen Fläche ist zeitlich aufwändig und benötigt viel Wasser. Am bestehenden hydraulischen System würde keine Anpassung vorgenommen werden. Eine Lebensdauer von ca 10-15 Jahren kann gewährleistet werden, danach kann ein erneuter Substrataustausch erforderlich werden.

Da diese Variante von der Lebensdauer endlich ist, der Platzbedarf gross (ca 600m²) und die Unterhaltsarbeiten eher aufwändig sind, wird von dieser Variante abgeraten. Bei Bedarf kann die Variante noch weiter ausgearbeitet werden.

5.4 Grobkonzept Variante 2: Schwebebettfilter

Die jetzige Filterzone wird bei dieser Variante komplett abgekoppelt und 12 modulare, runde Schwebebettfilter hinter der Beckenmauer in die Regenerationszone eingebettet (Abbildung 29).

Die aktuelle Pflanzenfilterzone wird hydraulisch komplett vom System abgetrennt. Dieser Teil kann dann z.B. mit geeignetem Seerosensubstrat ausgestaltet werden und mit kleineren Anpassungen als Weiher für das Auge, sowie Flora und Fauna erhalten oder rückgebaut werden. Die neuen Filter und der Ausgleichstank werden direkt am Steg angrenzend versetzt und kann optional mit einer Holzdeckerweiterung überdeckt werden. Dadurch würde sich visuell nur wenig ändern und eine neue Liegeplattform entstehen. Ein Holzsteg dieser Grösse ist jedoch ein nicht zu vernachlässigender Kostenfaktor.

Das hydraulische System kann weitgehend bestehen bleiben, die Einströmer sollen (so oder so) abgeändert werden. Um die Umwälzrate zu erhöhen, wird das hydraulische System leicht angepasst und mit effizienten Pumpen ergänzt. Das Kinderbecken wird gleich wie bisher über die bestehende Pumpe betrieben.

Um die Qualität bei stärkerer hygienischer Belastung sicher gewährleisten zu können, sind ebenfalls UV-Lampen einberechnet. Diese eliminieren lokal Keime ohne Desinfektionsmittel in das Wasser abzugeben und beeinträchtigen das biologische System nicht. Die Technologie wird in der Trinkwasseraufbereitung und Fischzucht eingesetzt und kann mit einem stark konzentrierten, lokalen Sonnenstrahl verglichen werden. Bei gleicher Nennbelastung kann damit auch die hygienische Situation an Spitzentagen verbessert werden.

5.4.1 Grobdimensionierung Variante 2

Tabelle 9: Neue Kennzahlen der Grobdimensionierung bei Variante 2

| | Kurzzeichen | Wert | Einheit | Bemerkung / Annahmen |
|---|-------------|--------|--------------------------------|---|
| Definition Nennbelastung (Eintritte) | | | | |
| Nennbelastung Summe Saison über 125 Tage | N_S | 20'000 | Bg/d | Gemäss Eintrittszahlen Beringen |
| Durchschnittliche Badegastanzahl pro Tag in der Spitzenwoche | N_{dw} | 450 | Bg/d | Relevant für die Leistung der Biofilter (längerfristiger Nährstoffentzug) |
| Maximal zu erwartende Spitzenbelastung pro Tag | N_{max} | 850 | Bg/d | Relevant für die kurzfristige hygienische Situation |
| Durchschnittliche Badegastanzahl über 125 Tage | N_d | 160 | Bg/d | |
| Volumenstrom | | | | |
| Volumenstrom Hauptkreislauf | Q | 320.0 | m ³ /h | |
| Umwälzzeit | Q_t | 5.63 | h | |
| Umwälzrate | Q_r | 4.27 | | |
| Nährstoffbelastung | | | | |
| Phosphoreintrag pro Badegast | P_{Bg} | 20 | mg/Bg | |
| Phosphoreintrag pro m ² Wasseroberfläche | P_A | 0.5 | mg/m ² | |
| Phosphoreintrag Total | P_{tot} | 17'548 | mg/d | |
| Phosphoreintrag Total | P_{tot} | 17.5 | g/d | |
| Biofilter | | | | |
| Spez. Oberfläche Filtermedium | | 767 | m ² /m ³ | |
| Täglicher Phosphor Entzug pro m ³ Filtermedium | PE_{24} | 178.6 | mg/m ³ | |
| Volumen des definierten Filtermedium im Biofilter SOLL | V_{BF} | 98.3 | m ³ | |
| Volumen des definierten Filtermedium im Biofilter geplant IST | V_{BF} | 102.0 | m ³ | |
| Volumen des definierten Filtermedium im Biofilter Reserve | V_{BF} | 3.7 | m ³ | |
| Ausgleichsbecken | | | | |
| Ausgleich Verdunstungshöhe und Überstauhöhe ÜL-Kante | | 94.7 | m ³ | |
| Badegastverdrängung | | 25.5 | m ³ | Bei 255 Bg gleichzeitig im Becken |
| Ausgleichsvolumen SOLL | V_A | 120.2 | m ³ | |

5.4.2 Grobkostenschätzung Variante 2

Die Grobkostenschätzung (+/-20%) wurde auf Basis Machbarkeitsstudie vorgenommen.

Tabelle 10: Grobkostenschätzung Umbau zu Variante 2

| Kostenrechnung Provisorium | | |
|---|-------|------------------|
| Projektierung über alle Phasen (inkl. Ausschreibung falls notwendig) | [CHF] | 57'000.- |
| Vorarbeiten <ul style="list-style-type: none"> - Installation und Displacement - Bepflanzung Klärbecken teilweise roden - Baustellenzufahrt / Umschlagsplatz - Diverse Abbruch- und Abräumarbeiten - Vorhandene Regenerationszonen teilweise Ausräumen - Material-Abfahren Transporte | [CHF] | 66'000.- |
| Erd-/Aushubarbeiten <ul style="list-style-type: none"> - Aushubarbeiten Biofilter / Ausgleichsbecken - Abfuhr von Aushubmaterial | [CHF] | 12'000.- |
| Ausgleichsbecken <ul style="list-style-type: none"> - Vorarbeiten - Schalungen - Aussparungen und Einlagen - Bewehrungen, Bewehrungszubehör - Anschlussbewehrungen - Beton für Fundamente, Boden- und Schlepplatten - Beton für Wände und Stützmauern - Oberflächenbearbeitungen - Hinterfüllung - Wandanschlussbleche - Abdichtung | [CHF] | 63'000.- |
| Biologische Wasseraufbereitung im halboffenen Technikraum <ul style="list-style-type: none"> - 12 Stk Biofilter komplett: Durchmesser: 240 cm - Höhe: 280 cm, inkl. UVC, Luftheber, Filtermedium - Abdeckung über Filter - Vorarbeiten - Schalungen - Aussparungen und Einlagen - Bewehrungen, Bewehrungszubehör - Anschlussbewehrungen - Beton für Fundamente, Boden- und Schlepplatten - Beton für Wände und Stützmauern - Oberflächenbearbeitungen - Hinterfüllung | [CHF] | 426'000.- |
| Wasserumwälzung/Leitungsanpassungen <ul style="list-style-type: none"> - Ansaug- / Druckleitungen - Diverse Montagematerial - Anpassungsarbeiten bestehende Technik | [CHF] | 31'000.- |
| Verschiedenes <ul style="list-style-type: none"> - Instandstellungsarbeiten - Absturzsicherung - Reserve | [CHF] | 15'000.- |
| Holzabdeckung (Optional) | [CHF] | (68'000.-) |
| Kostenschätzung (+/- 20%) | [CHF] | 670'000.- |

5.4.3 Grobkostenschätzung Unterhalt nach Umbau nach Variante 2

Bei Umbau nach Variante 2 kann davon ausgegangen werden, dass sich die Unterhaltskosten stark reduzieren. Die Berechnung ist keine Vollkostenrechnung, sondern beinhaltet nur die Kostenpunkte, welche sich mit einem Umbau massgeblich ändern würden. Kosten für fix angestelltes Personal, Betriebsmittel, Bestehender Stromverbrauch, etc. wurden nicht einbezogen. Der Frischwasserverbrauch kann ebenfalls reduziert werden, jedoch ist ebenfalls bei der bestehenden Anlage eine Einsparung bei sachgemässer Nachspeisung möglich.

Tabella 11: Geschätztes Einsparpotenzial für Pflege und Unterhalt Gesamtanlage bei Umbauvariante Version 2.

| | Einheit | Saison Total | Bemerkung / Annahmen |
|---|---------|--------------|----------------------|
| Kostenrechnung Umbauvariante 2 | | | |
| Geschätzter Aufwand bisher (IST) | [CHF] | Ca. 80'000.- | Gem. Kapitel 3.6 |
| Geschätzter Aufwand Pflege Becken (Soll) | [CHF] | Ca. 21'000.- | Gem. Kapitel 3.6 |
| Geschätzter Erfahrungsaufwand Wartung Biofilter, Technische Anlagen und Arbeit Techniker (Soll) | [CHF] | Ca. 10'000.- | Gem. Kapitel 3.6 |
| Betriebsmittel zur Leistungsförderung der Biofilter (Kohlenstoffzufuhr) | [CHF] | Ca. 5'000.- | |
| Zusätzlicher Stromverbrauch aufgrund erhöhter Umwälzung | [CHF] | Ca. 4'000.- | |
| Geschätztes, jährliches Einsparpotential Pflege und Unterhalt gegenüber IST | [CHF] | Ca. 40'000.- | |

5.5 Grobkonzept Provisorium

Einer der aktuellen Kostentreiber für die Pflege ist der Biofilter saugseitig. Wie beschrieben findet auf der ansaugenden Seite eine rasche Kolmatierung statt, die nur durch regelmässiges Absaugen der Oberflächen reduziert werden kann. Die Umwälzrate muss im Betrieb deswegen reduziert werden, um das Ansaugen von Luft zu verhindern. Damit die Filterleistung kurzfristig verbessert werden kann, sollen vorübergehend 3 Biofilter zugeschaltet werden und gleichzeitig die Pflanzenzone auf Saugseite ausgeschaltet werden (Abbildung 31). Dadurch könnte die gesamte Umwälzrate bereits wieder erhöht und die Pflege auf der ansaugenden Filterseite während der Saison komplett eingestellt werden. Das Wasser im gesamten Regenerationsbereich wird so abgesenkt belassen, dass die Pflanzen noch Wasser an den Wurzeln bekommen, die Oberfläche des Pflanzensandfilters aber über dem Wasserstand zu liegen kommt (Filteroberfläche wird trocken). Somit kann die Algenbildung unterbunden werden und der Austausch von Wasser im Filter zur Oberfläche wird reduziert. Der Zulauf der provisorischen Filter wird per Tauchpumpen im Regenerationsteil gewährleistet, der Rücklauf wird an 3 Ansaugschächten angeschlossen und der Pflanzensandfilter somit kurzgeschlossen. Die übrigen Schächte auf der Saugseite werden abgeschiebert. Die Druckseite des Pflanzensandfilters (Seite Pumpenhaus) wird weiterhin wie bisher betrieben. Auch hier kommt die Oberfläche des Sandes aber über die Wasseroberfläche, einzelne «Wassergräben», die an der Oberfläche geschaffen werden, sollen einen besseren Rücklauf gewährleisten. Das Provisorium wird in eine Schiffscontainer eingelassen (abweichend von der Visualisierung) und kann so relativ einfach aufgestellt, später abgeräumt und im bestehenden System eingebunden werden.

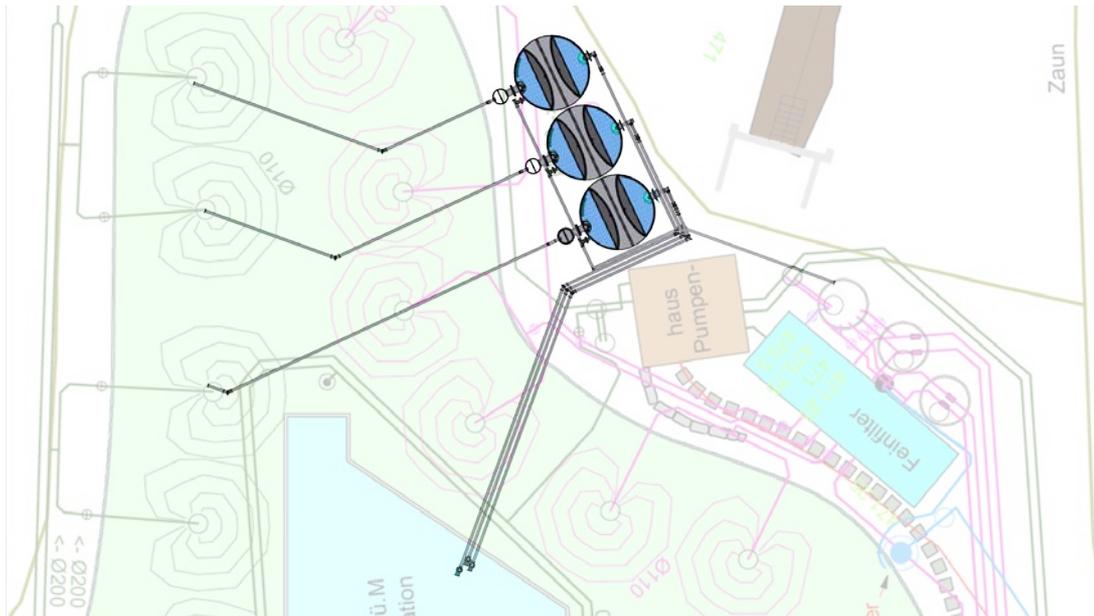


Abbildung 31: Anordnung der 3 provisorisch aufgestellten Biofilter hinter dem Pumpenhaus.

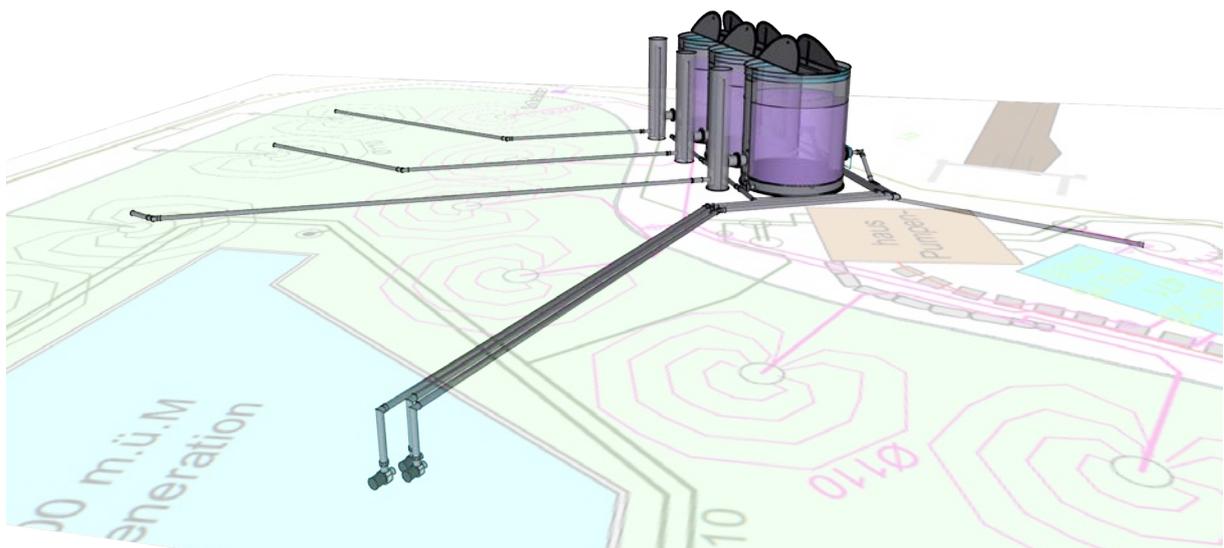


Abbildung 32: Visualisierung der 3 provisorisch aufgestellten Filter mit Tauchpumpen im Tiefenwasserbereich und Rückläufen zu den vorhandenen Ansaugschächten.

5.5.1 Zu erwartende Wirkung

Primär sollen durch diese Massnahme die Arbeitsaufwände im Bereich der Pflanzenfilterzone umgehend reduziert leicht verbessert werden. Die Gewässerqualität im Becken soll ebenfalls leicht verbessert werden, jedoch wird die Dimensionierung dieser drei Filter noch nicht ausreichen, um im Becken eine starke Verbesserung in der Hauptsaison zu bewirken, dafür ist die Dimension bzw. Filterleistung von drei Filtern zu klein (25% des Bedarfs). Im Becken ist mit dieser Massnahme also mit ähnlichen Pflegeaufwänden wie bisher zu rechnen.

Gleichermassen soll das Unterhaltspersonal die Filter testen können, das Handling kennen lernen und Erfahrungen damit sammeln. Im folgenden Abschnitt werden die zu Erwartenden Einsparungen und Kostenpunkte aufgelistet. Die Angaben sind als Schätzwerte zu verstehen.

5.5.2 Grobkostenschätzung Provisorium

Tabelle 12: Grobkostenschätzung Provisorium; Erstellung und Materialkosten, Wiederherstellung, Pflege und Unterhalt Gesamtanlage.

| | Einheit | Saison Total | Bemerkung / Annahmen |
|--|---------|--------------|---|
| Kostenrechnung Provisorium | | | |
| Grobkosten Material Provisorium: 3 Tauchpumpen, 3 Biofilter, Verrohrung, UVC, Luftheber, etc., Im Schiffscontainer verbaut | [CHF] | 150'000.- | Leihweise Vergeben durch Eco-pool |
| Geschätzter Aufwand Erstellung Provisorium: Arbeit und Material inkl. Transporte, Erstellung prov. Bodenplatte, Verrohrung, Transport, Wiederherstellung. | [CHF] | 40'000.- | Arbeitsaufwand Provisorium |
| Total Kostenschätzung Provisorium (Aufwand und Materialkosten) | [CHF] | 190'000.- | Richtofferte Lehner AG 17.03.2022 |
| Kostenübernahme Gemeinde für Einrichtung des Provisoriums für die Saison 2022, mit Wiederherstellung zum IST-Zustand | [CHF] | 40'000.- | Aufwände und Materialverluste |
| Zusätzliche Transportkosten, Abschrieb und Verluste Material bei Rücknahme (Filter, Pumpen, Leitungen, UV, etc.) zu Lasten Gemeinde | [CHF] | 10'000.- | Zusätzliche Materialverluste und Transportkosten |
| Resultierende Kosten Gemeinde für das Provisorium für die Saison 2022 – <u>bei Wiederherstellung und keinem Umbau bzw. Variante 1</u> | [CHF] | 50'000.- | Aufwände und Abschreibung Material |
| Fall-Annahme: Provisorium für die Saison 2022 mit Wiederherstellung | [CHF] | 40'000.- | |
| Geschätzter Aufwand Gesamtanlage bisher (IST 2015-20) gem. Tabelle 7 | [CHF] | 80'000.- | |
| Geschätztes Einsparpotential Pflege und Unterhalt mit Provisorium gegenüber IST | [CHF] | 30'000.- | Durch Reduktion Pflegeaufwand |
| Geschätzte Kosten für Pflege und Unterhalt mit Provisorium (Neu) | [CHF] | 50'000.- | Pflanzensandfilter |
| Geschätzte effektive zusätzliche Kosten für Gemeinde wegen Provisorium im Jahr 2022 gegenüber 2015-20 (IST) | [CHF] | 10'000.- | Bilanz: Kosten Provisorium - Einsparung Unterhalt |

6 Fazit / Empfehlung

Im Verlauf der Saison wurden einzelne kleinere Massnahmen zur Optimierung der Arbeiten und der Anlage umgesetzt. Das System konnte aufgrund der baulichen und systemspezifischen Gegebenheiten nicht stark verbessert werden.

Kernproblem ist der vorhandene Pflanzensandfilter. Eine Regeneration oder Rückspülung der Filterschichten ist nicht möglich, die gleichmässige Durchströmung ist nicht mehr zu gewährleisten, die Kolmatierung ist fortgeschritten. Die ungleichmässige Durchströmung des Filters wurde im Färbetest deutlich (Abbildung 9). Die Filterleistung konnte nicht verbessert werden, da dies zu einem noch schnelleren Filterverschluss geführt hätte. Da keine effektive Rückspülung und Filterreinigung möglich sind, findet der einzige Austrag von Nährstoffen über den Pflanzenschnitt statt. Dies reicht in Bilanz nicht aus, um die Einträge durch Badegäste auszutragen. Die gesamte überschüssige Phosphorfracht, führte zu Algen- und Belagswachstum im Nutzungsbereich und auf den Oberflächen der Regenerationszonen. Über die Reinigungsarbeiten konnten diese dann gebundenen Nährstoffe aus dem System ausgetragen werden.

Die Datenerhebung und Auswertung hat ergeben, dass die Gewässerqualität trotz mangelhaftem Filtersystem eine gute chemische Wasserqualität erreicht werden konnte. Dies war allerdings mit viel manuellem und entsprechendem finanziellem Aufwand verbunden. Jede Badeanlage benötigt eine gewisse manuelle Arbeitsleistung, gemäss Durchschnittswerten diverser biologisch aufbereiteter Badegewässer sind die Arbeitsaufwände in Beringen in den letzten 5 Jahren jedoch ca. 100% höher als zu dies zu erwarten ist.

Gleichzeitig wurden mögliche Umbauvarianten geprüft und verglichen. Aufgrund der aufgeführten Vergleiche besticht der biologische Schnellfilter durch viele Vorteile. Insbesondere die langfristige Betriebssicherheit, einfachere Wartung, einsetzbares Nährstoffmanagement zur Leistungssteigerung und der geringere Flächenbedarf sind entscheidende Faktoren für die Wahl der geeigneten Verfahren. Nachteil gegenüber anderen Varianten sind die höheren Investitionskosten. Eine reine Amortisation über Einsparungen in den Pflege- und Wartungsaufwänden bei Variante 2 wäre gem. Abschätzungen nach ca 10-15 Jahren gegeben. Kurzfristig könnte die Situation mit einem Provisorium verbessert werden, womit die Pflege der Regenerationszone reduziert, und der Nährstoffaustrag erhöht werden könnte.

Eine Bauprojektierung für Variante 2 könnte im aktuellen Jahr umgesetzt werden, eine bauliche Umsetzung von Variante 2 im Winter 2022/23 bis zur Eröffnung 2023 wäre realistisch umsetzbar.

7 Literatur

- EDI (2016): Verordnung über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV), vom 16. Dezember 2016, (Stand am 1. Mai 2018).
- Frei, M. (2020): Leitfaden für die Beurteilung von biologisch aufbereiteten Bädern, Winterthur: ASC Schweiz.
- Frei, M. (2022): Normentwurf für biologisch aufbereitete Gemeinschaftsbäder Anforderungen und ergänzende Bestimmungen an Projektierung, Bau und Betrieb, Wöschnau: Schwimmteichverband Schweiz, unveröffentlicht
- Frei, M. Antenen, N. Junge, R (2021): Projekt Biofilter; Filterteststand als Basis für Produktsicherheit und Innovation im Bereich der biologischen Badewasseraufbereitung, Wädenswil: ZHAW.
- Liebig, J. (1855): Die Grundsätze der Agricultur-Chemie mit Rücksicht auf die in England angestellten Untersuchungen,
- Lindsay K. Jmaiff Blackstock, Wei Wang, Sai Vemula, Benjamin T. Jaeger, and Xing-Fang Li* (2017) Sweetened Swimming Pools and Hot Tubs Environ. Sci. Technol. Lett. 2017, 4, 149–153.
- Sanus, C. (1989) Planung von Schwimmbädern: Bau und Betrieb von privaten und öffentlichen Hallen- sowie Freibädern einschließlich Whirlpools und medizinischer Bäder.
- Schaffner, M., Studer, P., & Ramseier, C. (2013). Beurteilung der Badegewässer. Empfehlung zur Untersuchung und Beurteilung der Badewasserqualität von See- und Flussbädern. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- SVBP (2012) Fachempfehlung für den Bau von öffentlichen, künstlich angelegten Badeteichen, Anforderungen an Projektierung und Bau, Kloten.
- Zwiener, C.; Richardson, S. D.; DeMarini, D. M.; Grummt, T.; Glauner, T.; Frimmel, F. H. Drowning in disinfection byproducts? Assessing swimming pool water. Environ. Sci. Technol. 2007, 41, 363– 372.

8 Verzeichnisse

8.1 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Potenzielle Nährstoffeinträge durch nicht ausgefugte und an Wasserbecken grenzende Pflanzenbeete. | 6 |
| Abbildung 2: Angrenzende Rasen-Liegeflächen mit direktem Zugang zum Bad werden mit Rasendüngern (inkl. Phosphor) gedüngt. | 6 |
| Abbildung 3: Technikraum mit Pumpen für Kleinkinderbad, Hauptbad und Skimmer im Regenerationsbereich, 08.07.2021..... | 3 |
| Abbildung 4: Düsen mit seitlichen ausströmenden Schlitzen führen zu verstärkter Anströmung der Folien-Oberflächen und somit zu verstärkter lokaler Biofilmbildung, 16.09.2021... | 4 |
| Abbildung 5: Düsen mit seitlichen ausströmenden Schlitzen und sichtbares Strömungsprofil auf der Folie, 16.09.2021 | 4 |
| Abbildung 6: Spärlich bewachsener Pflanzensandfilter auf der Ansaugseite der Pflanzensandfilter-Zone. | 6 |
| Abbildung 7: Verhärtete, kolmatisierte Substratschicht im Filter saugseitig, 08.07.2021 | 6 |
| Abbildung 8: Färbetest in einem Filtersegment, eingefärbt über einen Beschickungsschacht, 21.07.2021 | 7 |
| Abbildung 9: Färbetest mit Uranin im Pflanzensandfilter, vollflächige Anwendung über Einlauf-Sammelschacht, 16.09.2021 | 7 |
| Abbildung 10: Filterdurchschüsse druckseitig im vordersten Teil in Richtung Badebereich, 19.08.2021 | 8 |
| Abbildung 11: Sichtbare Filterdurchschüsse, 19.08.2021 | 8 |
| Abbildung 12: Hydraulischer Widerstand im Filter saugseitig, sichtbar über den Niveauunterschied im Ansaugschacht und der Wasserfläche des Filters um den Schacht (ca 30cm Differenz), 21.07.2021..... | 9 |
| Abbildung 13: Hydraulischer Kurzschluss über eingelegte Rohre auf der Saugseite des Pflanzensandfilters, 08.07.2021 | 10 |
| Abbildung 14: Aufbau Pflanzensandfilter Naturbad Beringen | 10 |
| Abbildung 15: Oloid, 08.07 .2021 | 11 |
| Abbildung 16: Eisenoxydfilter zur Phosphorelimination im Frischwasser | 13 |
| Abbildung 17: Abgesenkter Teil des Stellriemens beim Rand des Pflanzenfilters (Bachseitig) dient als Überlauf des Systems..... | 15 |
| Abbildung 18: Manuelles Absaugen der Oberflächen des Pflanzensandfilters, 08.07.2021 | 18 |
| Abbildung 19: Austräge bei der Absaugung der Oberfläche des Pflanzensandfilters: Algen-Sand-Kies gemisch, 08.07.2021 | 18 |
| Abbildung 20: Zustand 19.05.2021..... | 19 |
| Abbildung 21: Zustand 08.07.2021..... | 19 |
| Abbildung 22: Zustand 20.07.2021..... | 19 |
| Abbildung 23: Zustand 19.08.2021..... | 19 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 24: Zustand 16.09.2021..... | 19 |
| Abbildung 25: Summen der täglichen Badegäste (Eintritte) im Saisonverlauf, verglichen mit Vorgaben (SVBP 2012) und zu erwartenden Standardwerten (Frei 2022, unveröffentlicht). | 20 |
| Abbildung 26: Summe der monatlichen Badegäste (Eintritte) im Saisonverlauf, verglichen mit zu erwartenden Standardwerten (Frei 2022, unveröffentlicht). | 21 |
| Abbildung 27: Real gemessener Phosphorverlauf (Stichproben) in situ, im Vergleich zur Summe der täglichen Badegäste (Eintritte) im Saisonverlauf 2021, mit Endbewertung nach (Frei 2020)..... | 22 |
| Abbildung 27: Bewertungsrelevante Parameter, aufgenommen im Naturbad Beringen mit Endbewertung nach (Frei 2020). 1=sehr gut, 2=gut, 3=mässig, 4=unbefriedigend, 5=schlecht | 23 |
| Abbildung 28: Mögliche Anordnung der Biofilter an der Mauer hinter dem Schwimmerbecken... .. | 28 |
| Abbildung 29: Visualisierung der Filter mit Zwischengang zur Wartung und Rückspülung der Filter. | 28 |
| Abbildung 30: Anordnung der 3 provisorisch aufgestellten Biofilter hinter dem Pumpenhaus. | 32 |
| Abbildung 31: Visualisierung der der 3 provisorisch aufgestellten Filter mit Tauchpumpen im Tiefenwasserbereich und Rückläufen zu den vorhandenen Ansaugschächten. ... | 32 |
| Abbildung 32: Kolmatierter (Pflanzen-) Sandfilter im Zoo ZH, | 39 |
| Abbildung 33: Ungleichmässig durchströmter Pflanzen-Sandfilter im Zoo ZH, Vogelwiese. Ersichtlich am unregelmässigen Pflanzenwachstum (Randdurchbruch). | 39 |
| Abbildung 34: Filterfärbetest Pflanzenfilter mit «Kurzschluss» am Filterrand bei einer Schwimmteichanlage nach 10 Jahren. | 40 |
| Abbildung 35: Nicht nachhaltig aufgebauter Pflanzen-Kiesfilterunterbau, ohne Rückspül- und Bodenreinigungsmöglichkeit..... | 40 |
| Abbildung 36: Kiesfilter bepflanzt nach 15 Jahren Betrieb, Umbau wegen vermehrtem Aufkommen von Pseudomonas aeruginosa aufgrund ungleichmässiger Durchströmung/Kolmation. | 41 |
| Abbildung 37: Ausgebaggertes Filterkies nach 15 Jahren Filterbetrieb. | 41 |
| Abbildung 38: Rückspülung eines Schwebebettfilters mit Lufteinwirkung (Blower) | 42 |
| Abbildung 39: Rückspülung eines Biofilters mit Lufteinwirkung (Blower) | 42 |

8.2 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Verschiedene zu erwartende Belastungsstoffarten im Wasser..... | 3 |
| Tabelle 2: Trophiestufe – Qualitätsmerkmale für oligotrophe Gewässer | 3 |
| Tabelle 3: Beteiligte Personen, Funktion und Verantwortlichkeiten | 5 |
| Tabelle 4: Chemische Anforderungen an Füll- und Nachfüllwasser für öffentlich zugänglichen Badanlagen mit biologischer Wasseraufbereitung (SVBP, 2021)..... | 12 |
| Tabelle 5: Überprüfung der Phosphorelimination aus dem Frischwasser durch den vorhandenen Eisenoxydfilter (Einmalige Messungen vom 21.07.2021)..... | 12 |

| | |
|--|----|
| Tabelle 6: Auswertung des Frischwasserbedarfs für Reinigung, Neubefüllung, Nachfüllwasser (Mengenangaben aus der Saison 2020)..... | 16 |
| Tabelle 7: Auswertung der Pflege- und Unterhaltsarbeiten über 5 Jahre bis 2020, gem. erhaltener Liste, sowie Aufwandabschätzung (Soll), nach Kennwerten von bestehenden Anlagen mit biologischer Wasseraufbereitung..... | 17 |
| Tabelle 8: Vergleich von Kennzahlen und Dimensionen dreier Filtertypen für die biologische Wasseraufbereitung in Beringen | 26 |
| Tabelle 9: Neue Kennzahlen der Grobdimensionierung bei Variante 2..... | 29 |
| Tabelle 10: Grobkostenschätzung Umbau zu Variante 2..... | 30 |
| Tabelle 11: Geschätztes Einsparpotenzial für Pflege und Unterhalt Gesamtanlage bei Umbauvariante Version 2. | 31 |
| Tabelle 12: Grobkostenschätzung Provisorium; Erstellung und Materialkosten, Wiederherstellung, Pflege und Unterhalt Gesamtanlage..... | 33 |
| Tabelle 13: Liste angewendeter Verfahren zur Aufbereitung von Wasser in Badanlagen mit biologischer Wasseraufbereitung (Frei, 2021) | 43 |

Anhang

Beispielbilder Filtertypen (Im Feld)



Abbildung 33: Kolmatierter (Pflanzen-) Sandfilter im Zoo ZH,



Abbildung 34: Ungleichmässig durchströmter Pflanzen-Sandfilter im Zoo ZH, Vogelwiese. Ersichtlich am unregelmässigen Pflanzenwachstum (Randdurchbruch).



Abbildung 35: Filterfärbetest Pflanzenfilter mit «Kurzschluss» am Filterrand bei einer Schwimmteichanlage nach 10 Jahren.



Abbildung 36: Nicht nachhaltig aufgebauter Pflanzen-Kiesfilterunterbau, ohne Rückspül- und Bodenreinigungsmöglichkeit.



Abbildung 37: Kiesfilter bepflanzt nach 15 Jahren Betrieb, Umbau wegen vermehrtem Aufkommen von Pseudomonas aeruginosa aufgrund ungleichmässiger Durchströmung/Kolmation.



Abbildung 38: Ausgebaggertes Filterkies nach 15 Jahren Filterbetrieb.



Abbildung 39: Rückspülung eines Schwebebettfilters mit Lufteinwirkung (Blower)

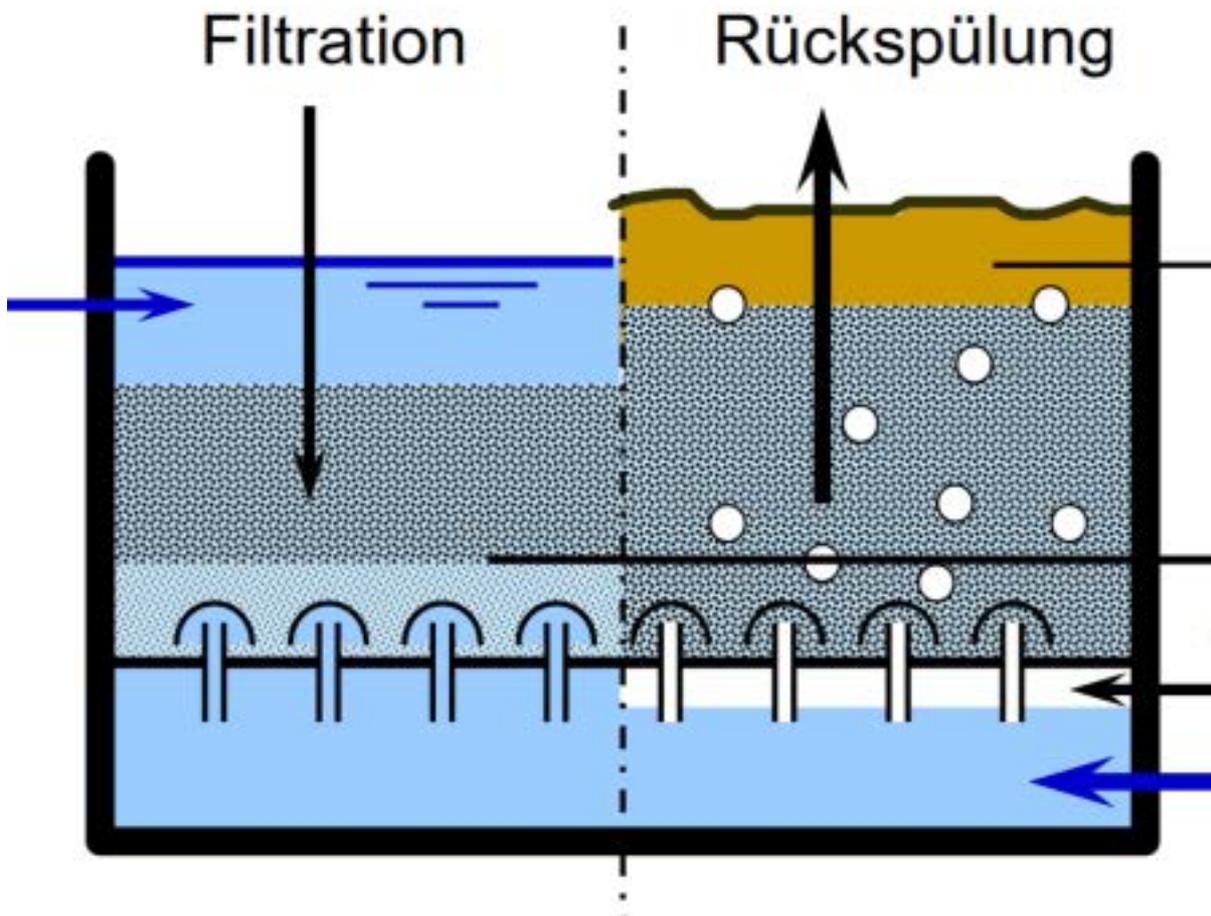


Abbildung 40: Rückspülung eines Biofilters mit Lufteinwirkung (Blower)

Tabelle 13: Liste angewandeter Verfahren zur Aufbereitung von Wasser in Badanlagen mit biologischer Wasseraufbereitung (Frei, 2021)

| Verfahrensart | Mechanische Filtration | | Biologische Filtration | | Biologische Filtration | | | Biologische Filtration | | Weitere | |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|---|--|--|--|---|--|--|---------------------------|
| Überbezeichnung | Mechanische Filter | | Biofilter | | Pflanzenzonen | | | Plankton | | Desinfektion | Adsorption |
| Bezeichnung | Grobfilter | Feinfilter | Langsamfilter | Schnellfilter | Hydrobotanische Anlage submers | Hydrobotanische Anlage emers | Hydrokultur | Phytoplankton | Zooplankton | UVC | Eisenhydroxid |
| Unterbezeichnungen | Siebe, Netze, Spaltsieb, Roboter | Druckfilter Bandfilter Trommelf. | Festbettfilter Rieselfilter | Festbettfilter Schwebebettfilter | Tauchblatt-/ Schwimmbblatt-Zonen | Röhricht-/Uferzonen | Röhrichtzonen, Nackwurzeln | Primärproduzenten | Primärkonsumenten | UVC Bestrahlung | |
| Hauptaufgabe | Abscheiden von Grobstoffen | Abscheidung von Feinpartikeln | Mineralisierung von org. Partikeln | Binden gelöster Verunreinigungen | Binden gelöster Verunreinigungen | Binden gelöster Verunreinigungen | Binden gelöster Verunreinigungen | Binden gelöster Verunreinigungen | Reduktion Primärproduzenten | Lokale Desinfektion | Bindung von Phosphat |
| Funktion/Prozesse | - | - | Siebung, Sorption partikulärer Stoffe, Mineralisierung von org. Material | Siebung, Sorption partikulärer Stoffe und Bindung gelöster Nährstoffe, Biofilmbildung | Nährstoffbindung durch Biomasse-bildung, Habitat für Zooplankton und Biofilm, verbesserte Sedimentation Nährstoffbindung durch Biomasse-bildung, Habitat für Zooplankton und Biofilm, verbesserte Sedimentation | Nährstoffbindung durch Biomasse-bildung, Habitat für Biofilm | Primärproduktion, Aufnahme gelöster Nährstoffe | Wasserklärung durch Filtration und Reduktion der Primärproduzenten, Sedimentation | Anlage zur lokalen Desinfektion mittels UV-Strahlung | Adsorption, chemische Bindung von Phosphat | |
| Angaben zu Aufbau | - | - | Ein-/Mehrschicht | Einschicht | Pflanzsubstrat | Pflanzsubstrat | Mineralisches Substrat | Natürliches Vorkommen | Natürliches Vorkommen | - | - |
| Typische Maschenweite/ Korngrösse | 0,5 bis 5 mm | 5 bis 200 µm | 1 bis 16 mm | 4-54 mm | 0-4 mm | 0-4 mm | > 4 mm | - | - | - | - |
| Typische Materialien | - | Quarzsand, Vlies, Feinstsieb AFM | Sand, Kalk, Dolomit | Kalkkies, Zeolith, künstliche und spezielle Filtermedien | Lehm, Sand, Kies | Lehm, Sand, Kies | Kies, Kalkkies | - | - | - | - |
| Typische Mächtigkeit | - | - | 0.7-1.2 m | 0.7-1.5 m | 10-20 cm | 10-20 cm | 10-20 cm | - | - | - | - |
| Beschickung | - | - | 0.05 bis 0.3 m/h | > 1 m/h | 0-0.2 m/h | 0-0.2 m/h | 0.2-10 m/h | - | - | - | - |
| Aufenthaltszeit | - | - | 5-10 h | 0.25-1h | Nicht durch Substrat | | - | - | - | - | - |
| Dimensionierung | Abhängig von Umwälzrate | Abhängig von Umwälzrate | Abhängig von Volumen und Umwälzrate | Kategorienspezifisch | | | - | - | Abhängig von Umwälzrate | Abhängig von Belastung | |
| Regeneration | Waschen, Leeren, Wechseln | Rückspülung, Reinigung, Wechsel | Spülung, Abtragen der obersten Filterschicht, Reinigbarkeit Unterboden | Rückspülen mit mech. Einwirkung, Reinigbarkeit Unterboden muss gewährleistet sein | Pflanzenernte, Sedimentabsaugung | Pflanzenernte, Sedimentabsaugung | Pflanzenernte, Sedimentabsaugung | Sedimententfernung | Sedimententfernung | Unterhalt über Wechsel | Regeneration über Wechsel |
| Standzeit | 1-7 Tage | 1-7 Tage Bzw. täglich automatisch | 6-12 Monate | 3-12 Monate | 6-12 Monate | 6-12 Monate | 6-12 Monate | - | - | - | - |
| Bepflanzung | - | - | Optional | Optional | Ja | Ja | Ja | - | - | - | - |