ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT UNR

Systematische Untersuchung und Bewertung von biologisch aufbereiteten Badegewässern

VERTRAULICH

Bachelorarbeit

Buehrle Christian
Bachelorstudiengang 2011
Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Abgabedatum: 10.12.2015 12:00

Fachkorrektoren:
Frei Matthias, ZHAW, CH-8820, Wädenswil
Schönborn Andreas, ZHAW, CH-8820, Wädenswil

Impressum

Schlagworte:	Schwimmteich, Naturpool, biologische Wasseraufbereitung, systematische Untersuchung
Zitiervorschlag:	Buehrle, C. (2015): Systematische Untersuchung und Bewertung von biologisch aufbereiteten Badegewässern, *Bachelorthesis ZHAW*
Adresse des Instituts:	Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften Life Sciences und Facility Management Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen; Grüental Postfach CH-8820 Wädenswil
Bildnachweis:	Sofern nicht anders vermerkt, sind alle Grafiken und Bilder Eigentum des Autoren

Zusammenfassung

Über den Betrieb von biologisch aufbereiteten Badegewässern sind insbesondere im privaten Bereich noch kaum vollständige Datensätze vorhanden. Intensive Betreuung und das Erfassen wesentlicher Parameter finden bei Privatanlagen meist nur in der Planungs- und Realisierungsphase statt. Es kann davon ausgegangen werden, dass Nutzung und Pflege des Gewässers wesentlich das Teich-Ökosystem beeinflussen. Dennoch ist die Rolle der Teichbesitzer relativ wenig untersucht. Art und Dauer der aufgebrachten Pflege sind kaum dokumentiert. Die Nährstoffbilanzierung in Badegewässern wird mit theoretischen Modellen bzw. groben Annahmen gemacht. Teichbauer verlassen sich dabei oft auf Erfahrungswerte.

Hier knüpft die vorliegende Arbeit an. In einem ersten Teil wird anhand Literatur und bekannter Werte ein systematisches Bewertungsraster erstellt zur Beurteilung von Anlagen mit biologischer Wasserreinigung.

In einem zweiten Teil wird dieses Bewertungsverfahren angewendet. Dazu wurden im Jahr 2015 ausgewählte Teichanlagen intensiv betreut und wichtige Daten über eine ganze Betriebsperiode regelmässig aufgenommen, dokumentiert und beurteilt.

Von 9 untersuchten Anlagen konnten 6 Anlagen mit einer guten oder sehr guten Beurteilung bewertet werden. Je eine Anlage wurde mittelmässig, ungenügend oder schlecht beurteilt.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die biologische Wasserreinigung sehr gut funktionieren kann. Dabei ist auch ein überschaubarer Pflegeaufwand möglich. Allerdings reagieren die Anlagen sensibel auf Belastungen wie massive Überschreitungen der maximal vorgesehenen Anzahl Badegäste pro Tag, wie sie in einem heissen Badesommer leicht passieren können. Durch Annäherungen an Nährstoffbilanzierungen konnte ein Missverhältnis zwischen Ein- und Austrägen in Schwimmteiche aufgezeigt werden. Die Einträge durch Niederschläge, Luft und Badegäste können durch Biomasseaustrag und Filterrückspülungen meist nur ungenügend wieder aus dem System entfernt werden.

Abstract

Concerning natural swimming pools and ponds, in particular in the private sector there is barely complete data available about the operation of these biologically treated waters.

Intensive care and surveillance of essential parameters is usually only done in the planning and implementation phase instead.

It can be assumed that use and maintenance of the water significantly affect the pond ecosystem. Nevertheless, reasearch on the role of pond owners has barely been made. Kind and duration of the applied care are poorly documented. The nutrient balance in bathing waters is made with theoretical models or rough assumptions. Landscapers and planners often rely on their experience.

This is where the present work takes place.

Based on literature and known values, in the first part there is a systematic review scheme created for the evaluation of systems with biological water purification. In a second part of this review, the evaluation scheme is applied to the evaluation of swimming pools and ponds in the field. For this purpose, in 2015 selected ponds have been intensively cared for, important data was regularly taken, documented and evaluated on an entire operating period.

The results show that biological water purification can work very well, not even requiring high maintenance. However, the systems are sensitive to stresses such as massive overruns of the maximum foreseen number of users per day. This can easily happen in a hot summer. By using an approach for nutrient balance a mismatch between input and output could be demonstrated in swimming ponds. Rainfall, air deposition and bathers cause significant nutrient input into the biological system. This nutrients did not yet seem to be suficiently removed by yield of biomass and filter backwash.

Inhalt

1 Einleitung 7

1.1 Ausgangslage und Stand der Forschung in Kürze 7

1.2 Ziel dieser Arbeit 7

2 Grundlagen 9

2.1 Schwimmteiche 9

2.1.1 Funktionsweise von Schwimmteichen der Kategorien 1-3 10

2.1.2 Funktionsweise von Schwimmteichen der Kategorien 4-5 11

2.2 Phosphorlimitierung 11

2.3 Nährstoffbilanzierung 11

2.3.1 Eintragswege 12

2.3.2 Austragswege 14

2.4 Hygiene in Schwimmteichen 14

2.5 Allgemeine Richtwerte 15

3 Material und Methoden 16

3.1 Feldversuche 16

3.1.1 Teichauswahl 16

3.1.2 Kurzvorstellung der Projektanlagen 17

3.2 Beurteilungskonzept 19

3.2.1 Beurteilte Aspekte 19

3.2.2 Bewertungsraster 20

3.3 Messprogramm 20

3.3.1 Chemische Wasserwerte 20

3.3.2 Äusserer Aspekt 21

3.3.3 Pflegeaufwand 27

3.3.4 Physikalischer Aspekt 28

3.3.5 Mikrobiologische Aspekt 29

3.4 Nährstoffbilanzierung 29

4 Ergebnisse 31

4.1 Beurteilte Parameter 31

4.1.1 Chemische Wasserwerte 31

4.1.2 Äusserer Aspekt 32

4.1.3 Pflegeaufwand 36

4.1.4 Physikalischer Aspekt ... 38
4.1.5 Mikrobiologischer Aspekt ... 39
4.2 Nährstoffbilanzierung ... 39
4.2.1 Einträge ... 39
4.2.2 Austräge ... 41
4.2.3 Bilanz ... 43
4.3 Bewertung ... 44
5 Diskussion ... 48
5.1 Diskussion der Aufnahmemethoden ... 48
5.1.1 Chemische Wasswerte ... 48
5.1.2 Äusserer Aspekt ... 48
5.1.3 Pflegeaufwand ... 49
5.1.4 Physikalischer Aspekt ... 49
5.1.5 Mikrobiologische Untersuchungen ... 50
5.1.6 Nährstoffbilanzierung ... 50
5.2 Diskussion der Ergebnisse ... 52
5.2.1 Chemische Wasserwerte ... 52
5.2.2 Äusserer Aspekt ... 53
5.2.3 Pflegeaufwand/Nutzungstagebuch ... 54
5.2.4 Physikalischer Aspekt ... 55
5.2.5 Mikrobiologischer Aspekt ... 55
5.2.6 Nährstoffbilanzierung ... 55
5.2.7 Unklarheiten/Schwachpunkte ... 58
5.3 Erkenntnisse/Schlussfolgerungen ... 58
5.4 Weiterführende Forschungsfragen ... 59
Literaturverzeichnis ... 60
Abbildungsverzeichnis ... 62
Tabellenverzeichnis ... 63

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Stand der Forschung in Kürze

Biologisch aufbereitete Badegewässer (auch Schwimmteiche, Naturpools, Biopools, Badeteiche genannt) werden seit ungefähr 25 Jahren professionell gebaut. Es handelt sich entsprechend um eine relativ junge Branche. Die biologische Wasserreinigung gewinnt sowohl im privaten als auch im öffentlichen Bereich zunehmend an Wichtigkeit. Entsprechend ist die Qualität von biologischen gereinigten Badegewässern (nachfolgend „Schwimmteiche“) ein wichtiger Forschungsaspekt. In den letzten Jahren wurden grosse Fortschritte gemacht und bedeutende Erkenntnisse gewonnen. Dennoch sind noch wenig Daten und wissenschaftliche Literatur vorhanden.

So finden eine intensive Betreuung und das Erfassen wesentlicher Parameter besonders bei Privatanlagen meist nur in der Planungs- und Realisierungsphase oder später im Falle von Schwierigkeiten statt. Es gibt keine verbindlichen systematischen Untersuchungsmethoden für die Bewertung von biologisch aufbereiteten Badegewässern und dementsprechend wenig Daten zur Funktionstüchtigkeit und Stabilität von solchen Anlagen in der Betriebsphase.

1.2 Ziel dieser Arbeit

Es kann davon ausgegangen werden, dass Nutzung und Pflege des Gewässers wesentlich das Teich-Ökosystem beeinflussen. Mit der vorliegenden Arbeit sollen diese Aspekte erstmals systematisch untersucht werden. Für diesen Zweck soll – basierend auf bestehenden Bewertungsmustern für natürliche Gewässer – ein standardisiertes Bewertungs- und Screening-Verfahren für Schwimmteiche erarbeitet werden. Dieses Verfahren wird in einem zweiten Teil der Arbeit bei der Überprüfung und Klassierung von Teichanlagen unterschiedlicher Kategorien angewendet. Die Anlagen werden während einer Vegetationsperiode zwischen April und Oktober untersucht. Dazu werden regelmässig chemische Wasserproben analysiert, optische Aspekte manuell erfasst, Ein- und Austräge in die Teichsysteme gesammelt und stichprobeweise mikrobiologische Parameter beprobt. Physikalische Werte werden konstant mittels Datenlogger aufgezeichnet. Anhand der gewonnen Daten kann eine Annäherung an eine Nährstoffbilanzierung „in-situ“ gemacht werden.

Ziel dieser Arbeit ist ein Erkenntnisgewinn und ein Ausbau des Verständnisses der ablaufenden Prozesse in Schwimmteichen. Durch den Vergleich verschiedener Bauweisen und Teichkategorien mittels Erhebung nach gleicher Methodik soll Grundlagenwissen in Bezug auf die Funktion von Schwimmteichen erarbeitet und ausgebaut werden.

Konkret werden mit der vorliegenden Arbeit Antworten auf folgende **Fragen** gesucht:

– Welche Faktoren sind zur Beurteilung von biologisch gereinigten Badegewässern relevant und wie können sie erfasst werden?
– Von welchen Parametern sind bereits Richt- oder Grenzwerte vorhanden?
– Wie sieht die Stabilität verschiedener künstlicher Gewässer im Jahresverlauf aus?
– Wie ist die Rolle der Teichbesitzer hinsichtlich Art und Dauer der aufgebrachten Pflege?
– Wie werden die Teichanlagen genutzt?
– Wie steht es um die Sauberkeit in privaten Schwimmteichanlagen?
– Wie sieht das Verhältnis von Nährstoff-Ein- und Austrägen aus?
– Eignen sich die entwickelten Methoden zur Beurteilung von biologisch gereinigten Badegewässern?

2 Grundlagen

2.1 Schwimmteiche

Gemäss Definition des Allgemeinen Schwimmteich Clubs ASC (2009) sind Schwimmteiche „gegen den Untergrund abgedichtete und gegen das Umland geschützte, künstliche Gewässer. Eintrag und Austrag stehen im Gleichgewicht. Es ist ausschliesslich mechanische und biologische Reinigung (Pflanzen, Tiere, Biofilm, Mikroorganismen) vorgesehen, Konservierungs- oder Desinfektionsmittel sind nicht zulässig. Die Pflanzen stehen in direkter Verbindung mit dem Wasser.“.

Vom naturnahen Schwimmteich ohne Technik bis zum optisch kaum von einem konventionellen Chlorpool zu unterscheidenden Hightech-Naturpool werden biologisch gereinigte Gewässer heute in verschiedensten Formen angeboten.

Unterscheidungsmerkmal der verschiedenen Bauweisen ist hauptsächlich der Einsatz technischer Einrichtungen zur Lenkung der biologischen Vorgänge. Um die verschiedenen Bauvarianten systemübergreifend beschreiben und abgrenzen zu können, wurden 5 technische Kategorien gebildet (Tabelle 1), welche sich an natürlichen, ökologischen Gewässerleitbildern orientieren.

Tabelle 1: Schwimmteichtypen und technische Kategorien für öffentliche Schwimmteiche (SVBP, 2012)

Ökol. Leitbild	Techn. Kategorie	Beschreibung	Biofilter	Pflanzenzone [%]	Skimmer Betriebs-zeit [h/d]	Bodenpflege
Stehendes Gewässer	1	Keine Pumpen	nein	50-70	0	1/a
	2	Oberflächenreinigung	nein	50-60	< 10 bzw. 2x1 h/d	1-2/a
	3	Oberflächenreinigung + intervallweiser Wasseraustausch zwischen Nutzungs- und Regenerationsbereich.	nein	45-55	< 10 bzw. 2x1 h/d	1-3/a
Fließendes Gewässer	4	Oberflächenreinigung + Filter aus Kies oder anderen inaktiven, angeströmten Materialien.	ja	30-50	<= 24	>1/w
	5	Oberflächenreinigung + spezielle Filter welche dem Biofilm lokal Mangelnährstoffe bieten (z.B. N, K auf Zeolith).	ja	> 5	<= 24	>1/w

a=Jahr; w=Woche; d=Tag; h=Stunde

2.1.1 Funktionsweise von Schwimmteichen der Kategorien 1-3

Bei Schwimmteichen der Kategorien 1 bis 3, welche nach dem Leitbild eines natürlichen Stillgewässers gebaut werden, basiert die Wasserreinigung auf einem vielschichtigen Nahrungsnetz bestehend aus Phyto- und Zooplankton, Wasser- und Unterwasserpflanzen, Insekten bis hin zu Amphibien. Ein wichtiger Teil basiert dabei auf der Sedimentation des abgestorbenen organischen Materials und dessen Abbau durch Mikroorganismen. Zur Verhinderung einer Eutrophierung müssen Nährstoffe durch das Absaugen von Sedimenten oder das Entfernen von Pflanzenbiomasse aus dem System entfernt werden. Geschieht dies nicht rechtzeitig, kann sich Phosphor aus den Sedimenten rücklösen und wieder für die Biomasseproduktion im Wasser zur Verfügung stehen (Frei, 2012).

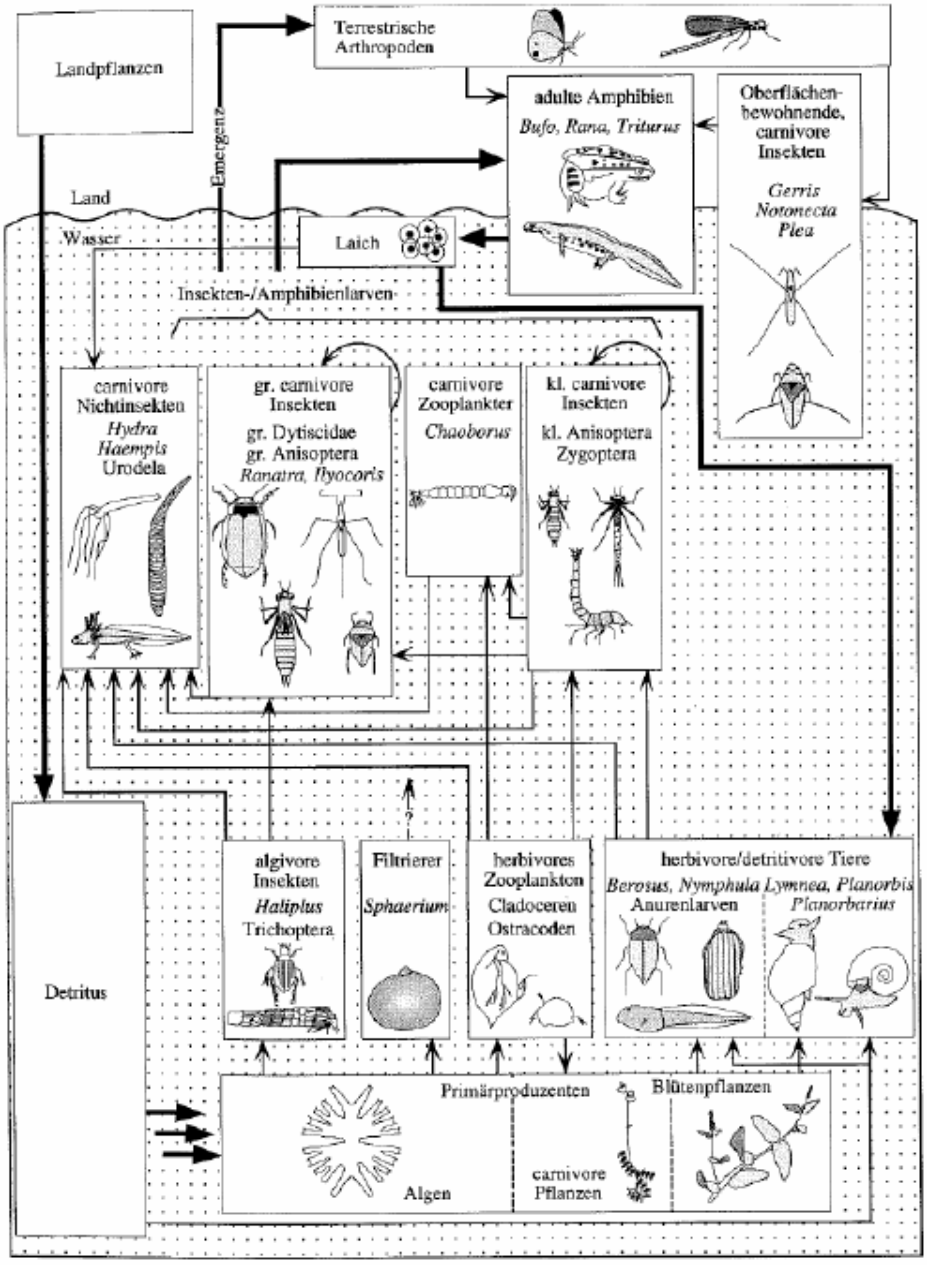


Abbildung 1: Vereinfachtes Nahrungsnetz eines stehenden Kleingewässers (Akeret & Stössel, 1998)

2.1.2 Funktionsweise von Schwimmteichen der Kategorien 4-5

In Schwimmteichen der Kategorie 4 und 5 werden aktiv angeströmte Filtersysteme zur Phosphorreduktion im Freiwasser verwendet. So kann das Algen- und Biofilmwachstum im Schwimmbereich auf ein Minimum reduziert werden. Der Austrag von Nährstoffen geschieht durch das Abernten der Filterbiologie durch Rückspülen des Filters.

Auch bei diesen Kategorien kann sich Phosphor bei einer Überlastung, Vergiftung oder unausgeglichenen Nährstoffverhältnissen aus dem Filter rücklösen und somit wieder für die Biomasseproduktion im Wasser zur Verfügung stehen (Frei, 2012).

2.2 Phosphorlimitierung

Das Wachstum von Pflanzen wird gemäss Minimumgesetz von Sprengel (1828) und Liebig (1858) durch die knappste Ressource eingeschränkt. Die Zugabe eines Wachstumsfaktors, der bereits im Überfluss vorhanden ist, hat keinen Einfluss auf das Wachstum. Auf dieser Grundlage basiert auch die Idee der Phosphorlimitierung in Schwimmteichen zur Verhinderung von Algen (Frei, 2011).

Bei den in Tabelle 1 vorgestellten fünf Kategorien wird durch verschiedene Mechanismen eine mehr oder weniger starke Phosphorlimitierung erreicht. Bei den naturnahen Kategorien 1-3 ist ein totaler Phosphorgehalt von 30 µg P/l zulässig. Das bedeutet, dass bei diesen nährstoffarmen, oligo- und mesotrophen Anlagen Zooplankton, Phytoplankton und Mikroorganismen im Wasserkörper vorhanden sein dürfen.

Für Schwimmteiche der Kategorie 4 und 5 wurde gemäss Fachempfehlung des SVBP (2012) ein Grenzwert von 20 µg P/l festgelegt (Tabelle 3). Bei dieser mittleren jährlichen Phosphorkonzentration kommt es zu einer noch geringeren Algenproduktion. Als Richtwert für alle Schwimmteichkategorien wird 10 µg P/l angestrebt. Durch diese Nährstofflimitierung im freien Wasser entsteht teilweise ein Widerspruch mit dem Bedürfnis eines verstärkten Pflanzenwachstums im Teich.

2.3 Nährstoffbilanzierung

Ein ausgeglichenes Verhältnis der Ein- und Austräge ist grundlegend für funktionierende Schwimmteiche (Wesner, 2010). In einer gut funktionierenden Anlage werden sämtliche eingebrachten Nährstoffe wieder aus dem System entfernt (Frei, 2012; ASC, 2009). Abbildung 2 zeigt schematisch wichtige Ein- und Austräge eines Schwimmteiches. Anhand der Quantifizierung dieser Ein- und Austräge kann eine Nährstoffbilanzierung gemacht werden. Es können verschiedene Elemente bilanziert werden. Wesner (2010) nennt als mögliche

Bilanzierungen die Wasserbilanz, Kohlenstoff/Sauerstoff-Bilanz, Stickstoffbilanz oder auch Bilanzen von Nährstoffen wie Kalium, Magnesium, Calzium.

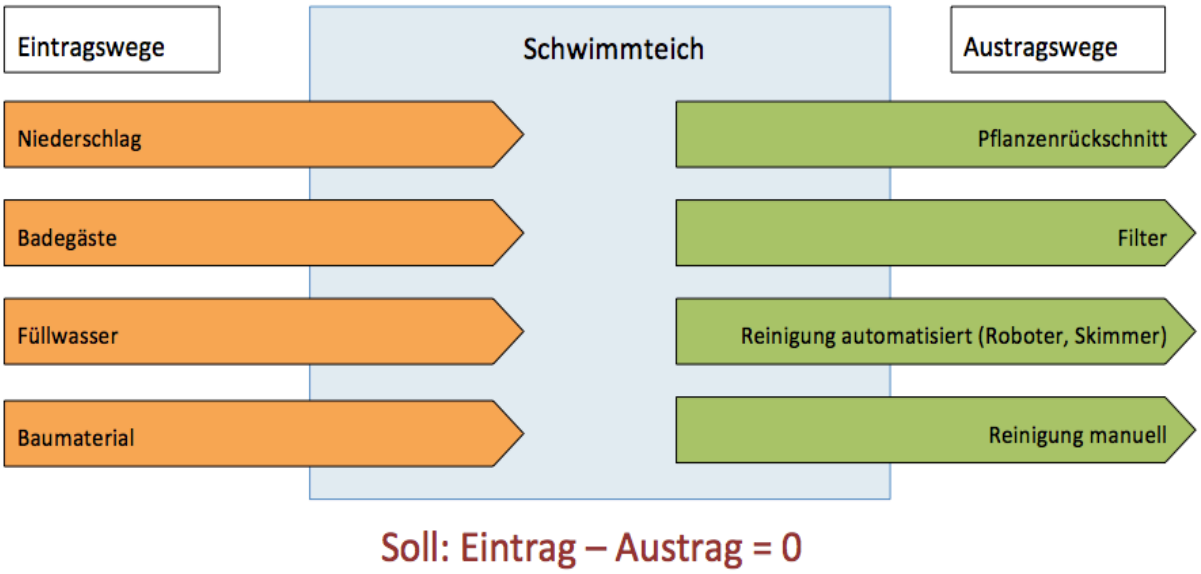


Abbildung 2: Eintrags- und Austragswege bei Schwimmteichen (Frei, 2015, verändert)

Eine der wichtigsten Bilanzierungen von Schwimmteichen betrifft das Element Phosphor. Nur bei einem ausgeglichenen Verhältnis funktioniert die in Kapitel 2.2 beschriebene P-Limitierung und das Wasser bleibt im erwünschten oligotrophen bis ultra-oligotrophen Bereich. Werden den Phosphor-Einträgen keine oder ungenügende Austräge entgegengesetzt, findet eine Eutrophierung des Gewässers statt, was zu vermehrtem Algenwachstum und gemäss dem Prinzip von natürlichen Gewässern letztendlich zur Verlandung führen würde. Im Folgenden werden die Eintrags- und Austragswege von Nährstoffen besonders hinsichtlich der Phosphorbelastung betrachtet.

2.3.1 Eintragswege

Niederschlag

Als Niederschlag werden alle Stoffe bezeichnet, die sowohl nass, als auch trocken aus der Atmosphäre ausfallen (Frei, 2011). Direkte atmosphärische Deposition über die Luft und Regen sind wichtige Eintragswege für Nährstoffe (Hürdler, Spiess, & Prasuhn, 2015). Zobrist (1999) hat 1978/79 am Standort Dübendorf im Schweizer Mittelland eine P-Konzentration von 14 µg/l Regenwasser gemessen (Tabelle 2). Zum Vergleich: der Richtwert für Füllwasser liegt bei 10 µg/l (SVBP, 2012).

Tabelle 2: Zusammensetzung des Niederschlages (gesamt) und des Regenwassers (feucht) in zwei schweizerischen Messstationen in der Messperiode 1978/79 (Zobrist, 1999). Die Konzentrationen beziehen sich auf das Volumen des Niederschlages.

Station		**Dübendorf**		**Jungfraujoch**
Höhe über Meer		**400 m**		**3'570 m**
Niederschlag		**1'225 mm**		**1'105 mm**
Inhaltsstoff	**Einheit**	**feucht**	**gesamt**	**gesamt**
Calcium	g Ca m^{-3}	0.38	0.91	0.69
Magnesium	g Mg m^{-3}	0.05	0.16	0.06
Natrium	g Na m^{-3}	0.08	0.16	0.24
Kalium	g K m^{-3}	0.05	0.10	0.20
Sulfat-S	g S m^{-3}	0.97	1.08	0.38
Chlorid	g Cl^- m^{-3}	0.74	0.86	0.42
starke Säuren	mmol H^+ m^{-3}	57	41	-
Ammonium	g N m^{-3}	0.43	0.47	0.19
Nitrit	g N m^{-3}	0.004	0.006	-
Nitrat	g N m^{-3}	0.40	0.48	0.14
Phosphat	g P m^{-3}	0.001	0.002	-
P_{tot}	g P m^{-3}	0.014	0.021	-
DOC	g C m^{-3}	1.2	1.4	-
Blei	mg Pb m^{-3}	21	39	-
Kupfer	mg Cu m^{-3}	5	9	-
Zink	mg Zn m^{-3}	46	54	-
Cadmium	mg Cd m^{-3}	-	0.46	-
pH-Wert		4.26	4.46	5.4

Auch trockene Einträge wie beispielsweise Blütenstaub, Laub, Staub, Insekten oder Vogelkot verursachen Einträge (Spieker, 2002). Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Einträge aus der Luft regional stark unterscheiden (Zobrist, Sigg, & Schoenenberger, 2004)

Badegäste

Eine wichtige Eintragsquelle von Phosphor in den Schwimmteich sind die Badegäste. In der Empfehlung der FLL (2011) wird der Phosphoreintrag pro Badegast und Tag mit 75 mg quantifiziert, Schulz (1981) rechnet sogar mit 94 mg Phosphoreintrag pro Person. Scholz (2004) kommt in seiner Untersuchung auf einen geringeren Eintrag von 45.6 mg Phosphor.

Weitere Einträge

Bereits beim Bau können grosse Mengen von Phosphor in einen Schwimmteich gelangen. Baumaterialien wie Kies, Beton, Steinblöcke, Substrate, Kleber, Beizen, Farbe etc. sollten deshalb vor dem Bau geprüft werden. Das gilt auch für das Füll- und Nachfüllwasser. Der Grenzwert liegt dafür gemäss Fachempfehlung (SVBP, 2012) bei 10 µg/l. Hohe Phosphatgehalte können zur Überlastung einer Anlage führen.

2.3.2 Austragswege

Die Austräge spielen eine wichtige Rolle zum Erreichen einer ausgeglichenen Nährstoffbilanz. Der Phosphoraustrag ist hauptsächlich durch den Austrag von organischer Substanz zu gewährleisten (Frei, 2011), das heisst durch die Umwandlung in Pflanzenmaterial und dessen regelmässige Ernte, das Entfernen von Algen, Sedimenten und Filterrückspülungen. Filterrückspülungen werden in der Regel einmal bis zweimal jährlich durchgeführt. Dabei wird durch mehrfaches Spülen alte, abgestorbene Filterbiologie aus dem Filter „abgeerntet“ wodurch sich wieder neuer Biofilm aufbauen kann.

Pflege, Wartung und Belastungsintensität spielen somit eine bedeutende Rolle bei der Erhaltung der Wasserqualität eines künstlich erstellten Kleingewässers.

2.4 Hygiene in Schwimmteichen

Oft wird der Fehlschluss gezogen, dass das Vorkommen von einigen Fadenalgen oder einer Trübung auf hygienische Mängel hinweist (Frei, 2012). Eine Belastung mit pathogenen (krankmachenden) Keimen ist jedoch unsichtbar. In biologisch gereinigten Badegewässern darf es zu keiner gesundheitlichen Gefährdung der Badegäste durch pathogene Keime kommen. Da keine Desinfektionsmittel eingesetzt werden dürfen, ist eine Reduzierung der Konzentration von eingebrachten Krankheitserregern nur durch Verdünnung und durch biologische Prozesse zu erreichen. Es wird gemäss SVBP (2012) von einer personenbezogenen Verdünnungsrate von 10m^3 pro Person ausgegangen. Über das totale Wasservolumen einer Anlage kann so die Nennbelastung, sprich die maximal zugelassene Anzahl Badegäste pro Tag ermittelt werden.

Mikrobiologische Untersuchungen beruhen auf Messungen pathogener Verunreinigungen. Je höher die Konzentration Keime ist, desto höher ist das gesundheitliche Risiko (Schaffner, Studer, & Ramseier, 2013). Da aufgrund der grossen Vielzahl pathogener Keime nicht alle untersucht werden können, wird die Gewässergüte mithilfe bestimmter Indikatororganismen überprüft und dadurch auf die allgemeine Gewässerqualität geschlossen (Spieker, 2002). Für öffentliche Anlagen besteht diesbezüglich eine Empfehlung des BAG (2004).

Zu den Indikatororganismen zählen *Escherichia coli* und Enterokokken *(Enterococcus)*. Deren Vorkommen korreliert mit der Menge an Badegästen. Der Nachweis dieser Organismen ist ein Zeichen für die hohe Nutzungsintensität einer Anlage und kann übermässige Fäkalieneinträge durch Menschen oder andere Säugetiere, wie z.B. Wasservögel anzeigen (Bruns, 2007).

Pseudomonas aeruginosa ist ein weit verbreiteter Boden- und Wasserkeim und wird in Schwimmteichen meist vom Menschen eingetragen. Pseudomonaden weisen auf sauerstoffarme Zonen in einem Gewässer hin, wie z.B. schlecht durchströmte Filter (Frei, 2012).

2.5 Allgemeine Richtwerte

Es existieren im deutschsprachigen Raum verschiedene Gesetze, Normen und Empfehlungen für Schwimmteiche. Tabelle 3 zeigt eine Zusammenstellung von gängigen Richt- und Grenzwerten aus diesen Fachempfehlungen.

Tabelle 3: Zusammenstellung von Richtwerten (RW) / Grenzwerten (GW) für Badegewässer aus unterschiedlichen Gesetzen, Normen und Empfehlungen (Frei (2012), verändert)

Parameter	**Einheit**	**BAG** (2004)	**SVBP** (2012)	**FLL** (2011)	**ÖNORM – L 1126** (2010)
Geltungsbereich		öffentliche Badeteiche RW	öffentliche Badeteiche RW/GW	öffentliche Badeteiche RW	Kleinbadeteiche RW/GW
Sichttiefe	cm (Secchi)	>200	-/>200	>200	-/>200
Temperatur	°C	-	<23/-	<23	23/-
pH-Wert		6-9	6-9/-	6-8.5	6-9/-
Sauerstoffsättigung	%	-	-/>80	-	-/>80
Phosphor total	µg/l	10	10/30[1] 10/20[2]	10	10/20
Ammonium	mg/l	-	0.5/-	0.3	0.5/-
Nitrit	mg/l	-	0.3/-		0.3/-
Nitrat	mg/l	-	25/-	<30	25/-
Escherichia coli	KBE/100 ml	100	30/100	100	30/100
Enterokokken	KBE/100 ml	40	20/50	50	20/50
Ps. aeruginosa	KBE/100 ml	10	-/10	10	-

[1] Geltend für die Kategorien 1-3

[2] Geltend für die Kategorien 4-5

3 Material und Methoden

3.1 Feldversuche

Im Rahmen einer Vegetationsperiode von April bis Oktober wurden 9 Schwimmteichanlagen monatlich vor Ort besucht, Daten gemäss Protokoll aufgezeichnet und die Messcomputer überprüft.

3.1.1 Teichauswahl

Die im Rahmen der Feldarbeit untersuchten Teichanlagen sind unter Tabelle 4 aufgeführt. Abbildung 3 zeigt die Standorte der Anlagen in der Schweiz. Die Auswahl der beteiligten Anlagen wurde durch die beteiligten Teichbauern gemacht.

Tabelle 4: Liste der Projektanlagen, Teichkategorien und Teichbaubetriebe

Teich Nr.	Teichname	Kat.	Teichbaubetrieb	Standort
Teich 1	Baumberger	2	Salamander Naturgartengestaltung	Wynigen BE
Teich 2	Sutter	2	Zebra AG	Niederrohrdorf AG
Teich 3	Hochuli	4	Lehnert AG	Aarau AG
Teich 4	Steiner	4	Bucher AG	St. Gallen SG
Teich 5	Abderhalden	5	Abderhalden Gartenbau	Wildhaus SG
Teich 6	Dentenberg	5	Flury&Emch AG	Worb BE
Teich 7	Marinovic	5	Zebra AG	Oeschgen AG
Teich 8	Saluz	5	Abderhalden Gartenbau	Grabs SG
Teich 9	Stadelmann	5	Zebra AG	Remetschwil AG

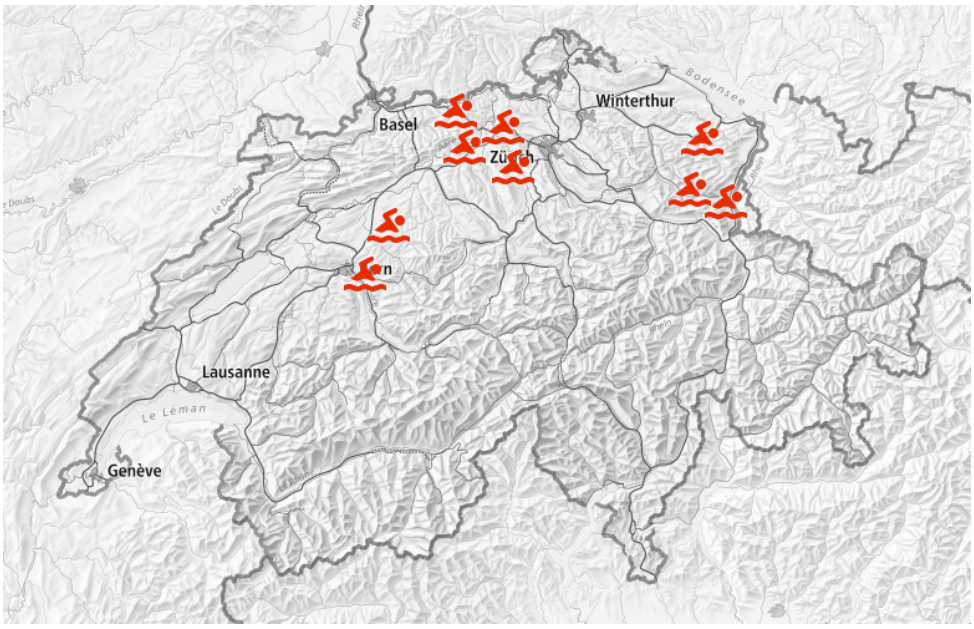


Abbildung 3: Verortung der Projektanlagen in der Schweiz Karte: map.geo.admin.ch

3.1.2 Kurzvorstellung der Projektanlagen

Nachfolgend werden die Projektanlagen kurz porträtiert. Detaillierte Datenblätter zu den einzelnen Anlagen befinden sich im Anhang A.

Teich 1 Baumberger

Kategorie:	2
Becken:	Beton
Fläche [m2]:	67.1
Volumen [m3]:	114.0
Besonderes:	

Teich 2 Sutter

Kategorie:	2
Becken:	Holz mit Steinboden
Fläche [m2]:	57.0
Volumen [m3]:	84.0
Besonderes:	Zuschaltbarer 1m3 Kiesfilter

Teich 3 Hochuli

Kategorie:	4, Kiesfilter
Becken:	Folie
Fläche [m2]:	30.0
Volumen [m3]:	35.0
Besonderes:	Abdeckung

Teich 4 Steiner

Kategorie:	4, Kiesfilter
Becken:	Beton
Fläche [m2]:	29.0
Volumen [m3]:	39.4
Besonderes:	Gegenstromanlage

Teich 5 Abderhalden

Kategorie:	5
Becken:	Kunststoff
Fläche [m2]:	27.3
Volumen [m3]:	43.4
Besonderes:	Abdeckung; 4 Filterkammern mit versch. Materialien bestückt

Teich 6 Dentenberg

Kategorie:	5, High-Flow Filter
Becken:	Beton, Blaue Farbe
Fläche [m2]:	180.0
Volumen [m3]:	243.3
Besonderes:	Schulanlage, umgebauter Chlorpool

Teich 7 Marinovic

Kategorie:	5, Kartuschenfilter
Becken:	Chromstahl
Fläche [m2]:	40.7
Volumen [m3]:	65.7
Besonderes:	Indooranlage

Teich 8 Saluz

Kategorie:	5, Zeosafe-Filter
Becken:	Holz mit Steinboden
Fläche [m2]:	38.7
Volumen [m3]:	57.4
Besonderes:	Abdeckung

Teich 9 Stadelmann

Kategorie:	5, Kartuschenfilter
Becken:	Folie
Fläche [m2]:	63.0
Volumen [m3]:	89.3
Besonderes:	Abdeckung Angrenzender „Kat 1“ Teich

3.2 Beurteilungskonzept

Zur Zeit existiert kein allgemein gültiges, einfach anwendbares Beurteilungs- und Bewertungssystem für Schwimmteiche. Für natürliche Oberflächengewässer bestehen Beurteilungsmethoden wie beispielsweise das umfassende Modulstufenkonzept (MSK) des BUWAL (Liechti, 2010; Binderheim & Göggel, 2007; Schaffner, Studer, & Ramseier, 2013) Die Beurteilung natürlicher Gewässer kann jedoch nicht direkt auf künstliche Kleingewässer übertragen werden. Das nachfolgend beschriebene Beurteilungskonzept basiert auf einer Auswahl von Elementen des MSK, welche für die Verwendung bei Schwimmteichen angepasst wurden. Hauptziel ist die Zustandsbeurteilung von Schwimmteichen anhand von regelmässigen Datenerhebungen.

3.2.1 Beurteilte Aspekte

Um eine Zustandsbeurteilung von Schwimmteichen machen zu können, wurde anhand von bestehenden Elementen des MSK definiert, welche Aspekte relevant sind und welche Parameter diese beinhalten (Tabelle 5). Zusätzlich wurde festgelegt, ob die Parameter bewertet werden sollen.

Tabelle 5: Zur Beurteilung von Schwimmteichen relevante Aspekte und Parameter

Aspekt	***Parameter***	***Bewertung***	
Chemische Wasserwerte	Phosphor-Gehalt	Ja	
Äusserer Aspekt	Algen	Ja	
	Beläge	Ja	
	Sichttiefe/Trübung	Ja	
	Geruch		Nein
	Pflanzenwachstum		Nein
Pflegeaufwand und Nutzungsintensität	Pflegeaufwand	Ja	
	Nutzung		Nein
Physikalischer Aspekt			Nein
	-pH		
	-Temperatur		
	-Leitfähigkeit		
	-Redoxpotential		
	-Sauerstoffsättigung		
Mikrobiologischer Aspekt			Nein
	Escherichia coli		
	Enterococcus		
	Pseudomonas aeruginosa		

3.2.2 Bewertungsraster

In Anlehnung an die EU-Wasser-Rahmenrichtlinie 2000/60/EG (2000) und das MSK (Liechti, 2010) wurde eine Einteilung der erfassten Werte in fünf Zustandsklassen vorgenommen. Die Einteilung erfolgte auf einer kontinuierlichen Werteskala von 1 bis 5. Daraus liessen sich fünf diskrete Zustandsklassen (sehr gut, gut, mässig, unbefriedigend, schlecht) ableiten. Die 5 steht dabei für einen sehr schlechten Zustand, die 1 für einen sehr guten.

Zur optischen Unterstützung wurden die Zustandsklassen mit einer farblichen Abstufung hinterlegt (Abbildung 4). Die Beurteilungskriterien der untersuchten Parameter wurden aufbauend auf die in Tabelle 3 aufgeführten Richt- und Grenzwerte erstellt. Das Messprogramm und die dazugehörigen Beurteilungs- und Bewertungsraster werden nachfolgend einzeln erläutert.

Bewertungsraster				
1	2	3	4	5
sehr gut	gut	mässig	unbefriedigend	schlecht
1–1.4	1.5–2.4	2.5–3.4	3.5–4.4	4.5–5

Abbildung 4: Zustandsklassen

3.3 Messprogramm

3.3.1 Chemische Wasserwerte

Bedeutung:

Die chemische Gewässeruntersuchung dient zur Überwachung der Gewässerchemie. Das Hauptaugenmerk lag auf den Gesamtphosphor-Konzentrationen, welche für die Beurteilung eines Schwimmteiches hauptsächlich massgebend sind (siehe 2.2).

Erhebung und Bewertung:

Wasserzusammensetzung und chemischer Zustand des Gewässers wurden in regelmäßigen Intervallen per Einzelmessung überprüft. Wasserproben wurden 1x monatlich durch die beteiligten Teichbesitzer oder Teichbauer entnommen und eingeschickt. Als Probegefässe wurden bei allen Proben sterile 500ml Polypropylen-Weithalsflaschen (Semadeni) eingesetzt. Die Probenahme erfolgte von Land im Schwimmbereich, 20 cm unter der Wasseroberfläche.

Im Labor erfolgte die Auswertung mittels exakter Spurenanalysen im standardisierten Verfahren. Zur allgemeinen Überwachung wurden zusätzlich weitere Parameter im standardisierten Verfahren nach Herstellerangaben (Hach-Lange). Die Auswertung erfolgte

mit einem Hach-Lange Multimeter DR3900. Nach speziellen Ereignissen (Grössere bauliche Eingriffe in der Anlage, Einsatz von Fällungsmitteln, Unvorhergesehene Vorkommnisse, etc.) wurden zusätzliche Proben genommen. Die Bewertung fand anhand des in Abbildung 5 ersichtlichen Rasters statt.

Erfasste Parameter:

Bewertet: Phosphor total Spur

Nicht bewertet: Phosphor organisch Spur, Phosphor ortho Spur, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Total Stickstoff, Sulfat, TOC, Calcium, Magnesium, Chlorid, Kupfer, Eisen, Kalium

Gesamtphosphat Wert gemäss Fachempfehlung (SVBP, 2012) Pges. [µg/l]	Bewertung (Kat 1-3)	Bewertung (Kat 4-5)
≤ 5	1	1
≤ 10	1	2
≤ 20	2	3
≤ 30	3	4
≤ 50	4	5
≤ 80	5	5

Abbildung 5: Bewertungsraster Phosphor

3.3.2 Äusserer Aspekt

Unter dem Sammelbegriff „Äusserer Aspekt“ wurden die drei Teilaspekte Algenaufkommen, Belagsbildung und Trübung untersucht. Zusätzlich wurde, sofern vorhanden, die Qualität des Pflanzenwachstums bestimmt und eine Geruchsprobe gemacht. Die Erhebungen erfolgten vor Ort durch Begehung der Anlagen. Die Daten wurden manuell mit Hilfe eines Erhebungsbogens (Anhang C) erfasst.

Algen

Bedeutung:

Für das vorliegende Bewertungskonzept wurden unter dem Begriff „Algen“ fädige Grünalgen verstanden. Eine mögliche Grüntrübung durch kleinste Algenteilchen (Phytoplankton) wurde unter dem Aspekt „Trübung“ beurteilt.

Erhebung und Bewertung:

Erhebung und Bewertung fanden anhand des in Abbildung 6 ersichtlichen Schemas statt. Zusätzlich wurde erhoben, ob der Bewuchs regelmässig oder nur partiell in einzelnen Bereichen vorkommt.

Bewertungsraster Algen

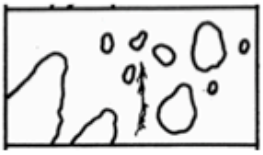
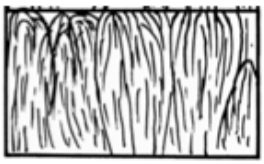
Schema	%		(Optional)	Bewertung (Kat 1-3)	Bewertung (Kat 4-5)
	Kein Bewuchs	0%	* Regelmässig	1	1
	Schwacher Bewuchs	1-10%	* Partiell * Regelmässig		2
	Mittlerer Bewuchs	11-20%	* Partiell * Regelmässig	2	3
		21-30%	* Partiell * Regelmässig	3	4
	Starker Bewuchs, nur einzelne Stellen ohne Bewuchs	31-50%	* Partiell * Regelmässig	4	5
	Vollständiger Bewuchs	51-100%	* Regelmässig	5	

Abbildung 6: Beurteilungsschema und Bewertung Algenvorkommen (nach Thomas&Schanz (1976), vereinfacht)

Beläge

Bedeutung:

Beläge können durch Sedimentation, chemische Ausfällungsprozesse oder Biofilmaufbau entstehen. Eine starke Belagsbildung führt zu einem erhöhten Reinigungsaufwand. Gewisse Beläge lassen sich nur schwer wieder entfernen, was auch einen Einfluss auf die optische Qualität eines Gewässers hat.

Erhebung und Bewertung:

Erhebung und Bewertung fanden anhand des in Abbildung 7 ersichtlichen Schemas statt. Zusätzlich wurde erhoben, ob der Bewuchs regelmässig oder nur partiell in einzelnen Bereichen vorkommt.

Bewertungsraster Beläge

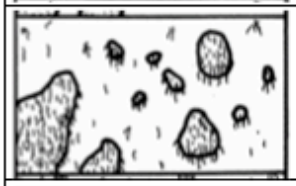
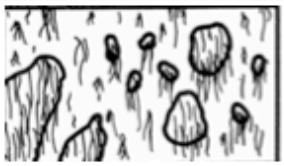
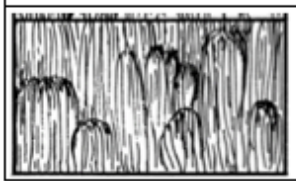
Schema	%		(Optional)	Bewertung (Kat 1-3)	Bewertung (Kat 4-5)
	Kein Bewuchs	0%		1	1
			* Regelmässig		
	Schwacher Bewuchs	1-10%	* Partiell		2
			* Regelmässig		
	Mittlerer Bewuchs	11-20%	* Partiell	2	3
			* Regelmässig		
		21-30%	* Partiell	3	4
			* Regelmässig		
	Starker Bewuchs, nur einzelne Stellen ohne Bewuchs	31-50%	* Partiell	4	5
			* Regelmässig		
	Vollständiger Bewuchs	51-100%		5	
			* Regelmässig		

Abbildung 7: Schema und Bewertung Beläge (nach Thomas&Schanz (1976), vereinfacht)

Trübung/Verfärbung

Bedeutung:

Trübungen werden durch Schwebstoffe im Wasser verursacht, die das Licht streuen. Je höher die Konzentration und je kleiner die Partikelgrösse der Schwebstoffe ist, desto höher ist die Trübung (Binderheim & Göggel, 2007). Bei Anlagen der Kategorien 1-3 kann eine saisonale grünliche Trübung durch schwebendes Phytoplankton entstehen. Anhaltende Trübungen weisen jedoch auf ein biologisches Ungleichgewicht, mangelhafte Funktion des Filters oder eine Überlastung der Anlage hin. Bei öffentlichen oder halböffentlichen Anlagen können starke Trübungen ein Sicherheitsproblem darstellen, da die Sicht bis auf den Beckenboden gewährleistet sein muss (SVBP, 2012).

Verfärbungen können durch gelöste anorganische und organische Stoffe entstehen (Binderheim & Göggel, 2007). So können beispielsweise aus Holz ausgewaschene Huminstoffe zu einer Braunfärbung des Wassers führen.

Erhebung und Bewertung:

Eine erste visuelle Beurteilung der Trübung erfolgte vor Ort anhand der in Abbildung 8 ersichtlichen Bilder. Als Referenz wurde dabei die Sichtbarkeit der Einstiegsstufen verwendet. Eine wissenschaftlich exakte Beurteilung erfolgte aufgrund des Ermittelns von FNU-Trübungswerten mithilfe eines Trübungsmessgeräts. In der vorliegenden Arbeit wurde die Trübung mit einem 2100P/ISO/Turbidimeter von Hach-Lange nach dem vorgegebenen Verfahren des Herstellers ermittelt.

Bewertungsraster Trübung/Verfärbung

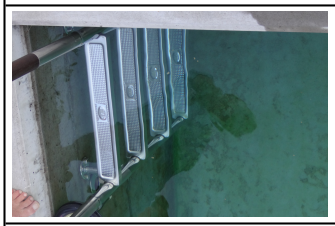
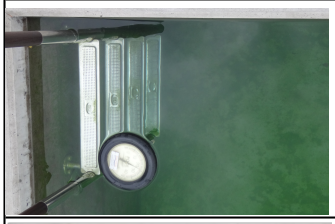
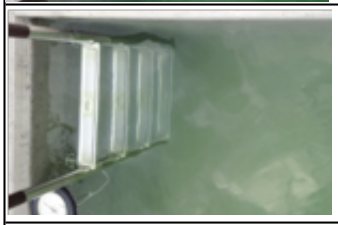
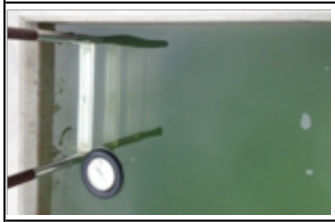
Bild		FNU	Sichtweite [cm]	Bewertung (Kat 1-3)	Bewertung (Kat 4-5)
	Keine Trübung	<0.5	>200	1	1
	leichte Trübung	0.6–1.0	200		2
	mittlere Trübung	1.1–2.0	150	2	3
	mittlere Trübung	2.1–3.0	100	3	4
	starke Trübung	3.1–4.0	50	4	5
	Sehr starke Trübung	4.1–10	<50	5	

Abbildung 8: Beurteilung und Bewertungsraster der Trübung/Verfärbung

Pflanzenwachstum

Bedeutung:

Die Bepflanzung hat bei Schwimmteichen der Kategorien 1-3 eine wesentliche Funktion für das ökologische Gleichgewicht des Gewässers. Bei Gewässern der Kategorie 4 und 5 kann der Anteil der Bepflanzung aufgrund der eingesetzten Filtertechnik stark reduziert sein oder ganz wegfallen.

Erhebung und Bewertung:

Der Pflanzenwuchs wurde optisch erfasst und anhand der in Abbildung 9 aufgezeigten dreistufigen Raster Stufen beurteilt.

Da nicht alle Anlagen über Pflanzenzonen verfügten, wurden die Resultate der Erhebung in der Endbeurteilung nicht berücksichtigt.

Beurteilungsraster Pflanzenwuchs

Vital	1
Kümmerwuchs	3
Pflanzen sind abgestorben	5

Abbildung 9: Beurteilungsraster Pflanzenwuchs

Geruch

Bedeutung:

Wasser ist geruchlos. Durch hohe organische Belastung wie beispielsweise durch Herbst können faulige oder abgestanden riechende Gerüche wahrgenommen werden (Binderheim & Göggel, 2007). Geruchsbildung kann auf Störungen im System hinweisen.

Erhebung und Bewertung:

Die Geruchsprüfung fand ebenfalls vor Ort statt. Eine Beurteilung wurde anhand des Rasters in Abbildung 10 gemacht. Die Resultate der Geruchsprüfung dienten der reinen Information und flossen nicht in die Endbeurteilung mit ein.

Beurteilungsraster Geruch

Kein/Frisch	1
Leicht/Mittel	3
Stark/Faulig	5

Abbildung 10: Beurteilungsraster Geruch

3.3.3 Pflegeaufwand

Bedeutung:

Der Pflegeaufwand quantifiziert den effektiven Zeitaufwand, der durch den Unterhalt einer Schwimmteichanlage verursacht wurde. Die Pflege beeinflusst das Teichökosystem und ist für die zuverlässige Funktion der biologischen Reinigungsprozesse wesentlich.

Pflegeaufwand und äusserer Aspekt stehen in einer Wechselwirkung. So kann ein tiefer Pflegeaufwand beispielsweise in einer schlechteren Beurteilung des Äusseren Aspekts resultieren und umgekehrt.

Erhebung und Bewertung:

Durch die Schwimmteichbesitzer wurden in einem Protokoll (Anhang C) Art und Dauer sämtlicher selber oder durch Dritte durchgeführten Pflegetätigkeiten des Gewässers erfasst.

Nach der Digitalisierung der Daten fand die Bewertung nach dem in Abbildung 11 ersichtlichen Raster statt. Um die Vergleichbarkeit unterschiedlich grosser Teichanlagen zu erreichen, wurden die Angaben jeweils auf eine standardisierte Fläche von 32m2 hochgerechnet.

Bewertungsraster Pflegeaufwand

Durchschnittlicher Aufwand [h] pro Woche während der Vegetationszeit (35W)	Bewertung (Kat 1-3)	Bewertung (Kat 4-5)
≤ 0.25	1	1
≤ 0.5	2	2
≤ 1	3	3
≤ 2	4	4
> 2	5	5

Bemerkung: für eine Fläche von 32 m2

Abbildung 11: Bewertungsraster Pflegeaufwand

3.3.4 Physikalischer Aspekt

Bedeutung:

Das Erfassen der physikalischen Parameter ermöglichte die Aufzeichnung von Schwankungen des ökologischen Systems. Es diente ausserdem als „Blackbox“ zur groben Überwachung der Anlagen. Unvorhergesehene Vorkommnisse sollen so besser erkannt und starke Belastungen rückverfolgt werden.

Erhebung und Bewertung:

Die physikalischen Parameter wurden permanent mit stationären Computern (Ecopool) erfasst und gespeichert. Dabei wurden je nach Speicherfähigkeit der verwendeten Computer mindestens 4 Datensätze pro Tag erfasst. Die Ergebnisse wurden nicht bewertet.

Erfasste Parameter: pH, Temperatur, Leitfähigkeit, Redoxpotential

3.3.5 Mikrobiologische Aspekt

Bedeutung:

Durch die Untersuchung mikrobieller Verunreinigungen wurden Rückschlüsse auf die Nutzungsintensität und Regenerationsfähigkeit eines Schwimmteiches ermöglicht. Da keine gesetzlichen Vorgaben bestehen, wurden private Anlagen bisher kaum je untersucht.

Erhebung und Bewertung:

Anfangs Juli und Anfangs August wurden stichprobenmässig zwei Mal mikrobiologische Proben zur hygienischen Beurteilung aufgenommen und zur Auswertung an ein externes Labor eingeschickt. Die Probenahme wurde mit Handschuhen, im Schwimmbereich von Land aus durchgeführt. Es wurden vom Labor zur Verfügung gestellten, Sterile Kunststoffflaschen verwendet. Die Resultate wurden mit den in Tabelle 6 sichtbaren Richtwerten des BAG (2004) verglichen. Es wurde davon ausgegangen, dass zur Zeit der Probenahme die höchsten mikrobiellen Belastungen der untersuchten Gewässer auftraten.

Die Resultate der Überprüfung der mikrobiologischen Parameter wurden nicht bewertet.

Untersuchungsparameter: Escherichia coli, Enterokokken, Pseudomonas aeruginosa

Tabelle 6: Mikrobiologische Parameter: Richtwerte des BAG (2004)

Untersuchungsparameter	Richtwerte BAG
Escherichia coli KBE/100 mL	100
Enterokokken KBE/100 mL	40
Pseudomonas aeruginosa KBE/100 mL	10

3.4 Nährstoffbilanzierung

Bedeutung:

Auf die Bedeutung der Nährstoffbilanzierung wurde in Kapitel 2.3 näher eingegangen.

Erhebung:

Sämtliche Austräge aus dem System wurden gesammelt und einer Kunststoffkiste deponiert (Abbildung 12).

Pflanzenrückschnitt, Algen und weitere Biomasseausträge wie Haare oder Schmutz wurden danach im Labor getrocknet und über das Gewicht der Trockensubstanz (TS) die

Grössenordnung des Phosphoraustrags berechnet. Dabei wurde anhand Redfield-Verhältnis (Redfield, 1934) grob davon ausgegangen, dass der Phosphorgehalt einen Hundertstel des Trockengewichts der organischen Substanz beträgt (Frei, 2012).

Bei Filterrückspülungen wurde das Wasser chemisch analysiert und die Gesamtmenge des ausgetragenen Phosphors über das Volumen des Rückspülwassers berechnet.

Einträge aus der Luft wurden mit Hilfe einer Messsäule erfasst (Abbildung 13). Eine 68 cm hohe Glassäule mit 15 cm Durchmesser wurde mit einem feinmaschigen Trennnetz ausgestattet. So konnten feste und flüssige atmosphärische Deposition getrennt gesammelt werden. Die Säule wurde in unmittelbarer Nähe der Teichanlage angebracht, jedoch ohne dass das Ergebnis durch Spritzwasser aus dem Badebetrieb verfälscht werden konnte. Mittels chemischer Analyse der flüssigen Deposition und über das Gewicht der festen Deposition (TS) wurde der Phosphoreintrag für die Gesamtfläche der jeweiligen Anlage berechnet.

Mit Hilfe eines Protokolls (Anhang C) wurde die Nutzung der Anlagen erfasst. Aufgenommen wurden Nutzungsdauer des Bades und die Anzahl der Badegäste. Über die Anzahl Badegäste konnte mittels des in der FLL (2011) definierten Wertes von 75 mg Phosphor pro Badegast der nutzungsbedingte Phosphoreintrag berechnet werden.

Abbildung 12: Austragssammelbehälter

Abbildung 13: Lufteintragssäule

4 Ergebnisse

4.1 Beurteilte Parameter

4.1.1 Chemische Wasserwerte

Die im Badewasser gemessenen Total-Phosphor Durchschnittswerte der Badesaison 2015 weisen starke Unterschiede auf (Abbildung 14). Auffallend ist der mit 475 µgP/l hohe Wert bei der Anlage Marinovic, welcher zugunsten der Übersichtlichkeit grafisch nicht komplett dargestellt wird. Auch die Teiche Saluz und Stadelmann liegen über dem Grenzwert des SVBP von 20 µg/l bei Teichen der Kategorie 4-5, der Teich Abderhalden überschreitet diesen Wert ebenso. Der niedrigste Mittelwert konnte mit 3 µg/l P bei der Anlage Hochuli bestimmt werden, auch Steiner weist mit 5 µg/l P tiefe Werte auf. Sehr tiefe Werte finden sich ebenso bei den beiden Anlagen der Kategorie 1-3, Baumberger und Sutter. Die dazugehörigen Saison-Verläufe der Phosphorwerte für die einzelnen Anlagen können den Teichdatenblättern im Anhang entnommen werden.

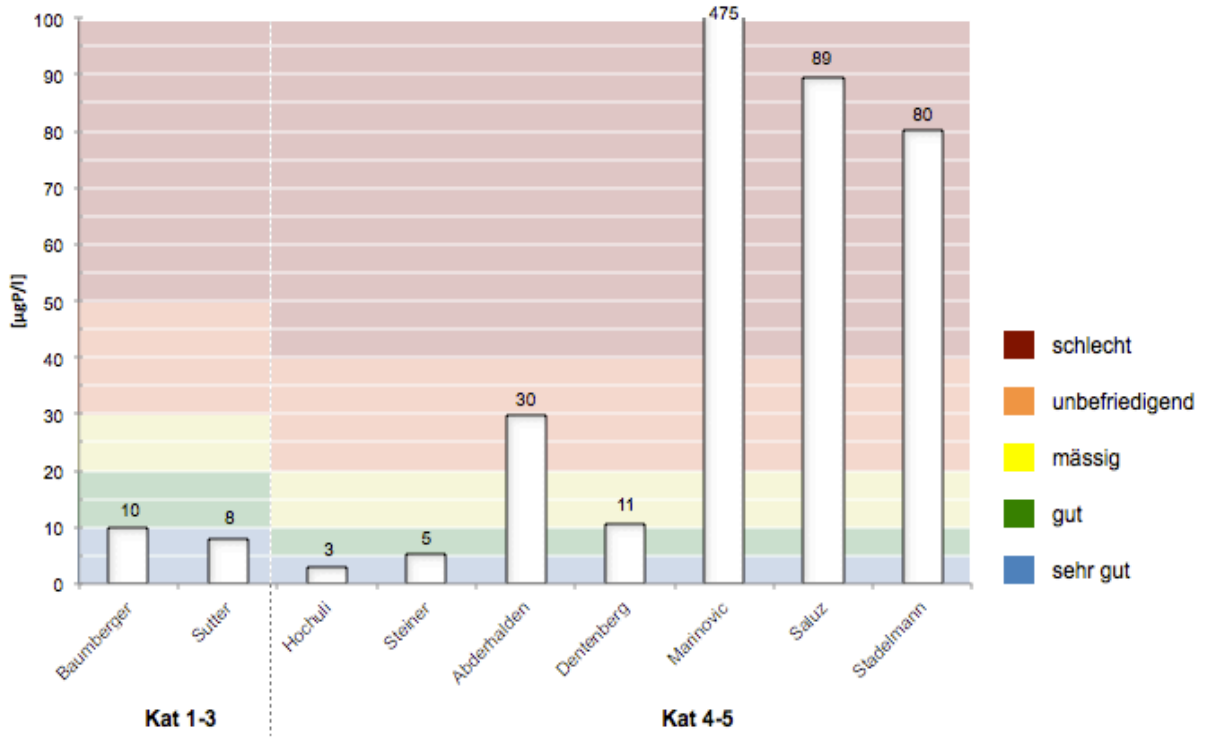


Abbildung 14: Zusammenstellung der gemessenen durchschnittlichen Total-Phosphor Werte der Badesaison 2015 mit Bewertungsskala

4.1.2 Äusserer Aspekt

In Abbildung 15 sind die Saisonmittelwerte der Bewertung der Aspekte Algenwachstum, Beläge und Trübung aufgeführt. Die detaillierten Saisonverläufe aller Anlagen befinden sich in den Teichdatenblättern im Anhang der Arbeit.

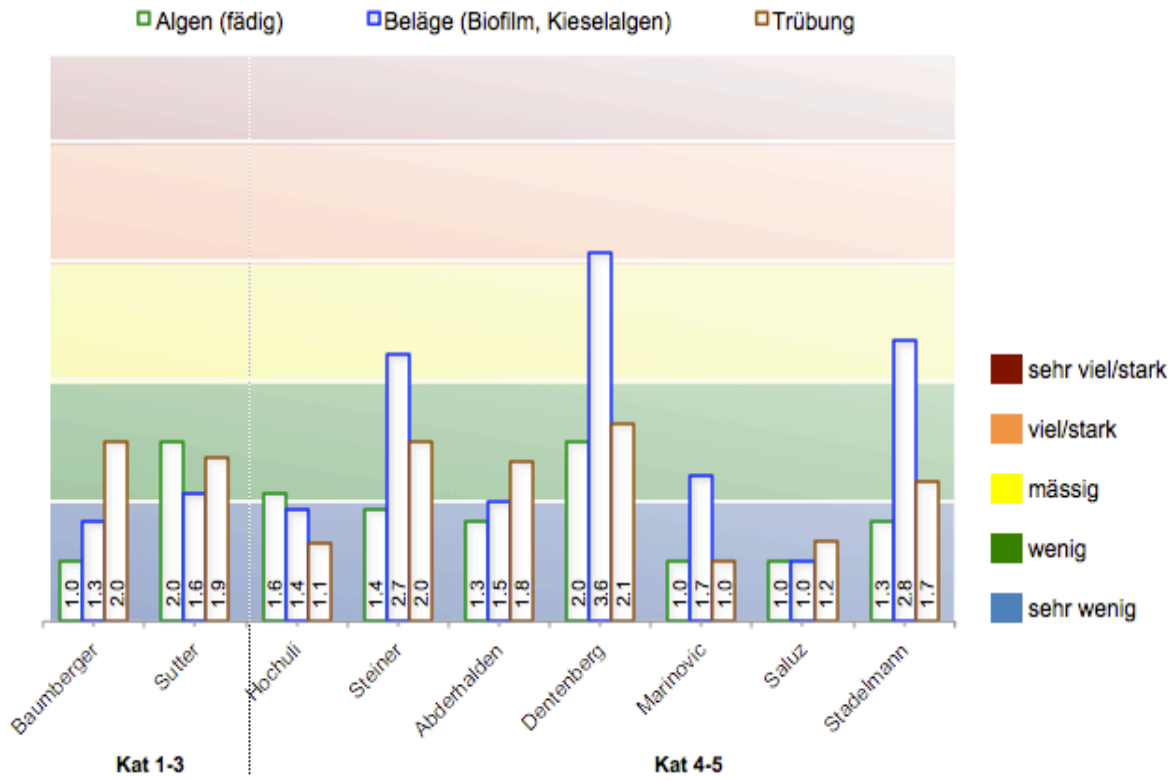


Abbildung 15: Saisonmittelwerte der Bewertung „Äusserer Aspekt“ mit Bewertungsskala

Algen:

Es kam in keiner Anlage zu einer grossflächigen Algenblüte. Jedoch konnten in mehreren Anlagen zeitweise Algenaufkommen registriert werden (Abbildung 16 bis Abbildung 19). Die Saisonverläufe der einzelnen Anlagen sind den Datenblättern im Anhang zu entnehmen.

Abbildung 16: Lokales Aufkommen von Fadenalgen an der Überlaufkante der Anlage Hochuli

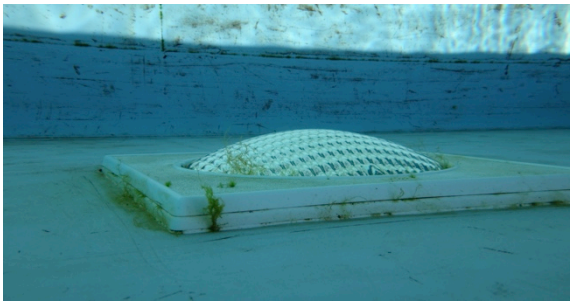


Abbildung 17: Schwacher Bewuchs von Fadenalgen an der Unterwasserbeleuchtung

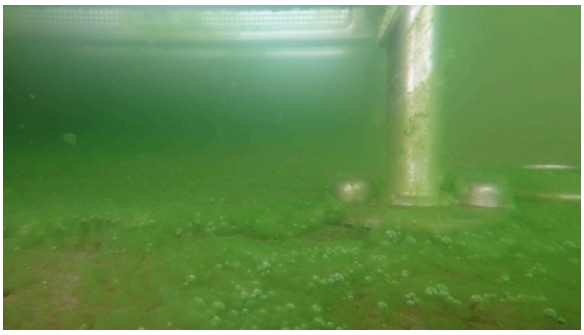


Abbildung 18: Mittlerer Bewuchs im Juli bei der Anlage Steiner

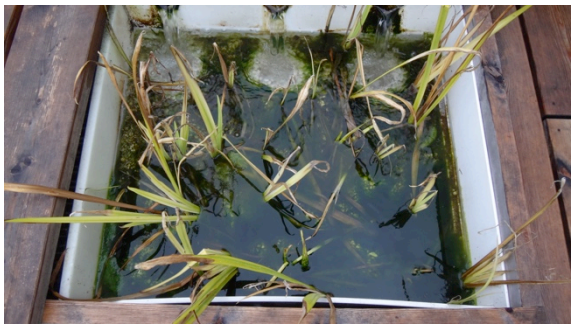


Abbildung 19: Lokaler Bewuchs von Fadenalgen auf der Filteroberfläche bei Abderhalden

Beläge:

Beläge und Aufwuchs wurden bei den Anlagen Dentenberg, Stadelmann und Steiner registriert. Bei der Anlage Dentenberg kam es im Verlaufe der Saison immer wieder zu einer starken Belagsbildung (Abbildung 20). Bei der Anlage Stadelmann waren dunkle Biofilmablagerungen vor allem an der Wasserkante am Rande der Abdeckung sichtbar (Abbildung 21). Auch bei der Anlage Steiner wurde im Juli eine Belagsbildung registriert (Abbildung 22). Bei der Anlage Marinovic waren weisse Ablagerungen bei der Überlaufkante zu erkennen (Abbildung 23).

Abbildung 20: Starke Belagsbildung Dentenberg

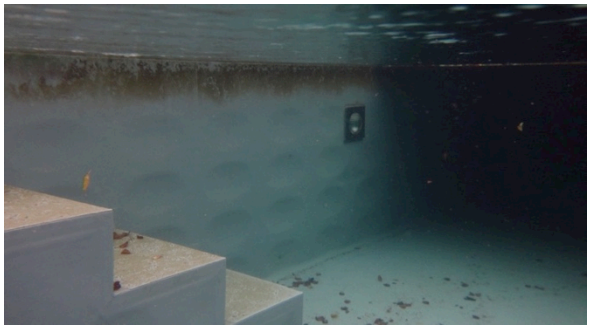


Abbildung 21: Belagsbildung am Rand der Poolabdeckung bei Stadelmann

Abbildung 22: Mittlere Belagsbildung im Schwimmbereich bei Steiner

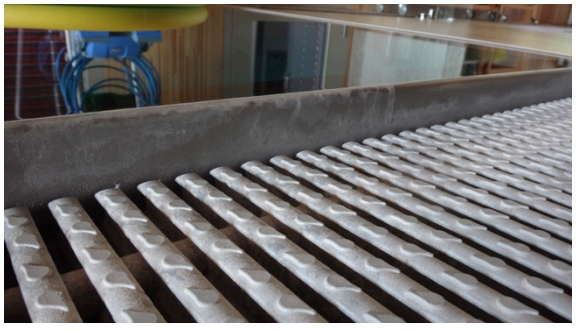


Abbildung 23: Ablagerungen bei der Überlaufkante der Anlage Marinovic

Trübungen:

Es wurden Trübungen gemessen im Bereich zwischen 0.19-10.6 FNU, wobei der höchste gemessene Wert einen Einzelfall darstellt und deshalb nicht in der grafischen Darstellung berücksichtigt wird. Auffällig sind die Trübungsspitzen in Juni und August bei den Anlagen Steiner und Dentenberg (Abbildung 24). Bei den Anlagen der Kategorie 1-3 zeigen sich zu Beginn der Messperiode erhöhte Trübungswerte (Abbildung 25).

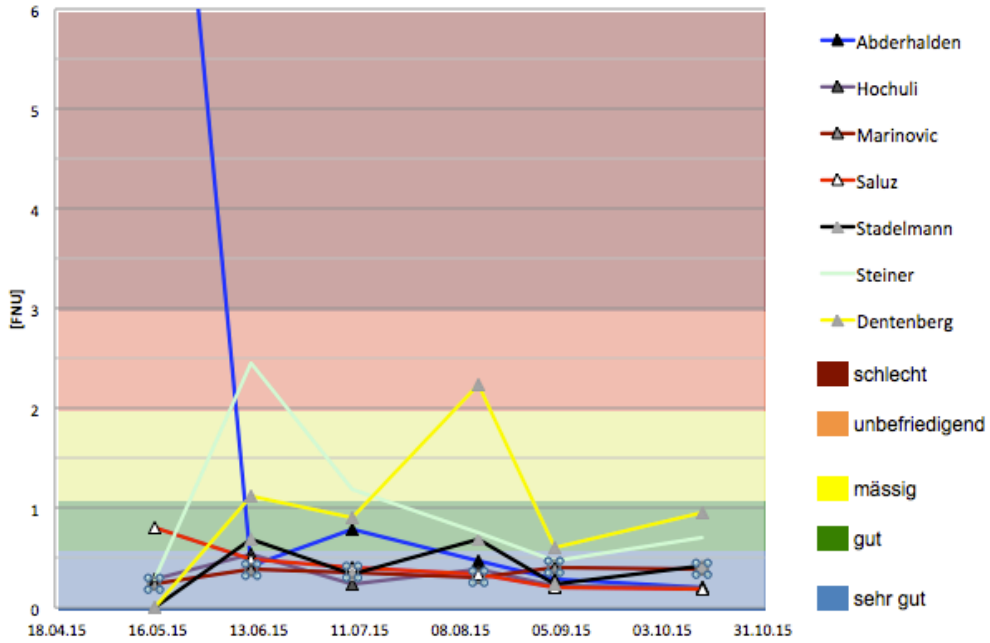


Abbildung 24: Saisonverlauf der gemessenen Trübungswerte der Teiche Kat 4-5 mit Bewertungsraster

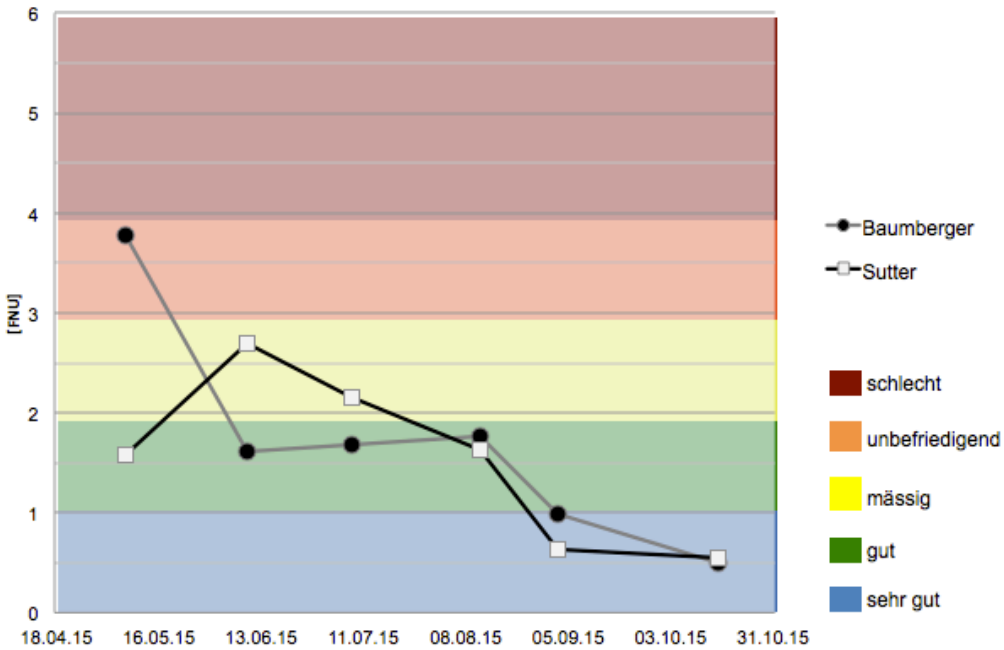


Abbildung 25: Saisonverlauf der gemessenen Trübungswerte der Teiche Kat 1-3 mit Bewertungsraster

Abbildung 26: Unterwasseraufnahme der gemessenen maximalen Trübung von 10.8 FNU

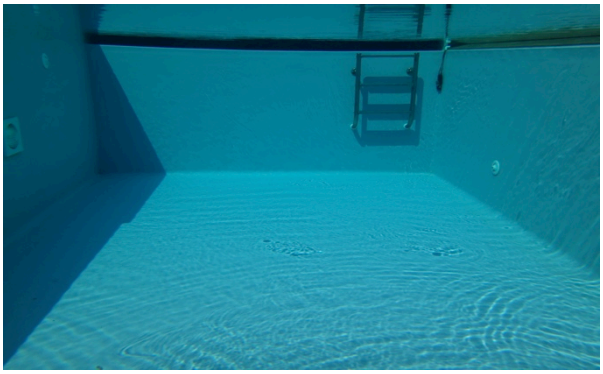


Abbildung 27: Unterwasseraufnahme der gemessenen minimalen Trübung von 0.2 FNU

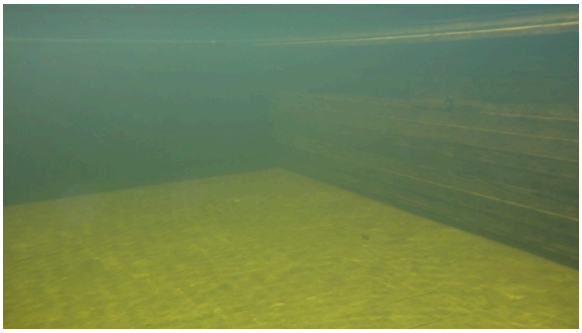


Abbildung 28: Trübung von 0.48 FNU

Abbildung 29: Gemessene durchschnittliche Trübung von 0.2 FNU

Pflanzenwachstum

Der Zustand der Bepflanzungen ist mehrheitlich mässig (Tabelle 7). In der Anlage Baumberger waren die Pflanzen am Anfang der Messperiode vital. Danach wurde vermehrt Kümmerwuchs bei den Unterwasserpflanzen festgestellt (Abbildung 30). Viele der vorgefundenen Pflanzen wiesen Merkmale von Mangelerscheinungen auf, wie beispielsweise gelbe Blattfärbung, kleiner Habitus und späte Blüte (Abbildung 31). Bei Hochuli und Dentenberg waren die Pflanzen im Filter mehrheitlich abgestorben. Die Indooranlage Marinovic verfügt über keine Pflanzenzone, bei Stadelmann war die Pflanzenzone nicht mehr an den Kreislauf angehängt.

Tabelle 7: Beurteilung Pflanzenwuchs nach Beurteilungsraster

Pflanzenwachstum

2015	Baumberger	Sutter	Hochuli	Steiner	Abderhalden	Dentenberg	Marinovic	Saluz	Stadelmann
April		3	3	3		3			
Mai	1	3	3	1	3	3		3	
Juni	1	3	3	3	3	3		3	
Juli	1	3	5	3	3	5		3	
August	3	1	5	3	3	5		3	
September	3	1	5	3	3	3		3	
Oktober	3	1	5	3	3	3		3	

1	Vital
3	Kümmerwuchs
5	Pflanzen sind abgestorben
	Keine Pflanzen

Abbildung 30: Vitale Pflanzen in der Kat. 2 Anlage Baumberger, allerdings kümmernde Unterwasserpflanzen.

Abbildung 31: Pflanzenwachstum in der Kat. 5 Anlage Saluz. Gelbfärbung weist auf Nährstoffmangel hin.

Geruch

Im Verlauf der Badesaison 2015 wurde bei keiner Anlage eine aussergewöhnliche Geruchsbildung festgestellt.

4.1.3 Pflegeaufwand

Der totale Reinigungsaufwand pro Saison belief sich gemäss den Kundenprotokollen auf Werte zwischen 46 h und 151 h. Ohne die automatisierte Reinigung betrug der Reinigungsaufwand pro Saison zwischen 7.4 h und 27.8 h (Abbildung 32). Umgerechnet auf die standardisierte Anlagenfläche von 32m2 ergibt sich eine Pflegedauer zwischen 0.11 und 0.95 Stunden pro Woche (Abbildung 33). Bei Anlage Stadelmann liegen keine Daten zur Pflege vor.

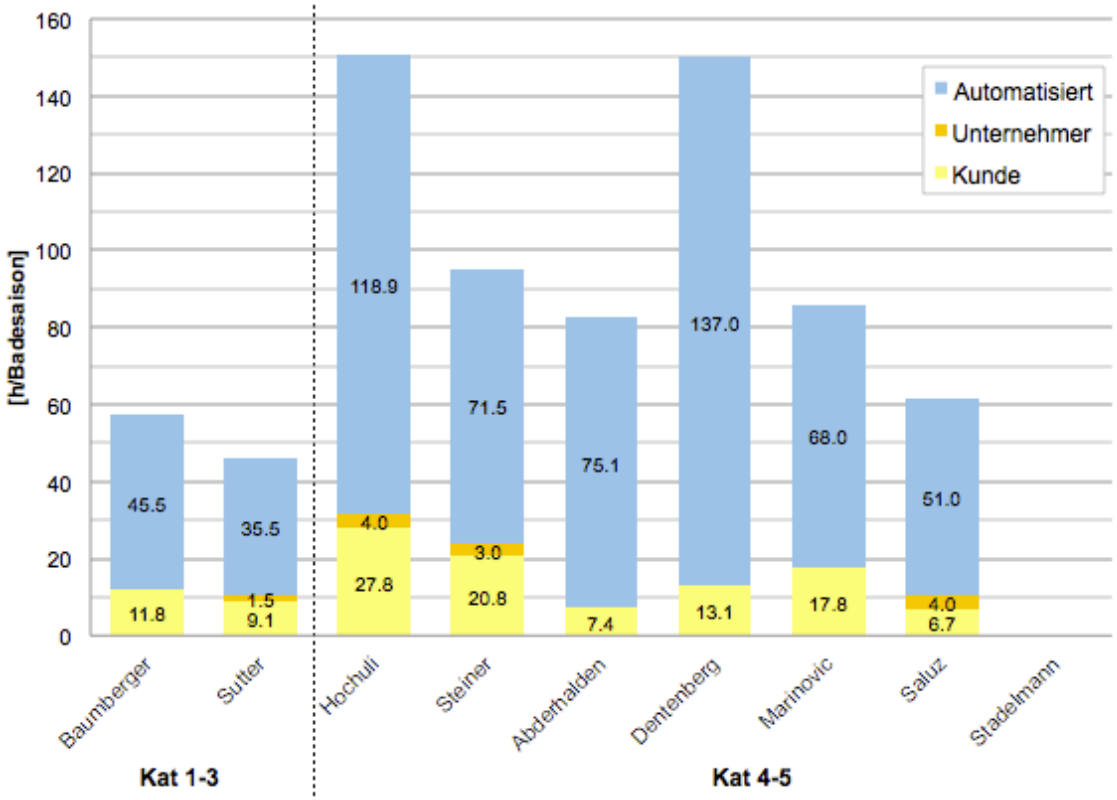


Abbildung 32: Reinigungsaufwand Total in Stunden während der ganzen Badesaison gemäss Protokoll

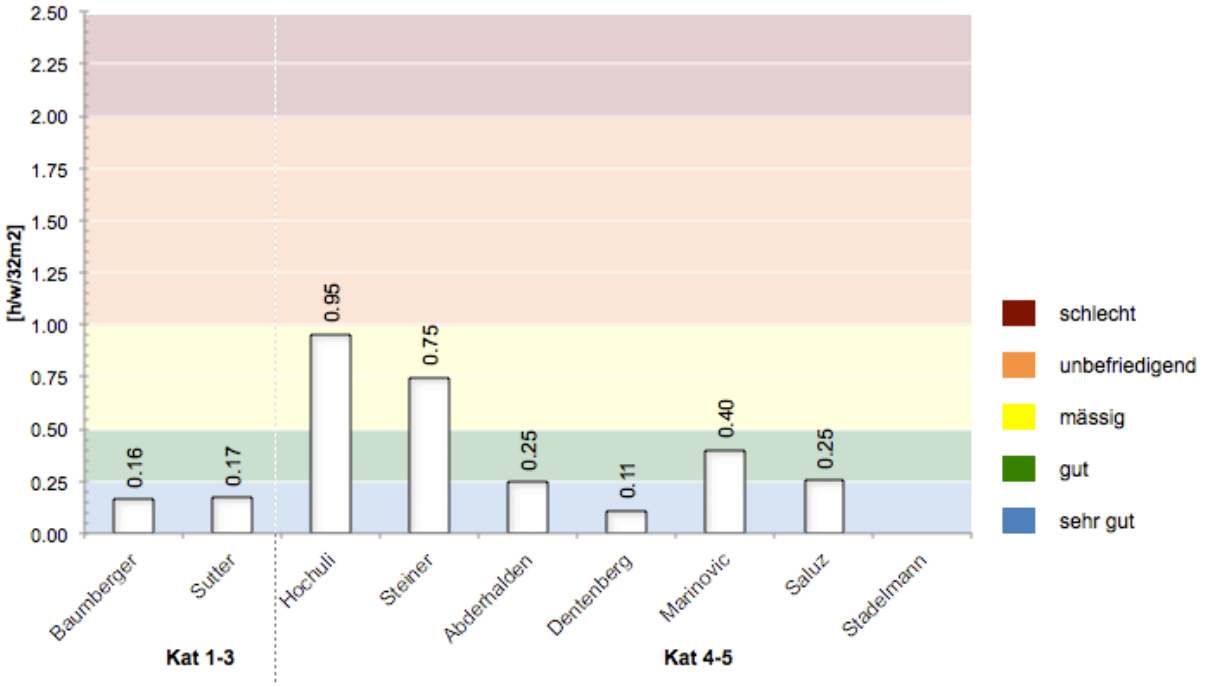


Abbildung 33: Wöchentlicher Stundenaufwand für die manuelle Teichpflege umgerechnet auf eine normierte Fläche von 32m^2 mit Bewertungsskala

4.1.4 Physikalischer Aspekt

Anhand der aufgezeichneten Daten lassen sich spezielle Vorkommnisse ablesen. Eingriffe in das System wie zum Beispiel der Einbau eines neuen Folienbodens Mitte Juli bei der Anlage Hochuli sind deutlich ablesbar (Abbildung 34). Kommt es zu mehrmaligen Datenverlusten durch Stromausfall und zusätzlich den Ausfall einer Messsonde wie bei der Anlage Sutter ist die Interpretation der Daten jedoch schwierig (Abbildung 35). Die Angaben der anderen Anlagen sind in den Teichdatenblättern im Anhang zu finden.

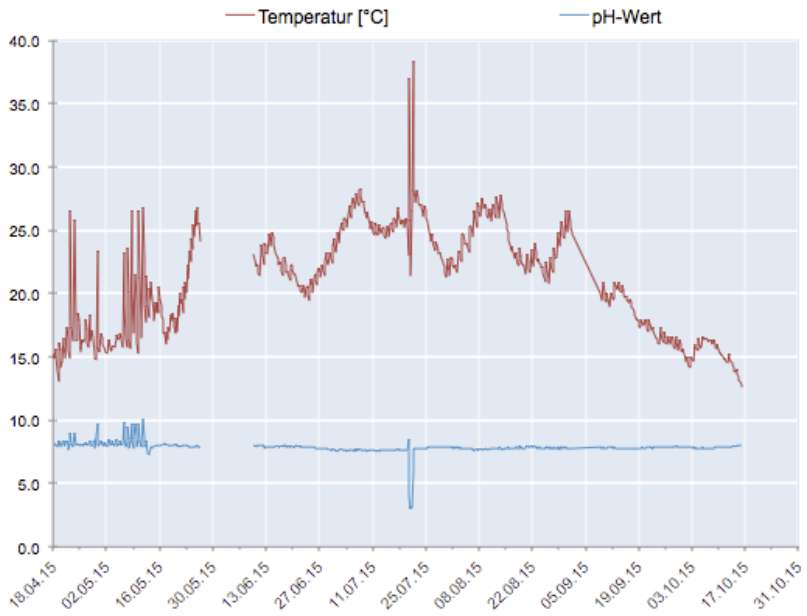


Abbildung 34: Saisonverlauf Temperatur und pH-Wert der Anlage Hochuli

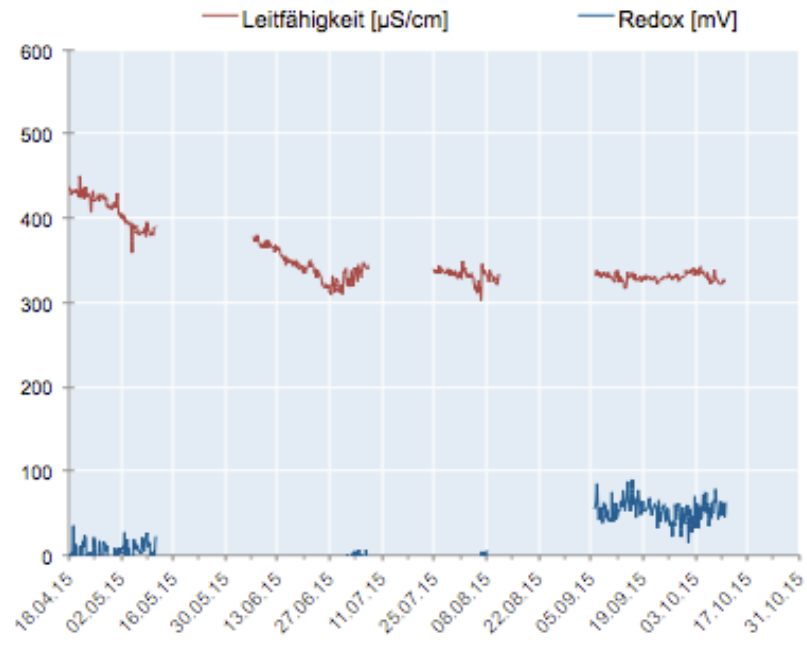


Abbildung 35: Saisonverlauf Leitfähigkeit und Redoxpotential der Anlage Sutter

4.1.5 Mikrobiologischer Aspekt

Die Resultate der Hygiene-Beprobung im Juli und August 2015 sind in Abbildung 36 aufgeführt. Die Werte von E-coli und Enterokokken bewegen sich bei allen Anlagen im Rahmen der Richtwerte des BAG (2004). Einzig bei *Pseudomonas aeruginosa* wurde der Richtwert von den Anlagen Hochuli, Marinovic und Stadelmann überschritten. Die Übertretung bei Marinovic ist nur geringfügig. Bei Hochuli wurde der Grenzwert bei der Messung im Juli deutlich überschritten.

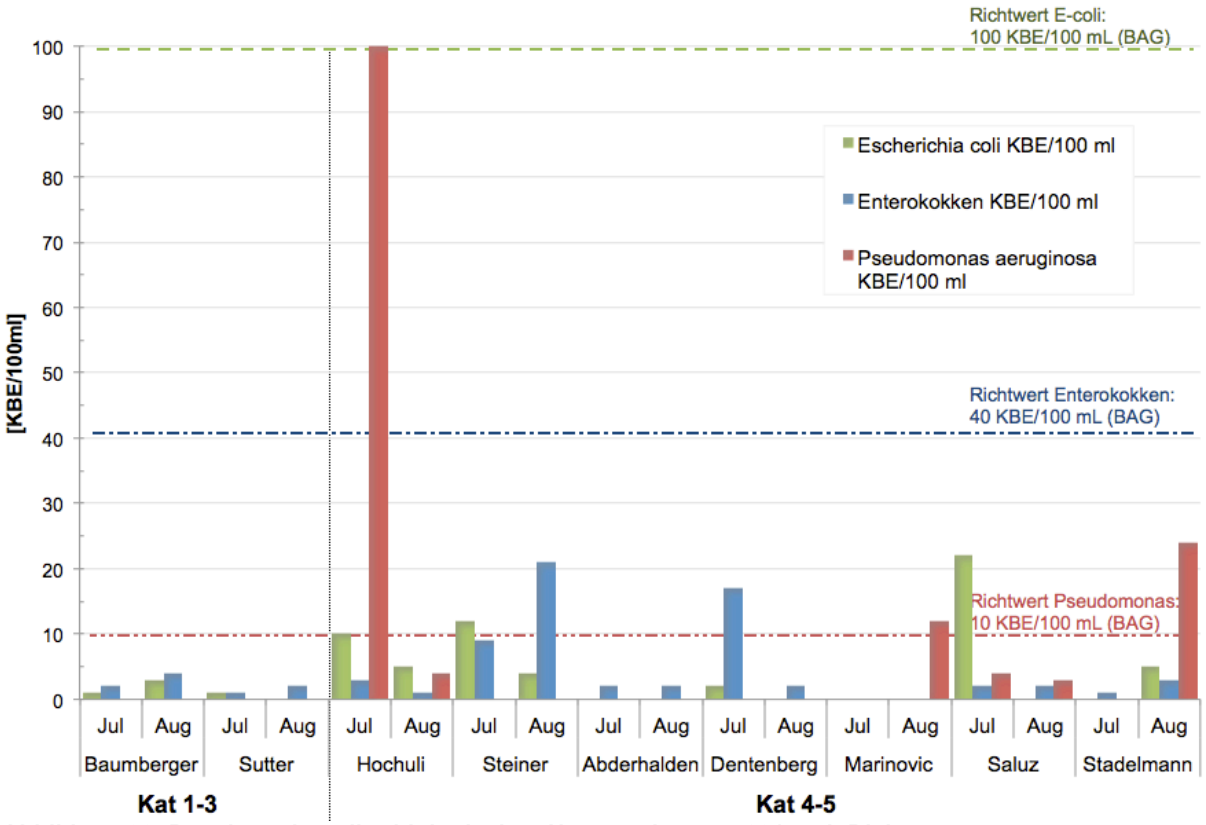


Abbildung 36: Resultate der mikrobiologischen Untersuchungen 2015 mit Richtwerten (BAG, 2004)

4.2 Nährstoffbilanzierung

4.2.1 Einträge

Im Rahmen der Nährstoffbilanzierung spielt die Nutzung einer Anlage eine wichtige Rolle. Relevant ist besonders die Totale Anzahl Badegäste einer Saison, da über diesen Wert direkt der Phosphor-Eintrag durch die Badegäste berechnet wird. Bezüglich der Stabilität eines Gewässers ist aber auch die Gesamtnutzungsdauer einer Anlage interessant. Hier zeigen sich deutliche Unterschiede bei den untersuchten Teichen. Die maximale Zahl registrierter Badegäste pro Tag im Verhältnis zur Nennbelastung einer Anlage lässt Rückschlüsse auf Überlastungen der Teiche zu. Auch hier sind die Unterschiede beträchtlich (Tabelle 8).

Tabelle 8: Nutzungsdaten der Teichanlagen und Nennbelastung

	Kat 1-3		Kat 4-5						
Anlage	Baumberger	Sutter	Hochuli	Steiner	Abderhalden	Dentenberg	Marinovic	Saluz	Stadelmann
Gesamtnutzung der Anlage [h]	49.3	116.90	108.1	34.1	85.0	133.8	256.5	92.9	–
Total aufgezeichnete Badegastanzahl Saison 2015	186	176	145	187	289	587	342	302	–
Maximal aufgezeichnete Badegastanzahl pro Tag	7	8	13	9	9	30	6	20	–
Zugelassene Badegastanzahl pro Tag (Nennbelastung)	11.40	8.44	3.28	3.94	4.34	24.33	6.57	5.74	–

– = Keine Daten

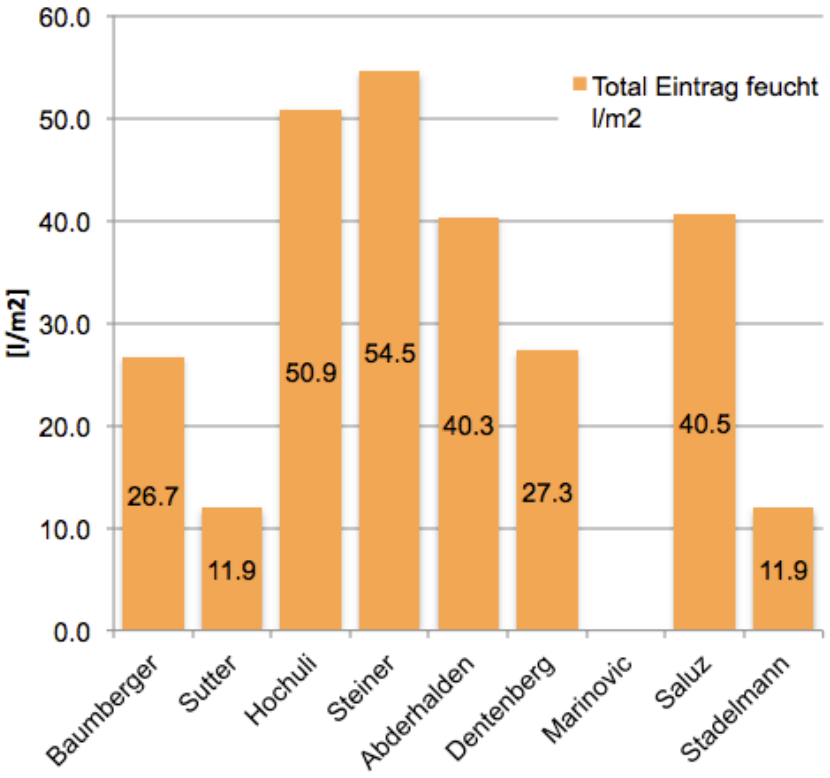


Abbildung 37: Menge des Niederschlagseintrags pro m2 und Anlage

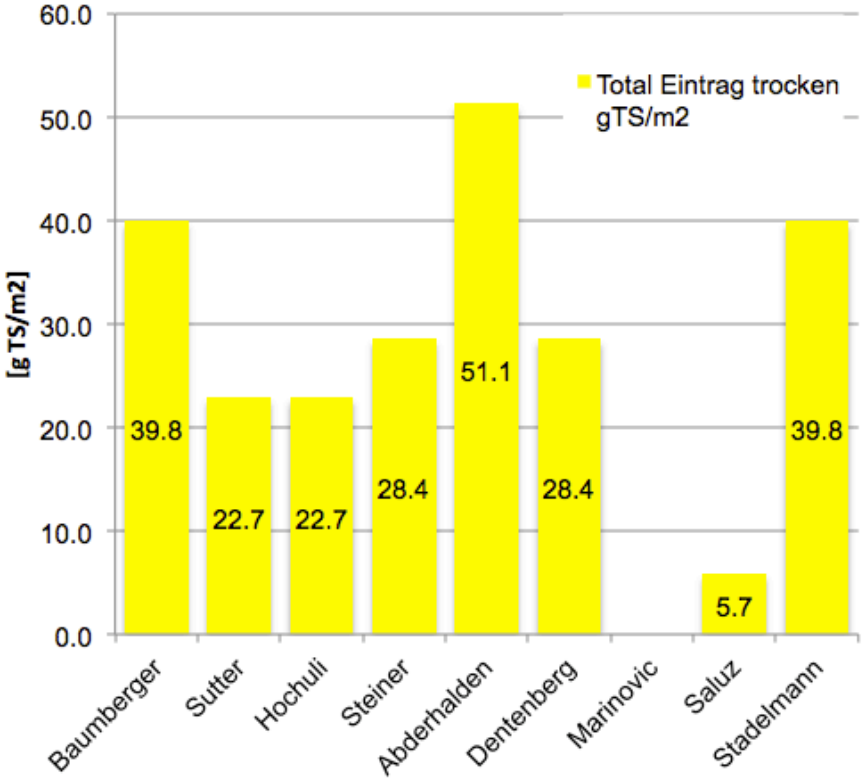


Abbildung 38: Gewicht der eingetragenen Trockensubstanz pro m2 und Anlage

Die regionalen Unterschiede bei der Menge der Niederschlagseinträge sind gross (Abbildung 37). Auch bei den Einträgen trockener Substanz gibt es Unterschiede (Abbildung 38). Bei der Indooranlage Marinovic wurden keine Niederschlagsmessungen gemacht.

4.2.2 Austräge

In den Anlagen Abderhalden, Saluz und Steiner wurden Rückspülungen durchgeführt. Dabei wurden die Filter mehrmals durchgespült und das Austragswasser jeweils beprobt. Die Summe der einzelnen Rückspülvorgänge ergibt den totalen Phosphor-Austrag (Abbildung 39). Die Anlage Abderhalden verfügt über mehrere Filterkammern, welche mit verschiedenen Filtermaterialien bestückt und einzeln beprobt wurden. Diese Resultate sind in Abbildung 40 aufgeführt.

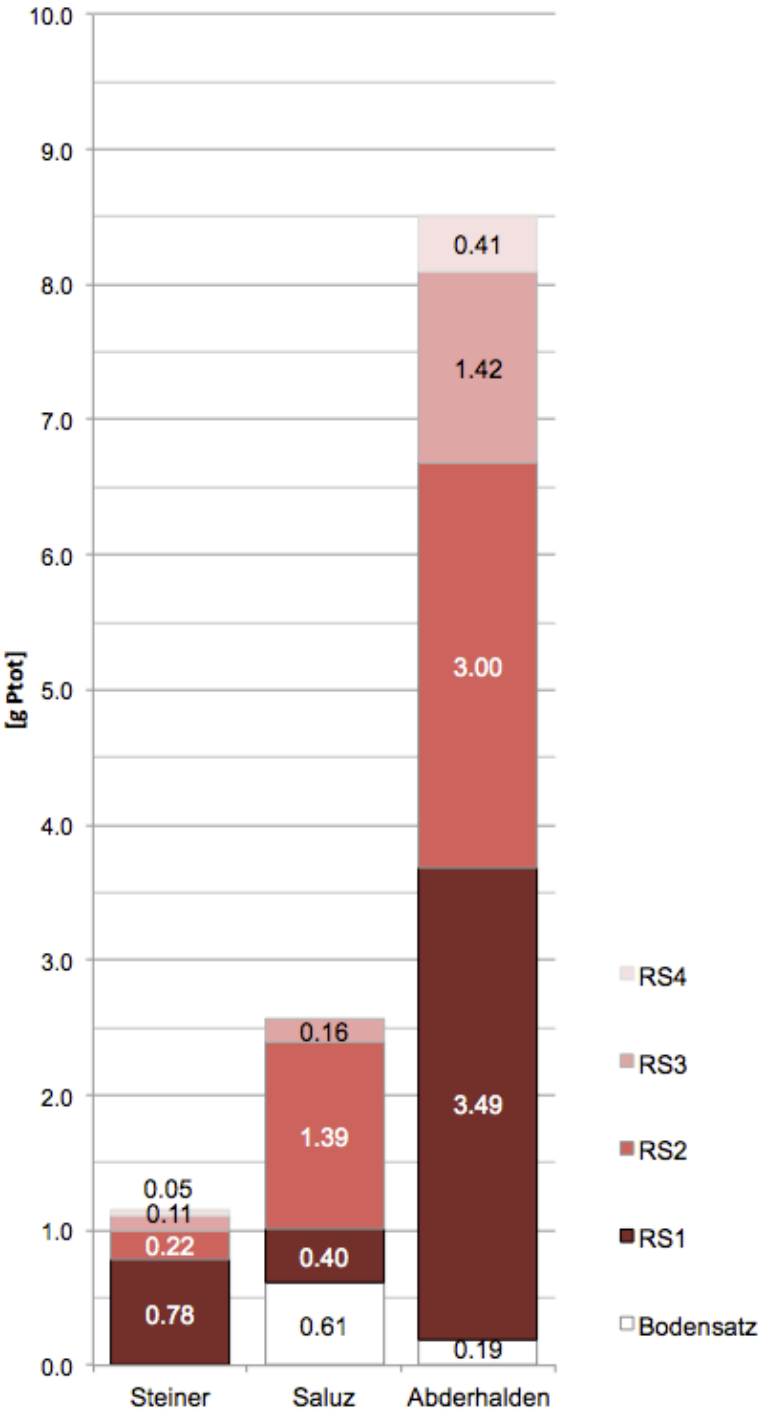


Abbildung 39: Phosphoraustrag durch Rückspülungen unterteilt in die einzelnen Rückspülvorgänge RS1 bis RS5 und Bodensatz

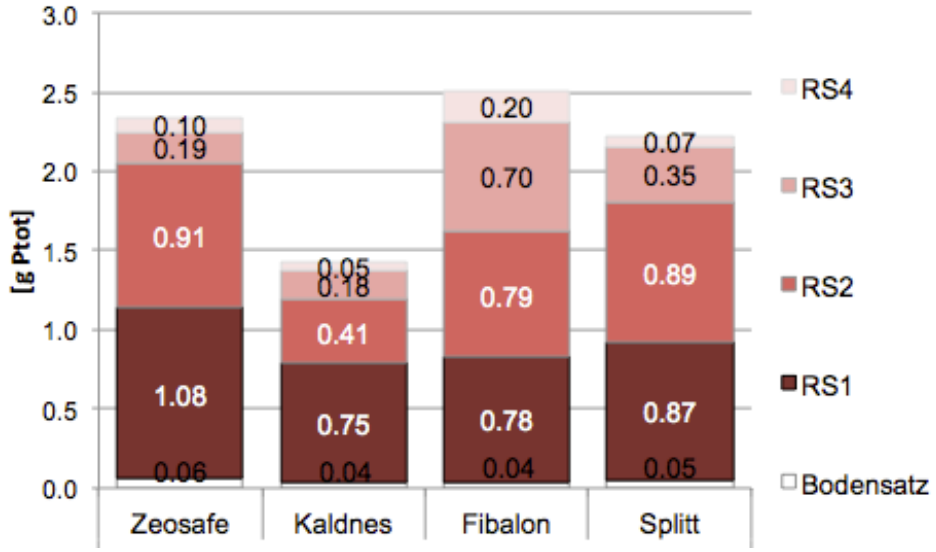


Abbildung 40: Rückspülergebnisse der einzelnen Filterkammern bei Abderhalden

4.2.3 Bilanz

Eine komplette Nährstoffbilanzierung konnte nur bei Baumberger, Sutter, Steiner und Abderhalden erstellt werden. Bei den Anlagen Hochuli und Dentenberg sind keine Daten vorhanden, da die Rückspülungen im Frühjahr nicht untersucht wurden. Bei den Anlagen Marinovic und Stadelmann wurden keine Rückspülungen durchgeführt. Bei Marinovic und Saluz sind keine Daten zu den Nährstoffausträgen durch Reinigung vorhanden und bei Stadelmann sind die Einträge durch Badegäste nicht bekannt.

Nur bei der Anlage Baumberger wurde eine annähernd ausgeglichene Bilanz erreicht. Bei den anderen Anlagen übersteigen die Einträge die Austräge deutlich (Abbildung 41). Die detaillierten Werte der Nährstoffbilanzierungen können den Teichdatenblättern im Anhang entnommen werden.

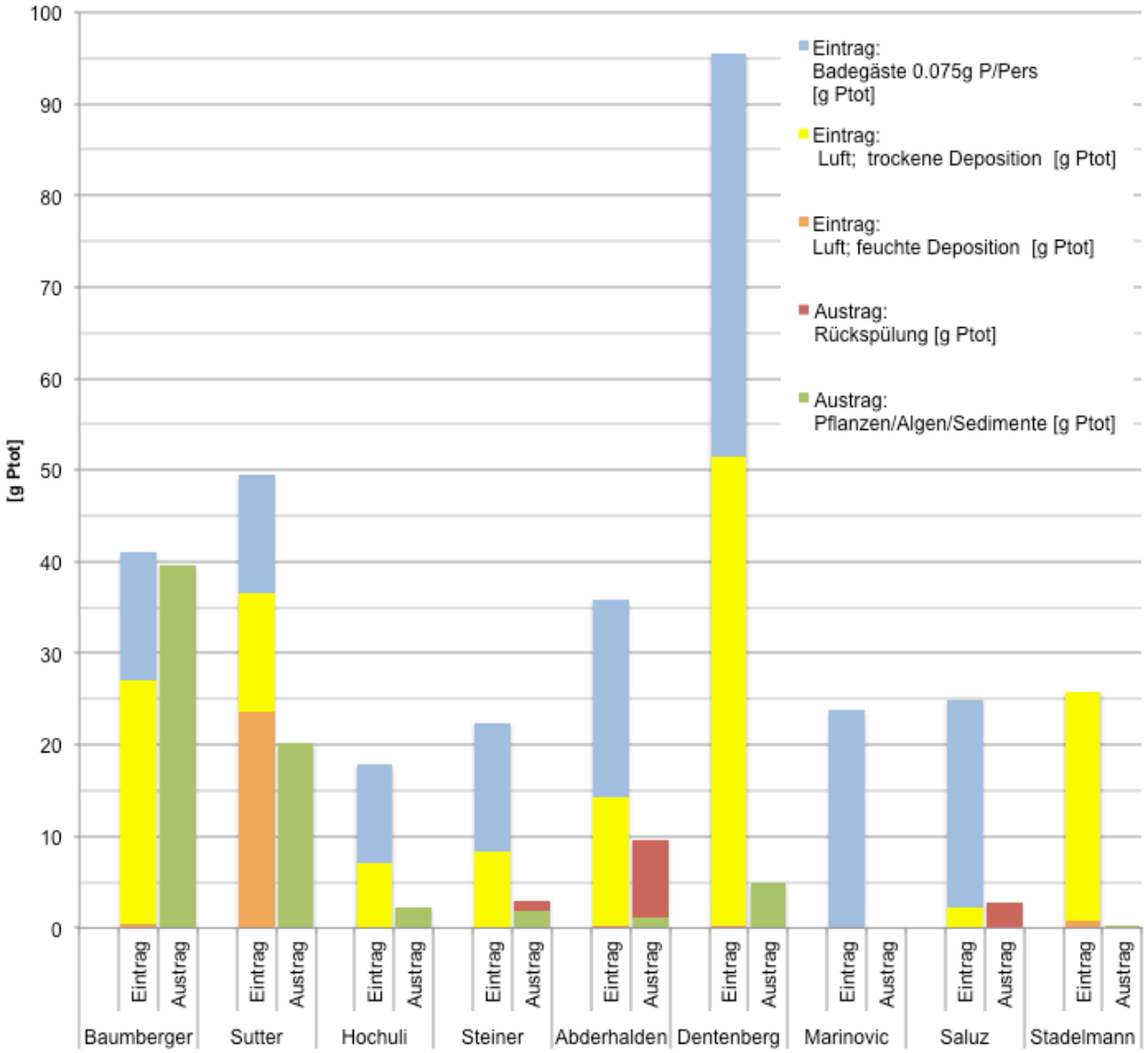


Abbildung 41: Bilanzierung der Ein- und Austräge von Phosphor aller untersuchten Anlagen in der Saison 2015.

4.3 Bewertung

Die Teiche der Kategorie 2 Baumberger und Sutter erzielen die beste Wertung und werden „sehr gut“ bewertet. „Gut“ werden die Anlagen 1, 4, 6 und 8 beurteilt. Je eine Anlage wird „mässig“ und „unbefriedigend“ beurteilt. Die Anlage Dentenberg muss aufgrund besonderer Umstände trotz guter Messwerte im Endergebnis mit „schlecht“ beurteilt werden (Abbildung 42).

Bewertung Schwimmteiche	Kat 1-3		Kat 4-5						
	Baumberger	Sutter	Hochuli	Steiner	Abderhalden	Dentenberg	Marinovic	Saluz	Stadelmann
Chemische Wasserqualität									
Gesamt-P [ug/L P]	10	8	3	5	30	11	475	89	80
Zwischenbeurteilung	**1.0**	**1.0**	**1.0**	**1.0**	**4.0**	**3.0**	**5.0**	**5.0**	**5.0**
Aspekt									
Algen (fädig)	1.0	2.0	1.6	1.4	1.3	2.0	1.0	1.0	1.3
Beläge (Biofilm, Kieselalgen)	1.3	1.6	1.4	2.7	1.5	3.6	1.7	1.0	2.8
Trübung	2.0	1.9	1.1	2.0	1.8	2.1	1.0	1.2	1.7
Zwischenbeurteilung	**1.4**	**1.8**	**1.4**	**2.0**	**1.6**	**2.6**	**1.2**	**1.1**	**1.9**
Pflegeaufwand									
Dauer [h/Woche] für 32m2	0.16	0.17	0.91	0.75	0.21	0.11	0.40	0.25	
Zwischenbeurteilung	**1.0**	**1.0**	**3.0**	**3.0**	**1.0**	**1.0**	**2.0**	**1.0**	
ENDBEURTEILUNG	**Kat 1-3**		**Kat 4-5**						
	1.1	**1.3**	**1.8**	**2.0**	**2.2**	**2.2**	**2.7**	**2.4**	**3.5**
	sehr gut	sehr gut	gut	gut	gut	schlecht*	mässig	gut	unbefriedigend

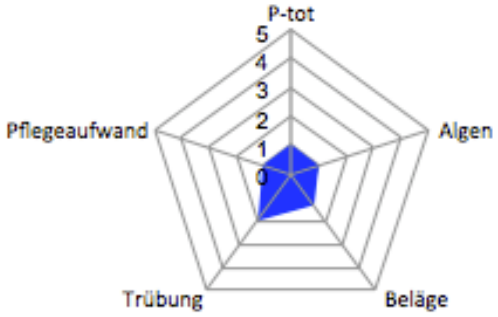
*abgewertet

Bewertungsraster					
1 sehr gut	2 gut	3 mässig	4 unbefriedigend	5 schlecht	
1–1.4	1.5–2.4	2.5–3.4	3.5–4.4	4.5–5	keine Wertung

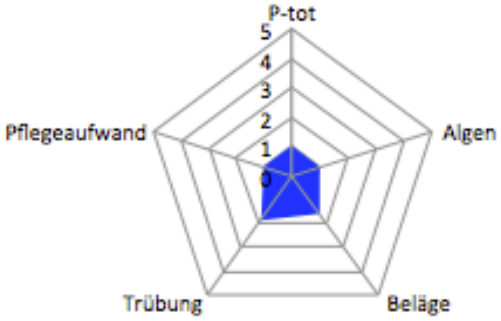
Abbildung 42: Saisonmittelwerte der einzelnen Parameter und Endbewertung von 9 Teichanlagen nach Bewertungsraster

Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die Daten als Spinnendiagramme aufbereitet (Abbildung 43). Je grösser die eingefärbte Fläche ist, desto schlechter die Wertung. Die Farbe entspricht der Endbewertung der Anlage .

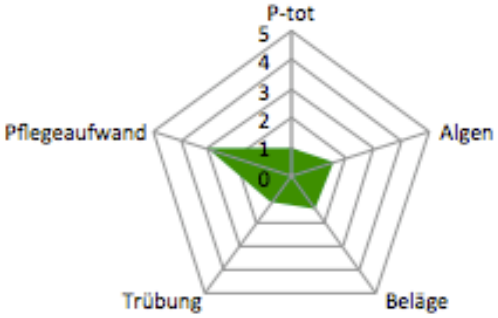
Baumberger



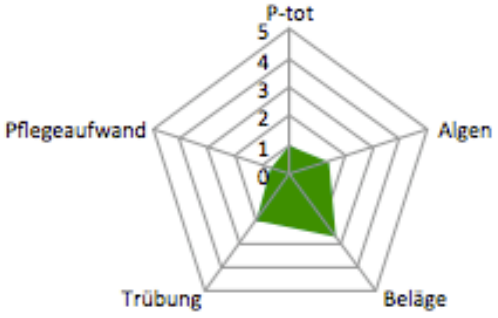
Sutter



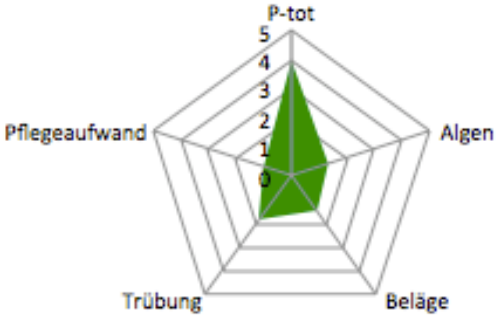
Hochuli



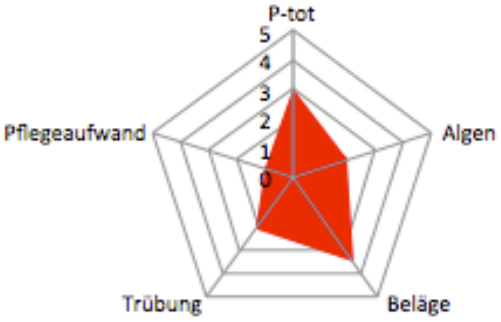
Steiner

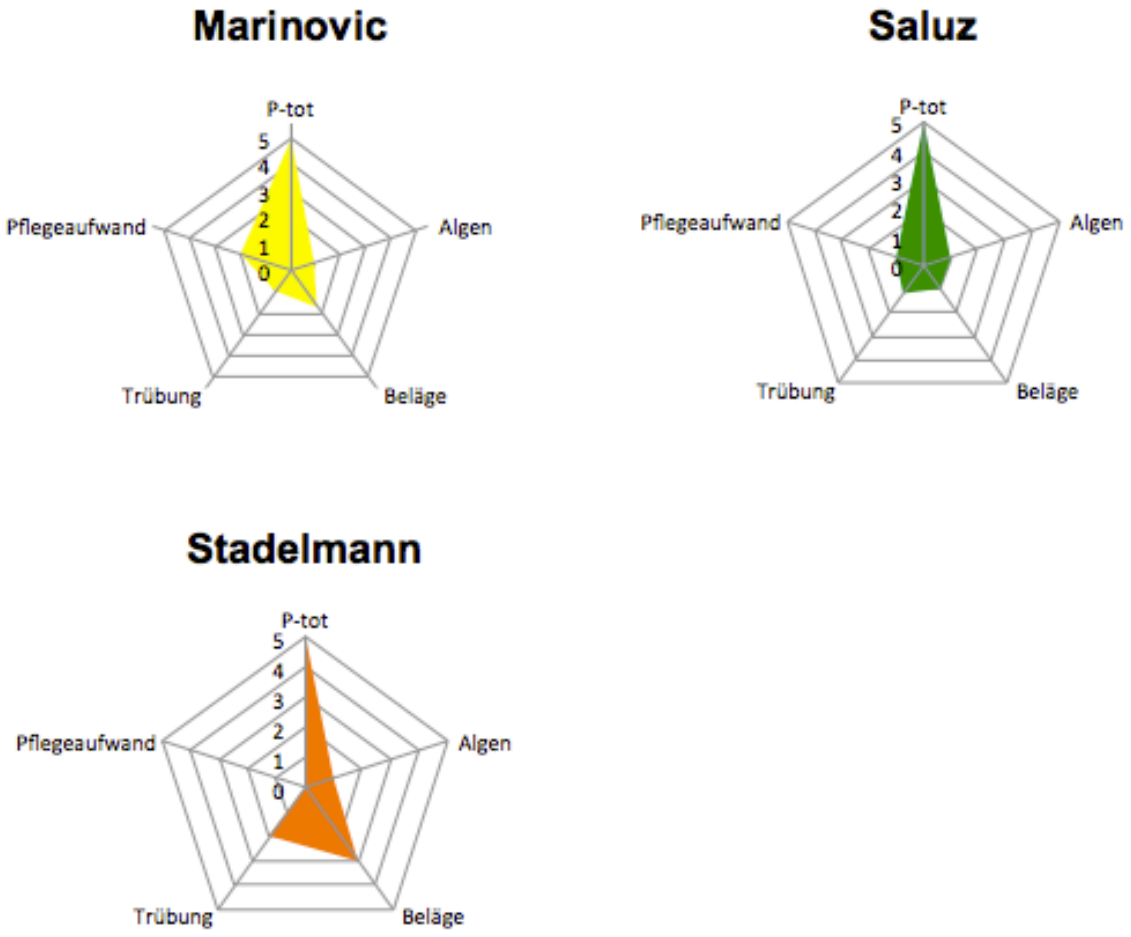


Abderhalden



Dentenberg





Bewertungsraster				
1	2	3	4	5
sehr gut	gut	mässig	unbefriedigend	schlecht
1–1.4	1.5–2.4	2.5–3.4	3.5–4.4	4.5–5

Abbildung 43: Zusammenstellung der Beurteilung von 9 Schwimmteichanlagen mittels Spinnendiagrammen

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Aufnahmemethoden

5.1.1 Chemische Wasswerte

Die Aufnahme der chemischen Parameter fokussiert sich auf das Element Phosphor. Weitere für Schwimmteiche wichtige Parameter wie Kohlenstoff, Stickstoff, Nitrat wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht bewertet. Ein Einbezug dieser Parameter könnte zum Ergänzen der Datensätze basierend auf den von Liechti (2010) im Modulstufenkonzept aufgeführten Richtwerten geschehen.

5.1.2 Äusserer Aspekt

Das Erfassen des äusseren Aspekts unterteilt in die Teilaspekte Algen, Bewuchs und Trübung anhand von fünf Zustandsklassen ist zweckmässig und relativ einfach anwendbar. Nicht immer ganz klar ist die Differenzierung zwischen den drei Teilaspekten. Nach korrekter Definition können auch Algen zu Trübungen und zu Belagsbildung führen. Trotzdem wird nach vorliegendem Schema eine Grüntrübung nicht unter dem Teilaspekt Algen bewertet. Durch die simple Abgrenzung soll das Erfassen der Aspekte aber auch für Ungeübte möglich sein. Das Abschätzen von Deckungsgraden ist anhand der unterstützenden Abbildungen schnell durchführbar.

Die erarbeiteten Bewertungsraster unterscheiden sich je nach Teichkategorie. So können die unterschiedlichen biologischen Eigenschaften der Kategorien berücksichtigt werden. In einer Anlage der Kategorie 2 ist beispielsweise ein schwacher Algenbewuchs durchaus möglich und tolerierbar, wird jedoch in einer Kategorie-5 Anlage bereits als störend wahrgenommen.

Die Trübung wurde mithilfe eines Trübungsmessgerätes durchgeführt. Die Verwendung einer Secchi-Scheibe zur Trübungsmessung ist nicht sinnvoll. Schwimmteiche verfügen nur über eine begrenzte maximal messbare Tiefe, was den Einsatz der Secchi-Scheibe begrenzt. Als praxistaugliche, einfache Beurteilungsmethode hat sich das visuelle Erfassen der Anzahl sichtbaren Einstiegsstufen des Bades bewährt. Ausserdem ermöglichen Unterwasseraufnahmen einen guten Eindruck der Trübungsverhältnisse. Um jedoch die möglichen Trübungsbereiche abgrenzen zu können, waren für diese Arbeit vergleichbare, exakte Daten gefragt. Diese sind nur mit Hilfe eines Trübungsmessgerätes zu erzielen.

5.1.3 Pflegeaufwand

Der Pflegeaufwand für die Anlagen wurde gemäss Protokoll ausgewertet. Es hat sich gezeigt, dass eine gründliche Aufklärung der Teichbesitzer bezüglich des Protokolls wichtig ist, damit die Angaben korrekt und vollständig erfasst werden und entsprechend weiterverarbeitet werden können. Anders als bei Phosphorgehalt und Äusserem Aspekt wurde bei der Bewertung des Pflegeaufwandes für alle Teichkategorien das gleiche Bewertungsraster angewendet, da davon ausgegangen wird, dass sich der Aufwand bei ungeachtet der Kategorie im gleichen Rahmen bewegt. Es hat sich aber gezeigt, dass der Aufwand bei den untersuchten Kategorie 2 Anlagen geringer ausfällt. Insofern müsste die Pflege bei den Kategorien 1-3 eventuell strenger beurteilt werden als bei den Kategorien 4-5. Methodisch unklar ist, ob der Pflegeaufwand direkt auf die Fläche der Anlage umgerechnet und bewertet werden kann. Allenfalls könnten bestimmte Aufwände definiert werden, die unabhängig von der Teichanlage bestehen. So dauert beispielsweise das Leeren eines Skimmers oder Einsetzen eines Teichroboters immer gleich lange. Auf dieser Basis könnte ein Grundaufwand für die Teichpflege definiert werden.

5.1.4 Physikalischer Aspekt

Die Ecopool-Teichcomputer sind robust und zweckmässig (Abbildung 44; Abbildung 45). Zusätzlich bieten die Computer die Möglichkeit von gezieltem Nährstoffmanagement dank eingebauter Dosierpumpen. Die Datenerfassung funktionierte jedoch nicht immer zuverlässig. Es wurden zwei Versionen des Computers verwendet. Das ältere Modell verfügt über eine beschränkte Speicherkapazität, welche ausreicht für das Aufzeichnen der Datensätze von 4 Wochen. Spätestens dann muss der Speicher ausgelesen werden, da sonst die ältesten Datensätze überschrieben werden. Dies ist bei einigen Anlagen aufgrund Verzögerungen bei den monatlichen Teichbesuchen geschehen, wodurch Datenlücken entstanden sind. Ausserdem kann es infolge von Stromausfällen durch Gewitter oder Fehlmanipulation zu Datenverlusten kommen. Dies führte zu grösseren Datenlücken in der Erfassung der physikalischen Messwerte. Bei der neusten Version des Computers ist die Speicherfähigkeit verbessert. Mehrmals kam es auch zum Ausfall von Messsonden. Trotz regelmässiger Kontrolle und Kalibrierung wurden besonders beim Redoxpotential teilweise unrealistische Messergebnisse aufgezeichnet. Da die Verkabelung der Messonden je nach Installationsart des Computers am Teich nicht zugänglich war, war ein einfacher Austausch der betroffenen Sonden nicht immer möglich. Dies sollte bei künftigen Projekten unbedingt gewährleistet werden.

Abbildung 44: Ecopool Teichcomputer vor dem Einsatz

Abbildung 45: Ecopool Teichcomputer nach dem Einsatz

5.1.5 Mikrobiologische Untersuchungen

Die zwei durchgeführten Messungen sind als Momentaufnahmen zu betrachten. Deshalb wurden die Ergebnisse auch nicht in die Bewertung der Anlagen einbezogen. Für die Wahl der Stichprobenzeitpunkte wurden die Monate Juli und August gewählt, da davon ausgegangen werden kann, dass diese Monate die höchste Nutzungsbelastung der Gewässer aufweisen. Aufschlussreich wären beispielsweise sogenannte „Hotspot"-Messungen direkt an Tagen mit starker Nutzung der Anlagen (Stichworte: Poolparty, Kindergeburtstag).

In einem nächsten Projekt sollten monatlich mikrobiologische Proben genommen werden. Dies würde das Aufzeichnen eines Saisonverlaufs ermöglichen und damit den Einbezug der Resultate in das Bewertungsraster.

5.1.6 Nährstoffbilanzierung

Einträge

Bei den eingesetzten Messsäulen zur Lufteintragsmessung handelt es sich um simple Prototypen. Professionelle Modelle zur Ermittlung atmosphärischer Stoffeinträge sind kompliziert und teuer und dienen komplexen, umweltanalytischen Verfahren wie sie beispielsweise in einem Bericht der Landesanstalt für Umweltschutz (1997) diskutiert werden. Allerdings ist für eine erste Verwendung im Bereich Schwimmteiche nicht eine Bestimmung von Schadstoffen auf Partikelgrösse nötig, sondern die einfache Trennung von fester und flüssiger Deposition. Diesbezüglich ist die Verwendung des eigenen Models zu rechtfertigen, es besteht aber noch Optimierungspotenzial. Bereits während der Versuchsphase wurde die Art und Befestigung der Netze zum Separieren der trockenen Deposition verbessert.

Die Funktionsfähigkeit der Lufteintragssäule hängt entscheidend vom Standort ab. Um repräsentative Daten zu erzielen, drängt sich ein Standort unmittelbar beim Schwimmteich auf. Nicht überall ist jedoch ein „ungestörter“ Standort in der Nähe des Teiches zu finden.

Aus optischen Gründen wurde ein transparentes Gefäss aus Glas eingesetzt. Dabei musste auf eine stabile Installation geachtet werden, um zu verhindern, dass die Messsäule im Bereich durch Wind, spielende Kinder oder Tiere umkippen und kaputt gehen konnte.

Die erfasste Menge der trockenen Deposition war teilweise unterhalb der Messgrenze von 1g und kaum vom Netz abtrennbar. Im Sinne einer Annäherung wurde infolgedessen bei vorhandenen Einträgen im Messgefäss von einer Mindestmenge von 1g ausgegangen. Durch die Verwendung einer genaueren Messwaage könnten die Ergebnisse präzisiert werden. Da die Idee der vorliegenden Messungen jedoch primär im Aufzeigen von Grössenordnungen liegt, kann die Methode für eine erste Näherung als genügend bezeichnet werden.

Austräge

Das Aufzeigen von Grössenordnungen ist auch das Ziel bei der Berechnung des P-Gehalts der Trockensubstanz des ausgetragenen Materials über das Redfield-Verhältnis. Da nicht nur Pflanzenmaterial ausgetragen wird, sondern auch Algen, Haare, Dreck und dergleichen, könnte ein Vorsortierung der Austräge und getrennte Analyse genauere Resultate bringen. Wirklich exakte Ergebnisse lassen sich durch die Messung der P-Gehalte im Labor erzielen. Dies würde aber unverhältnismässigen Mehraufwand generieren.

Der Austragssammelbehälter eignet sich nur bedingt zum Auswaschen der Filter von Poolrobotern. Feinkörnige Austräge, wie sie bei der Roboterreinigung mehrheitlich anfallen, können ausgespült werden. Generell wird das Auswaschen der Filter in die Box als unpraktisch bezeichnet und von einigen Teichbesitzern entsprechend gar nicht gemacht. Bei Anlagen der Kategorie 1 und 2 übersteigt die Menge des anfallenden Pflanzenmaterials die Dimensionierung der Box, hier müssen grössere Gefässe eingesetzt werden. Wichtig ist, dass feuchtes Pflanzenmaterial von Unterwasserpflanzen abtropfen kann und nicht im Sammelgefäss anfängt zu verrotten. So kann der Aufwand für das Trocknen des Austrags erheblich verkleinert werden.

Die Wassermenge von Rückspülungen kann oft nur grob geschätzt werden, da der Filterkörper selten wirklich einsehbar ist. Für eine genaue Kalkulation müsste das Wasser für die Rückspülungen zuvor in Behältern gefasst werden. Das ist in der Praxis jedoch schwer umzusetzen.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Die technikarmen Kategorie 2-Teiche Baumberger und Sutter erzielten insgesamt die besten Bewertungen. Die Ursachen dafür können vielfältig sein. So liegen diesen nach dem Leitbild von natürlichen Stillgewässern nachempfunden Anlagen andere Ansprüche zugrunde. Aufgrund der natürlichen Reinigungsmechanismen können leichte Trübungen, Beläge und ein leichter Algenbewuchs vorkommen und werden von den Besitzern auch eher toleriert. In der Regel fallen solche Vorkommen auch aufgrund der Bauweise bereits weniger ins Gewicht, als bei poolähnlichen Anlagen der Kat. 4-5.

Dieser Aspekt wurde aber mit den unterschiedlichen Bewertungsrastern ausgeglichen. Ein Hauptgrund für die guten Bewertungen der Anlagen der Kategorie 1-3 kann in der grösseren Stabilität vermutet werden. Durch das konstruktionsbedingt grössere Wasservolumen verfügen diese Anlagen über entsprechend höhere zugelassene Badegastanzahlen (vgl. Tabelle 8). Dadurch ist die Risiko einer Übernutzung geringer. Klarheit kann hier mit weiteren Untersuchungen gewonnen werden.

Eine Anlage musste trotz guter Messwerte in der Endauswertung abgewertet werden. Bei der halböffentlichen Schulanlage Dentenberg müssen die Massstäbe für öffentliche Bäderanlagen angewendet werden (BAG, 2004). Der Badebetrieb musste aufgrund starker Trübung mehrmals eingestellt werden. Das Bad wurde aus Sicherheitsgründen während 3 Wochen im Juni und während einer Woche im Juli nicht benutzt. Insgesamt war die Anlage während 4 Wochen in der Badesaison nicht benutzbar. Dies veranlasst die nachträgliche Definition und Anwendung eines sogenannten „Killerkriteriums“:

> *„Ist eine Schwimmteichanlage aus technischen-, hygienischen- oder Sicherheits-Gründen im Verlauf der Badesaison während mehr als 7 Tagen nicht benutzbar, führt dies zur Endbewertung „schlecht“, ungeachtet der erzielten Einzelbewertungen.“*

5.2.1 Chemische Wasserwerte

Bei vier Anlagen, Abderhalden, Marinovic, Stadelmann und Saluz wurden im Verlauf des Projektes hohe Phosphor-Werte gemessen. Dies weist auf unzureichende Filterleistung, auf Überlastung des Systems oder eine Kombination von beidem hin. Die Anlage Marinovic und Stadelmann sind mit einem baugleichen Filtersystem ausgestattet. Hier scheint die Ursache klar in der ungenügenden Filterleistung zu liegen. Bei Stadelmann wurde durch den Teichbauer eine Phosphorausfällung durch Calciumperoxid durchgeführt, was eine deutliche

Reduktion der Phosphor-Werte brachte. Dennoch stieg der Wert danach wieder weiter an (Grafik im Teichprotokoll im Anhang). Leider sind bei Stadelmann keine Nutzungsdaten vorhanden, welche weitere Rückschlüsse bringen könnten. Die Indooranlage Marinovic wird jedoch stark genutzt, die bereits hohen Phosphor-Werte sind im Verlauf des Projektes weiter stark angestiegen (Grafik im Teichprotokoll im Anhang). Es ist davon auszugehen, dass sich die Phosphor-Werte bei Marinovic nur dank gezielter Lichtlimitierung nicht als starker Algenbewuchs äussern. Das Hallenbad wird meistens durch Rollladen abgedunkelt.

Dies fällt auch bei den Anlagen Abderhalden, Saluz und Stadelmann auf. Alle drei Anlagen verfügen über Abdeckungen, welche bei Nichtbenutzung des Bades geschlossen sind. Bei den Anlagen Abderhalden und Saluz ist der Grund für die Phosphorbelastung in der Nutzungsintensität zu finden.

5.2.2 Äusserer Aspekt

Die Saisonmittelwerte aller Anlagen sind sehr erfreulich. Nur eine Anlage erzielt eine knapp ungenügende Wertung bei der Belagsbildung. Es zeigt sich ein Zusammenhang zwischen den drei Teilaspekten. Bei keiner Anlage ist nur ein Aspekt wirklich schlecht.

Die Anlagen Baumberger und Sutter erzielten gute Bewertungen. Dennoch wurden bei beiden Anlagen auch Schwierigkeiten registriert. Beide Anlagen wurden aufgrund von anhaltenden Trübungen im Frühjahr mit zusätzlichem Zooplankton angeimpft. Als Gründe für den geringen Daphnienbesatz kommen verschiedene Ursachen in Frage: bei der Anlage Sutter handelt es sich um eine Neuanlage, deren Bestände vermutlich noch nicht stark genug gewesen sind. Bei der Anlage Baumberger wurden am Ende der letzten Badesaison Schwimm- und Pflanzenzone komplett gereinigt. Möglicherweise wurde der Zooplanktonbestand dadurch zu stark dezimiert. Hier sollte darauf geachtet werden, dass die Reinigung nicht zu gründlich erfolgt. Weiter sind bei beiden Anlagen auch limitierende Effekte auf das Zooplankton durch Baumaterialien denkbar. Es wird sich zeigen, wie sich die Anlagen im folgenden Frühjahr entwickeln werden.

Bei der Anlage Steiner und Dentenberg kommt es trotz guter chemischer Werte mit geringen Phosphor Werten im Freiwasser immer wieder Probleme mit Trübungen und Belägen. Dies stellt im Widerspruch zu der in Kapitel 2.2 erwähnten Phosphorlimitierung. Eine mögliche Ursache der Belagsbildung ist die Abgabe von Nährstoffen aus Baumaterialien. Bei Steiner sind dies möglicherweise Zuschlagsstoffe aus dem Beton. Diese können entweder direkt abgegeben oder durch die Reinigung des Beckens mit Drahtbürsten/Stahlwolle freigesetzt werden. Bei der Anlage Dentenberg wurde in der Saison 2014 eine phosphorhaltige Beckenfarbe eingesetzt. Zwar wurde 2015 ein Schutzanstrich aufgebracht, dieser löst sich jedoch stellenweise ab. Dies führt bei diesen Anlagen zu den in den Teichdatenblättern im

Anhang ersichtlichen Saisonverläufen bei der Beurteilung des äusseren Aspekts. Bei der Anlage Dentenberg kamen gemäss Information der Besitzer kurzzeitig weitaus stärkere Trübungen vor, als effektiv bei den Teichbesuchen registriert worden sind. Dies wird in den grafischen Darstellungen nicht abgebildet.

Bei Stadelmann hängt die vorgefundene Belagsbildung wahrscheinlich mit niedrigem Reinigungsaufwand zusammen. Da jedoch keine Protokolle bestehen, kann dies nicht bestätigt werden.

5.2.3 Pflegeaufwand/Nutzungstagebuch

Insgesamt zeigten sich geringe Pflegeaufwände. Stundenmässig den grössten Anteil nimmt dabei die automatisierte Reinigung durch Roboter ein. Dies stellt wenig Aufwand dar für die Teichbesitzer, da der Roboter nur eingesetzt und wieder entnommen werden muss. Ansonsten sind die Stundenaufwände für die Pflege erfreulich niedrig. Insbesondere bei der grossflächigen Schulanlage Dentenberg ergeben sich sehr tiefe Ergebnisse. Möglicherweise korreliert die Dauer des Pflegeaufwands nicht mit der Grösse des Bades. Hierfür liegen aber keine Vergleichswerte vor. Ein sauberes Bad ist nicht zwingend auf einen höheren Pflegeaufwand zurückzuführen. Die Anlagen Sutter und Saluz wurden sehr zurückhaltend gereinigt und erzielten dennoch immer sehr gute Bewertungen des äusseren Aspekts. Bei der Anlage Steiner ist der Reinigungsaufwand verhältnismässig hoch und trotzdem kam es immer wieder zu Belagsbildung. Die Anlage Hochuli ist sehr sauber, wird jedoch auch sehr intensiv gepflegt. Mehrere Teichbesitzer konnten bestätigen, dass ihre Anlagen nach Ferienabwesenheiten ohne Pflege nicht unbedingt in schlechterem Zustand waren. Dies lässt vermuten, dass zu Intensive Pflege nicht optimal ist. Je nach Reingungsvorgang und Gerät werden immer wieder Stoffe aufgewirbelt und müssen dann durch den Filter abgebaut werden.

Vielleicht wurden nicht von allen Teichbesitzern sämtliche Aktivitäten erfasst. Dies kann nur mit der Untersuchung weiterer Anlagen geklärt werden. Ansonsten wird davon ausgegangen, dass die Protokolle wahrheitsgemäss ausgefüllt wurden.

Bei der Nutzung der Teichanlagen zeigen sich grosse Unterschiede. Bei Saluz kam es zu einer enormen Spitze von annähernd der 4-fachen Nennbelastung der Anlage, welche sich danach in einem stetigen Anstieg der P-Werte bemerkbar machte. Dieser Effekt änderte erst wieder als die Anlage urlaubsbedingt gar nicht und danach nur noch mässig genutzt wurde (siehe Teichprotokolle im Anhang). Bei Ferienabwesenheit der Teichbesitzer wurden einige Anlagen teilweise durch Nachbarn/Freunde weiterbenutzt, allerdings wurden dabei keine Einträge in das Nutzungsprotokoll gemacht.

5.2.4 Physikalischer Aspekt

Die Funktion der physikalischen Messwerte zum Aufzeigen spezieller Vorkommnisse war nicht immer zufriedenstellend aufgrund teilweise erheblicher Datenverluste. Dennoch sind die Messwerte vor allem in Zusammenhang mit dem Verlauf des Totalphosphorgehalts und dem Nutzungsprotokoll sehr nützlich.

5.2.5 Mikrobiologischer Aspekt

Private Schwimmteichanlagen werden kaum je auf Belastungen mit krankmachenden Keimen kontrolliert. Deshalb sind die vorliegen Messresultate interessant. Insgesamt kann die Situation als gut bezeichnet werden.

Einzig die Überschreitung des BAG-Richtwertes bei Pseudomonaden weist auf schlecht durchströmte Zonen in den betroffenen drei Anlagen hin. Bei der Anlage Hochuli konnte die Durchströmung des Kiesfilters durch den Einbau eines zusätzlichen Pumpenkreislaufes verbessert werden. Durch die optimierte Filterleistung wurde auch eine deutliche Verringerung des Algenbewuchses an der Überlaufkante erreicht (siehe Abbildung 16). Die zweite Messung ergab eine Belastung deutlich unterhalb des Richtwerts.

Bei der Anlage Marinovic kann aufgrund des Nutzungsprotokolls eine starke Nutzung des Bades kurz vor Probenahme nachgewiesen werden. Eine Belastung durch Badegäste ist sehr wahrscheinlich. Erneut muss die Leistung des Filters in Frage gestellt werden. Möglicherweise liegt eine schlechte Durchströmung der Filterkartusche vor, da auch bei der Anlage Stadelmann erhöhte Werte registriert wurden.

5.2.6 Nährstoffbilanzierung

Nährstoffbilanzierungen wurden bei Schwimmteichen bisher nur als theoretische Modelle durchgeführt. Die Bilanzierung anhand tatsächlich erfasster Ein- und Austräge stellt eine erste Näherung dar. Die erreichten Werte der Ein- und Austräge liegen ausser bei der Anlage Baumberger weit auseinander. Aufgrund dieser Ergebnisse muss von einer stetigen Eutrophierung der Gewässer ausgegangen werden. Allerdings müssen die gewonnenen Resultate kritisch hinterfragt werden.

Auf der Eintragsseite stellt sich die Frage, wie gross die Einträge durch Badegäste effektiv sind. In der vorliegenden Arbeit werden die Einträge anhand des in der FLL (2011) aufgeführten Wertes von 75 mg pro Badegast berechnet. Einerseits wurde dieser Wert eingesetzt, da es sich um einen gängigen Wert aus einer aktuellen Fachempfehlung handelt. Allerdings ist nicht klar, wie sich dieser Wert genau zusammensetzt. Der Wert von Scholz (2004) soll zwar unter Praxisbedingungen in Schwimmteichanlagen ermittelt worden sein.

Trotzdem handelt es sich auch bei diesem Wert nur um eine Näherung. Generell ist das Erfassen der Nutzungshäufigkeit bei privaten Anlagen nicht üblich. Insofern sind die gewonnen Daten wertvoll. Wie hoch die genauen Einträge pro Person sind muss jedoch weiter untersucht werden.

Bei den Lufteinträgen ergeben sich teilweise sehr grosse Phosphormengen. Bei den Anlagen Baumberger und Dentenberg stellt die trockene Deposition einen wichtigen Phosphor-Eintrag dar. Die mengenmässigen Einträge durch Regen sind je nach Region sehr gross. Die daraus resultierenden Nährstoffeinträge sind jedoch verhältnismässig zu den anderen Einträgen nur bei der Anlage Sutter erheblich. Hier könnte jedoch auch ein Messfehler oder eine Verfälschung des Resultats vorliegen. Davon ausgehend, dass bei den Teichen der Kategorie 1-3 die Ein- und Austräge relativ genau evaluiert werden können und unter der Annahme eines Eintrags durch feuchte Deposition im Rahmen der anderen Anlagen wäre die Nährstoffbilanz von Sutter wie bei Baumberger fast ausgeglichen, was wiederum den Wert der Einträge durch Badegäste bestätigen würde.

Die Austräge können bei den Anlagen der Kategorie 1-3 genau bestimmt werden. Abweichungen können sich höchstens durch nicht gesammelte Einträge oder unzureichendes Trocknen des organischen Materials ergeben. Bei Teichen der Kategorien 4-5 findet der hauptsächliche Nährstoffaustrag durch Filterrückspülungen statt.

Rückspülungen

Messresultate zu Rückspülungen liegen nur bei den Anlagen Steiner, Abderhalden und Saluz vor. Die Kartuschen Filter von Marinovic und Stadelmann können nicht rückgespült werden sondern werden komplett ausgetauscht. Bei der Anlage Marinovic wurde trotz der hohen P-Werte aufgrund des ansonsten stabilen Zustandes der Anlage ein Austausch des Filters vorderhand aufgeschoben.

Im vorliegenden Fall wurden drei unterschiedliche Rückspülungen durchgeführt. Der Kiesfilter der Anlage Steiner wurde vor der Rückspülung konventionell abgestellt damit die Filterbiologie komplett abstirbt und geerntet werden kann. Dazu wurde das Wasser des Filterbeckens abgelassen und danach mehrmals von oben mit Frischwasser gespült. Ein Bodensatz auf dem nicht einsehbaren Filtergrund sollte mit Hilfe von kurzen Spülungen mit Teichwasser entfernt werden.

Bei der Anlage Saluz wurde der Filter direkt aus dem Betrieb abgesenkt und von unten Luft eingeblasen. Durch das sogenannte „Blowern“ soll das Filtermedium verwirbelt und abgestorbener Biofilm somit abgelöst werden. Danach wurde das Filterbecken komplett entleert und der darunterliegende ca. 1 cm mächtige Bodensatz manuell entfernt.

Anschliessend wurde das Filterbecken mehrmals mit grossen Mengen Wasser aus dem Schwimmbereich durchgespült.

Bei Abderhalden wurde die Rückspülung unter Laborbedingungen gemacht. Die Anlage verfügt über vier Filterkammern welche mit unterschiedlichen Filtermaterialien bestückt wurden. Diese wurden am Ende der Saison ausgebaut und die Rückspülung im Labor simuliert. Ebenso wurde der Bodensatz aus den Filterbecken untersucht. Durch die Kombination der verschiedenen Materialien ergibt sich eine vergleichsweise gute Leistung. Es ist davon auszugehen, dass die simulierte Rückspülung unter Laborbedingungen effizienter ist, als jene im Feld. Dies zeigt sich auch bei den vergleichbaren Werten von Zeosafe bei Saluz und Abderhalden. Hier wird mit einer einzelnen 0.7 m^3 Filterkammer bei Abderhalden beinahe eine vergleichbare Leistung erzielt, wie mit 5.6 m^3 Filter bei Saluz. Trotzdem steht die Menge ausgetragenen Materials auch hier in keinem Verhältnis zu den registrierten Nährstoffeinträgen.

Bei der konventionellen Rückspülung bei Steiner wurde klar die geringste Austragsleistung erzielt. Ohne „Blowern“ und nur mit geringem Spülvolumen durch einen Gartenschlauch scheinen sich nur geringe Mengen Nährstoffe aus dem Filter zu lösen. Das der Filtergrund nicht einsehbar ist, verunmöglicht zudem das komplette Entfernen des vermutlich nährstoffreichen Bodensatzes. Bleibt dieses Material im Filter, wird die Reinigungsleistung zunehmend geschwächt und Nährstoffe können aus dem Filter rückgelöst werden.

Es zeigt sich also, dass durch die durchgeführten Rückspülungen nur sehr geringe Austragswerte erreicht werden. Es liegen nur Daten dreier Anlagen vor. Das bei den anderen Anlagen die Rückspül-Austräge ergiebiger sind, ist anhand der gewonnen Erfahrungen jedoch eher unwahrscheinlich. Es muss davon ausgegangen werden, dass sich die Austragsleistungen ungenügend sind. Bei ausreichender Filterdimensionierung einer Anlage kann die Reinigungsleistung einige Jahre problemlos erbracht werden, ohne dass dies auffallen würde. Allerdings ist mit zunehmendem Alter des Filters mit nachlassender Leistung, und gegebenenfalls Nährstoffrücklösungen zu rechnen. Zudem sinkt die Resistenz der Anlagen gegen starke Belastungen.

Die Effizienz von Rückspülungen sollte deshalb unbedingt verbessert und der Rückspülvorgang vereinfacht werden. Der Wasserverlust durch Spülungen aus dem Schwimmbereich ist gross und der Zeitaufwand für die Spülung erheblich, ausserdem sind Fachkräfte und gegebenenfalls Ausrüstung wie leistungsfähige Tauchpumpen und Schlammsauger zur Durchführung nötig. Eventuell müsste eine Automatisierung des Rückspülprozesses stattfinden, womit kürzere Rückspülintervalle ermöglicht werden könnten. So könnt die Austragsleistung verbessert werden. Einfache Rückspülungen könnten auch dazu eingesetzt werden, auf starke Nutzungsbelastungen zu reagieren.

5.2.7 Unklarheiten/Schwachpunkte

- Eine Auswahl von 9 Teichanlagen unterschiedlicher Kategorien und Bauarten und der Untersuchungszeitraum von nur einer Badesaison kann statistisch nicht als repräsentative Stichprobengrösse bezeichnet werden. Es konnten aber erste Erkenntnisse gemacht und Vermutungen bestätigt werden.
- Bei der Annäherung an eine Nährstoffbilanzierung bestehen weiterhin Unklarheiten. So ist nicht endgültig geklärt, wie hoch die effektiven Einträge durch Badegäste sind und wie die Einträge exakt erfasst werden können.
- Die Qualität der erhobenen Pflege- und Nutzungsdaten ist von der Gründlichkeit der Teichbesitzer beim Erfassen abhängig. Werden keine Daten erfasst, kann auch nichts ausgewertet werden.

5.3 Erkenntnisse/Schlussfolgerungen

Das erarbeitete Bewertungsraster aufbauend auf gängige Richt- und Grenzwerte erweist sich als hilfreich betreffend der Beurteilung von biologischen Badegewässern und kann mithilfe der Bewertungsbögen einfach und effizient im Feld angewendet werden. Ob es sich bei der statistisch geringen Anzahl getesteter Anlagen schlicht um Zufallsergebnisse handeln kann wird sich mit weiteren Untersuchungen zeigen müssen.

Wie sieht die Stabilität verschiedener künstlicher Gewässer im Jahresverlauf aus?

Durch eine erste Anwendung des Bewertungsraster im Verlaufe einer Badesaison konnte aufgezeigt werden, dass die biologische Wasserreinigung in den untersuchten Schwimmteichanlagen grundsätzlich funktioniert. Allerdings ist die Stabilität dieser Kleinökosysteme oft noch gering. Gerade bei Ereignissen wie z.B. falscher Handhabung oder durch Belastungsspitzen stossen die biologischen Systeme an ihre Grenzen. Danach dauert es oft eine gewisse Zeit, bis sich die Ökosysteme wieder einpendeln. Naturnahe Schwimmteiche der Kategorie 1-3 haben sich dabei aufgrund ihres grösseren Wasservolumens und der damit einhergehenden grösseren Nennbelastung als robuster gezeigt.

Wie ist die Rolle der Teichbesitzer? Dokumentation von Art und Dauer der aufgebrachten Pflege.

Die gemessenen Pflegeaufwände gemäss Protokoll sind teilweise sehr niedrig. Die weniger gepflegten Anlagen sind jedoch nicht zwingend weniger sauber. Es ist zu vermuten, dass zu häufige Pflege eine Belastung für das System darstellen kann.

Wie werden die Teichanlagen genutzt?

Es gibt grosse Unterschiede bei der Nutzung. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass gewisse Anlagen sehr intensiv genutzt werden, andere zwar regelmässig aber nur kurzzeitig. Ein schöner Sommer führt erwartungsgemäss zu eine starken Nutzung der Anlagen. Ungünstig sind extreme Maximalbelastungen welche die Stabilität gefährden können. Es kann davon ausgegangen werden, dass das kurzzeitige, geringfügige Überschreiten der Nennbelastung nicht grundsätzlich problematisch ist, solange die hygienischen Werte innerhalb der Toleranz sind und genügend Nährstoffausträge aus dem System möglich sind.

Wie steht es um die Sauberkeit in privaten Schwimmteichanlagen?

Trotz teilweise starke Nutzung oder sogar Übernutzung sind die untersuchten Anlagen mehrheitlich hygienisch bedenkenlos. Wichtig ist, dass auch in privaten Anlagen, welche nicht regelmässig kontrolliert werden, auf die Sauberkeit geachtet wird.

Wie kann eine Nährstoffbilanzierung bei Schwimmteichen durchgeführt werden?

Durch das Sammeln, Berechnen und Abschätzen aller Ein- und Austräge einer Teichanlage ist eine Annäherung an die Nährstoffbilanzierung möglich. Es sind jedoch nicht alle Punkte restlos geklärt. Es zeigt sich, dass durch Luft und Badegäste erhebliche Einträge in Teiche bestehen. Die Austragsleistung ist bei Anlagen der Kat 4-5 nicht genügend und sollte verbessert werden.

5.4 Weiterführende Forschungsfragen

Grundsätzlich ist eine Fortführung von Schwimmteichuntersuchungen unter Anwendung des hier präsentierten Beurteilungs- und Bewertungsrasters wünschenswert. So können die gewonnen Erkenntnisse weiter vertieft und der Datensatz weiter ausgebaut werden.

Aufbauend auf die vorliegenden Resultate versprechen insbesondere die folgenden Themen weiteren Erkenntnisgewinn:

-Wie kann die Messmethode zur Nährstoffbilanzierung optimiert werden?

-Wie hoch sind die effektiven Einträge pro Badegast?

-Wie kann die Messmethode zum Erfassen von Lufteinträgen verbessert werden?

-Wie kann die Rückspülbarkeit von Filtern verbessert werden?

Literaturverzeichnis

Akeret, B., & Stössel, F. (1998). Vergleichende ökologische Untersuchungen an neun Weihern im Norden des Kantons Zürich*. Vierteljahresschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich.*

ASC (2009). *Definition Schwimmteich.* Allgemeiner Schwimmteich Club.

BAG (2004). *Empfehlungen für die hygienische Beurteilung öffentlicher, künstlich angelegter Badeteiche.* Bundesamt für Gesundheit.

Binderheim, E., & Göggel, W. (2007). *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Äusserer Aspekt. Umwelt Vollzug Nr. 0701.* Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.

Bruns, S. (2007). *Aktuelle Untersuchungen zur Hygiene in Naturfreibädern*. Vortrag, 4. internationaler Kongress und Fachmesse für naturnahe Badegewässer.

EU (2000). *Wasser-Rahmenrichtlinie 2000/60/EG.*

FLL (2003). *Empfehlungen für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von öffentlichen Schwimm- und Badeteichanlagen.* Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

FLL (2011). *Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm- und Badeteiche).* Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

Frei, M. (2011). Gewässerchemie: Limnologische Grundlagen. In *Unterrichtsunterlagen ZHAW,* unveröffentlicht.

Frei, M. (2012). *Hygiene in biologisch aufbereiteten Badegewässern.* Literaturrecherche, ZHAW, unveröffentlicht.

Frei, M. (2012). Schwimmteiche, Naturpools: Grundlagen zur Planung und Beurteilung von biologisch aufbereiteten Gewässern. In *Unterrichtsunterlagen ZHAW,* unveröffentlicht.

Frei, M. (2008). *Wachstumshemmung von Blau, Grün- und Kieselalgen in Schwimmteichen durch allelopathisch wirkende Wasserpflanzenexudate.* Bachelorarbeit, ZHAW.

Güttler, R. (1941). Über den Gehalt der wildwachsenden Pflanzen an Kalium, Phosphor, Eisen und Mangan. In Adriani, M., & et al. *Die Mineralische Ernährung der Pflanze.* Berlin: Springer.

Hürdler, J., Spiess, E., & Prasuhn, V. (2015). Diffuse Nährstoffeinträge in Gewässer. Schweizweite Modellierung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge. *Aqua & Gas* (09).

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. (1997). *Ermittlung atmosphärischer Stoffeinträge in den Boden: Nutzung neuer Sammel- und Nachweisvefahren*. Karlsruhe.

Liebig, J. (1858). *Über das Verhalten der Ackerkrume zu den in Wasser löslichen Nahrungsstoffen der Pflanzen.* München.

Liechti, P. (2010). *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. Umwelt-Vollzug Nr. 1005.* Bern: Bundesamt für Umwelt, BAFU.

Mahabadi, M., & Rohlfing, I. M. (2005). *Schwimm – und Badeteichanlagen. Planungs- und Baugrundsätze.* Stuttgart: Ulmer.

Omnilab (2015). *www.omnilab.de.* aufgerufen am 02. April 2015 von https://www.omnilab.de/tl_files/Omnilab_2011/Downloads/Infomaterial_Anwenderberichte/Elektrochemie/TURB_D.pdf

ÖNORM L1126. (2010). *Kleinbadeteiche – Anforderungen an Planung, Bau, Betrieb, Sanierung und Überwachung.* Österreichisches Normungsinstitut (ON).

Redfield, A. (1934). *On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton.* Liverpool: University Press of Liverpool.

Saunus, C. (1989). *Planung von Schwimmbädern: Bau und Betrieb von privaten und öffentlichen Hallen- sowie Freibädern einschliesslich Whirlpools und medizinischer Bäder.* Düsseldorf: Krammer.

Schönborn, W. (2003). *Lehrbuch der Limnologie.* Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

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.

Schlosser, J., Haertel-Borer, S., Liechti, P., & Reichert, P. (2013). *Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen in der Schweiz. Anleitung zur Entwicklung von Beurteilungsmethoden.* Bundesamt für Umwelt, Bern.

Scholz, I. (2004). *Bewertung von Phosphor in Naturfreibädern.* Diplomarbeit, Universität Hannover, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik.

Schulz, L. (1981). *Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste.* Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig. B 173,. S. 528-548.

Schwoerbel, J., & Brendelberger, H. (2005). *Einführung in die Limnologie* (9 Aufl.). München: Elsevier Spektrum Akademischer Verlag.

Spieker, J. (2002). Ökologie und Hygiene von naturnahen Badegewässern.

SVBP. (2012). *Fachempfehlung für den Bau von öffentlichen, künstlich angelegten Badeteichen.* Schweizerischer Verband für naturnahe Badegewässer und Pflanzenkläranlagen.

Thomas, E., & Schanz, F. (1976). Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Primärproduktion in Fliessgewässern. *Vierteljahresschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich*.

Wesner, W. (2010). Nährstoff-Bilanzen: Der Schlüssel zum Erfolg im Schwimmteich. Präsentation. aufgerufen am 10. April 2015 von http://www.graf-gartenbau.ch/Schwimmteich/N%E4hrstoffbilanz%20im%20Badeteich.pdf

Zobrist, J. (1999). Zusammensetzung des Niederschlags und des Regenwassers in zwei schweizerischen Messtationen in der Messperiode 1978/79. In Gujer, W.; *Siedlungswasserwirtschaft.* Berlin: Springer.

Zobrist, J., Sigg, L., & Schoenenberger, U. (2004). *NADUF - Thematische Auswertung der Messresultate 1974 bis 1998.* EAWAG Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz. Dübendorf: EAWAG.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vereinfachtes Nahrungsnetz eines stehenden Kleingewässers 10

Abbildung 2: Eintrags- und Austragswege im Schwimmteich 12

Abbildung 3: Verortung der Projektanlagen in der Schweiz 16

Abbildung 4: Zustandsklassen 20

Abbildung 5: Bewertungsraster Phosphor 21

Abbildung 6: Beurteilungsschema und Bewertung Algenvorkommen 22

Abbildung 7: Schema und Bewertung Beläge 23

Abbildung 8: Beurteilung und Bewertungsraster der Trübung/Verfärbung 25

Abbildung 9: Beurteilungsraster Pflanzenwuchs 26

Abbildung 10: Beurteilungsraster Geruch 27

Abbildung 11: Bewertungsraster Pflegeaufwand 28

Abbildung 12: Austragssammelbehälter 30

Abbildung 13: Lufteintragssäule 30

Abbildung 14: Zusammenstellung der gemessenen durchschnittlichen Total-Phosphor Werte der Badesaison 2015 mit Bewertungsskala 31

Abbildung 15: Saisonmittelwerte der Bewertung „Äusserer Aspekt“ mit Bewertungsskala 32

Abbildung 16: Lokales Aufkommen von Fadenalgen an der Überlaufkante der Anlage Hochuli 32

Abbildung 17: Schwacher Bewuchs von Fadenalgen an der Unterwasserbeleuchtung 32

Abbildung 18: Mittlerer Bewuchs im Juli bei der Anlage Steiner 33

Abbildung 19: Lokaler Bewuchs von Fadenalgen auf der Filteroberfläche bei Abderhalden 33

Abbildung 20: Starke Belagsbildung Dentenberg 33

Abbildung 21: Belagsbildung am Rand der Poolabdeckung bei Stadelmann 33

Abbildung 22: Mittlere Belagsbildung im Schwimmbereich bei Steiner 33

Abbildung 23: Ablagerungen bei der Überlaufkante der Anlage Marinovic 33

Abbildung 24: Saisonverlauf der gemessenen Trübungswerte der Teiche Kat 4-5 mit Bewertungsraster . 34

Abbildung 25: Saisonverlauf der gemessenen Trübungswerte der Teiche Kat 1-3 mit Bewertungsraster . 34

Abbildung 26: Unterwasseraufnahme der gemessenen maximalen Trübung von 10.8 FNU 35

Abbildung 27: Unterwasseraufnahme der gemessenen minimalen Trübung von 0.2 FNU 35

Abbildung 28: Trübung von 0.48 FNU 35

Abbildung 29: Gemessene durchschnittliche Trübung von 0.2 FNU 35

Abbildung 30: Vitale Pflanzen in der Kat. 2 Anlage Baumberger. 36

Abbildung 31: Pflanzenwachstum in der Kat. 5 Anlage Saluz 36

Abbildung 32: Reinigungsaufwand Total in Stunden während der ganzen Badesaison gemäss Protokoll 37

Abbildung 33: Wöchentlicher Stundenaufwand für die manuelle Teichpflege umgerechnet auf eine normierte Fläche von 32m^2 mit Bewertungsskala 37

Abbildung 34: Saisonverlauf Temperatur und pH-Wert der Anlage Hochuli 38

Abbildung 35: Saisonverlauf Leitfähigkeit und Redoxpotential Anlage Sutter 38

Abbildung 36: Resultate der mikrobiologischen Untersuchungen 2015 mit Richtwerten 39

Abbildung 37: Menge des Niederschlagseintrags pro m2 und Anlage 40

Abbildung 38: Gewicht der eingetragenen Trockensubstanz pro m2 und Anlage 41

Abbildung 39: Phosphoraustrag durch Rückspülungen unterteilt in die einzelnen Rückspülvorgänge RS1 bis RS5 und Bodensatz 42

Abbildung 40: Rückspülergebnisse der einzelnen Filterkammern bei Abderhalden 43

Abbildung 41: Bilanzierung der Ein- und Austräge von Phosphor aller untersuchten Anlagen in der Saison 2015. 44

Abbildung 42: Saisonmittelwerte der einzelnen Parameter und Endbewertung von 9 Schwimmteichanlagen nach Bewertungsraster 45

Abbildung 43: Zusammenstellung der Beurteilung von 9 Schwimmteichanlagen mittels Spinnendiagrammen 47

Abbildung 44: Ecopool Teichcomputer vor dem Einsatz 50

Abbildung 45: Ecopool Teichcomputer nach dem Einsatz 50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schwimmteichtypen und technische Kategorien für öffentliche Schwimmteiche 9

Tabelle 2: Zusammensetzung des Niederschlages (gesamt) und des Regenwassers (feucht) in zwei schweizerischen Messstationen in der Messperiode 1978/79 (Zobrist, 1999). Die Konzentrationen beziehen sich auf das Volumen des Niederschlages 13

Tabelle 3: Zusammenstellung von Richtwerten (RW) / Grenzwerten (GW) für Badegewässer aus unterschiedlichen Gesetzen, Normen und Empfehlungen 15

Tabelle 4: Liste der Projektanlagen, Teichkategorien und Teichbaubetriebe 16

Tabelle 4: Zur Beurteilung von Schwimmteichen relevante Parameter 19

Tabelle 5: Mikrobiologische Parameter: Richtwerte des BAG (2004) 29

Tabelle 7: Beurteilung Pflanzenwuchs nach Beurteilungsraster 36

Tabelle 8: Nutzungsdaten der Teichanlagen und Nennbelastung 40

Anhang

A. Teichdatenblätter 65
B. Protokoll Äusserer Aspekt 101
C. Protokoll Pflege- und Nutzung 102
D. Fachartikel zur Semesterarbeit 103
E. Plagiatserkärung 105

A. Teichdatenblätter

Teich 1

Standort

Besitzer: Fam. Baumberger Wynigen

Teichbauer: Salamander Naturgartenbau

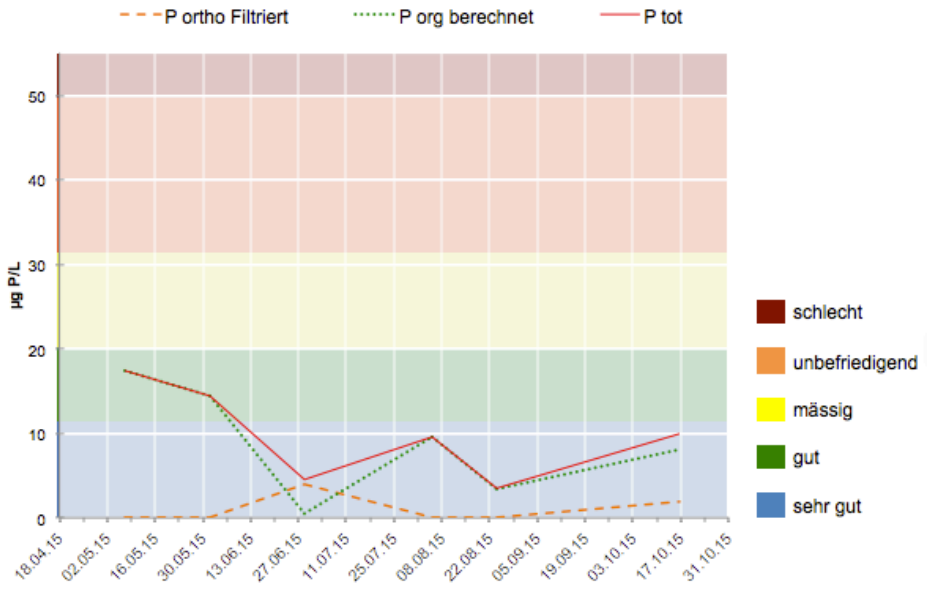
Technische Kategorie: 2

Becken: Sichtbeton/GFK

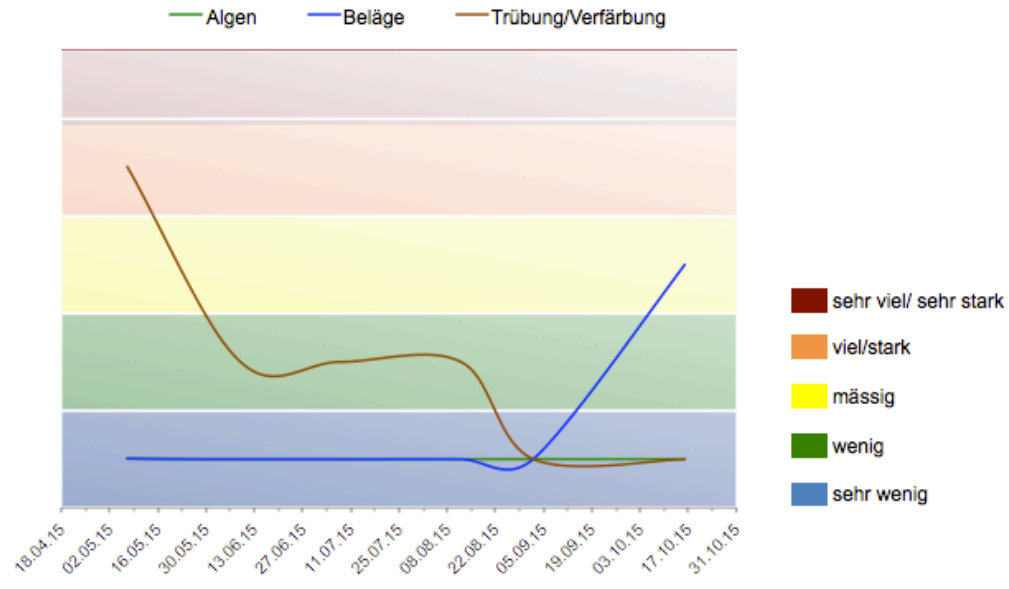
Masse

Fläche [m^2]: 67.1 Volumen [m^3]: 114

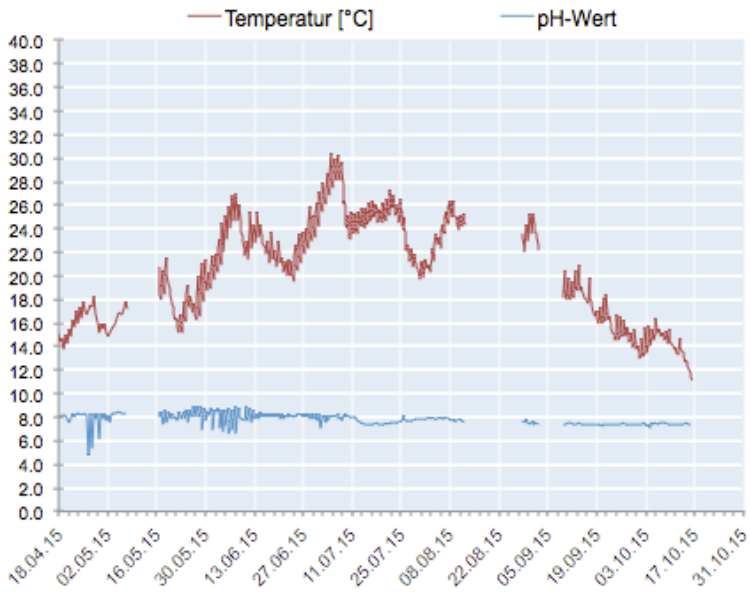
Chemische Messwerte

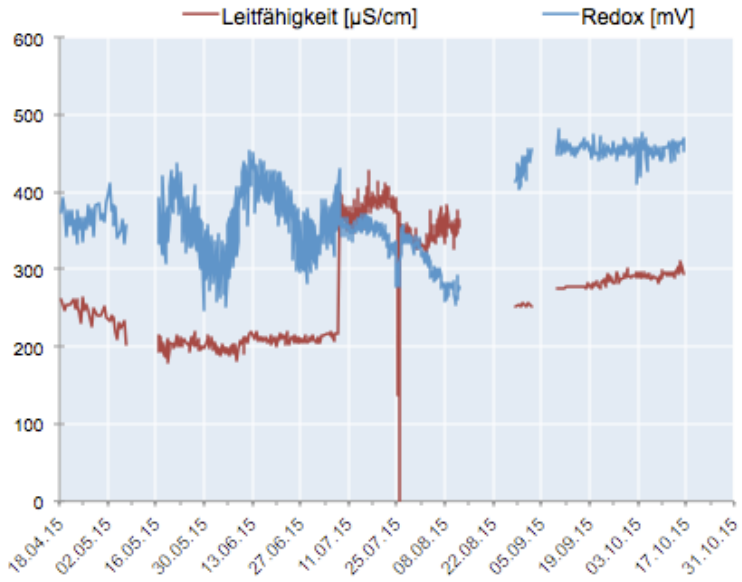


Äusserer Aspekt

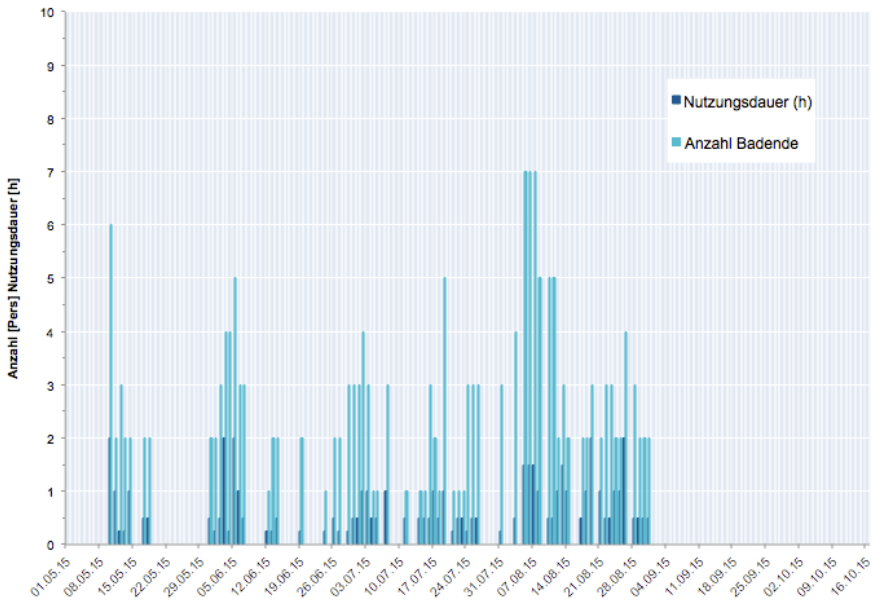


Physikalische Messwerte



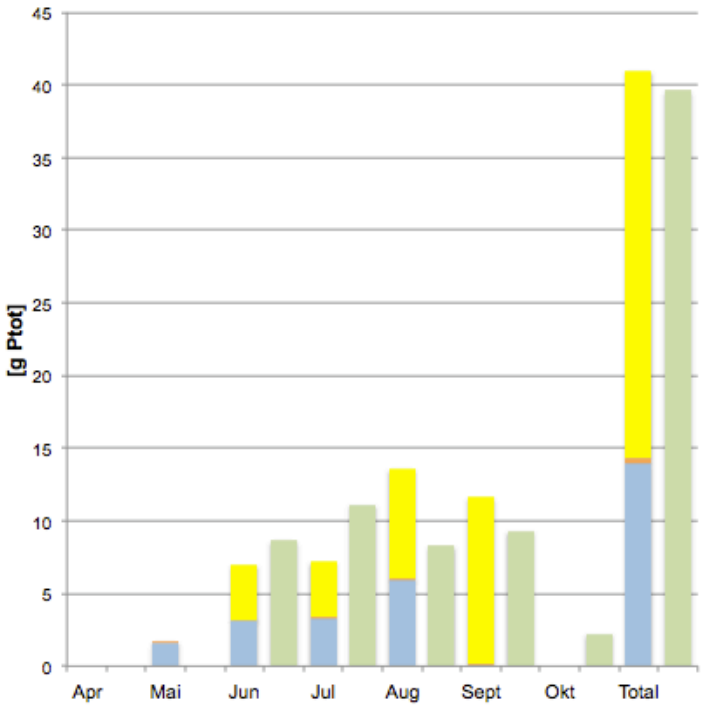


Nutzung



Nährstoffbilanzierung

Nährstoffbilanz Baumberger 2015



Einträge [g Ptot]	
Badegäste	13.95
Luft trocken	26.67
Luft feucht	0.36
Total Eintrag	40.98

Austräge [g Ptot]	
Pflanzen/Algen/ Sedimente [g Ptot-P]	39.61
Total Austrag	39.61

- Eintrag: Luft; trockene Deposition
- Eintrag: Luft; feuchte Deposition
- Eintrag: Badegäste
- Austrag: Pflanzen/Algen/ Sedimente

Bewertung

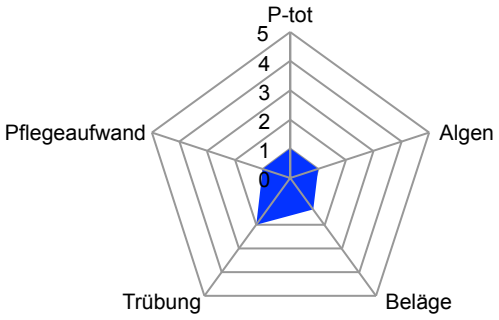
Chemische Wasserqualität	
Gesamt-P [ug/L P]	10
Zwischenbeurteilung	**1.0**

Aspekt	
Algen (fädig)	1.0
Beläge (Biofilm, Kieselalgen)	1.3
Trübung	2.0
Zwischenbeurteilung	**1.4**

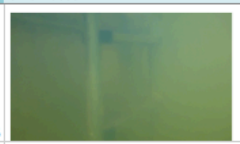
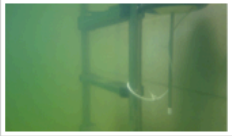
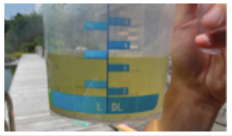
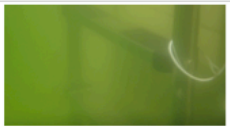
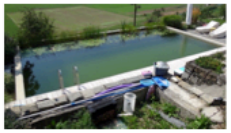
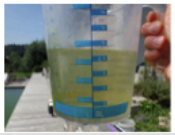
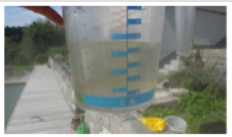
Pflegeaufwand	
Dauer [h/Woche] für 32m2	0.16
Zwischenbeurteilung	**1.0**

ENDBEURTEILUNG	1.1
	sehr gut

Baumberger



Bilder

Objekt Bezeichnung	Zeit /Datum Probenentnahme	Unterwasser	Aspekt	Anlage	Austragsbox	Niederschlag	Lufteintrag	Säule
Baumberger, Wynigen	07.05.15							
Baumberger, Wynigen	09.06.15							
Baumberger, Wynigen	08.07.15							
Baumberger, Wynigen	12.08.15							
Baumberger, Wynigen	02.09.15							
Baumberger, Wynigen	16.10.15							

Teich 2

Standort

Besitzer: Fam. Sutter, Niederrohrdorf

Teichbauer: Zebra Gartenbau

Baujahr: 2014

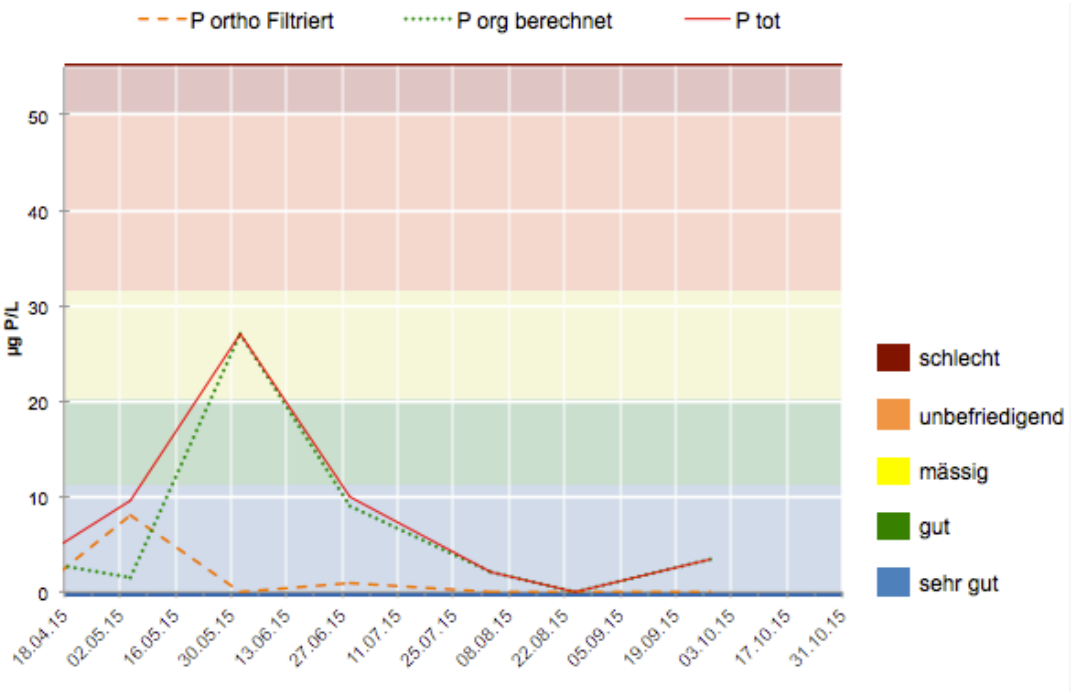
Technische Kategorie: 2

Becken: Holz mit Steinboden

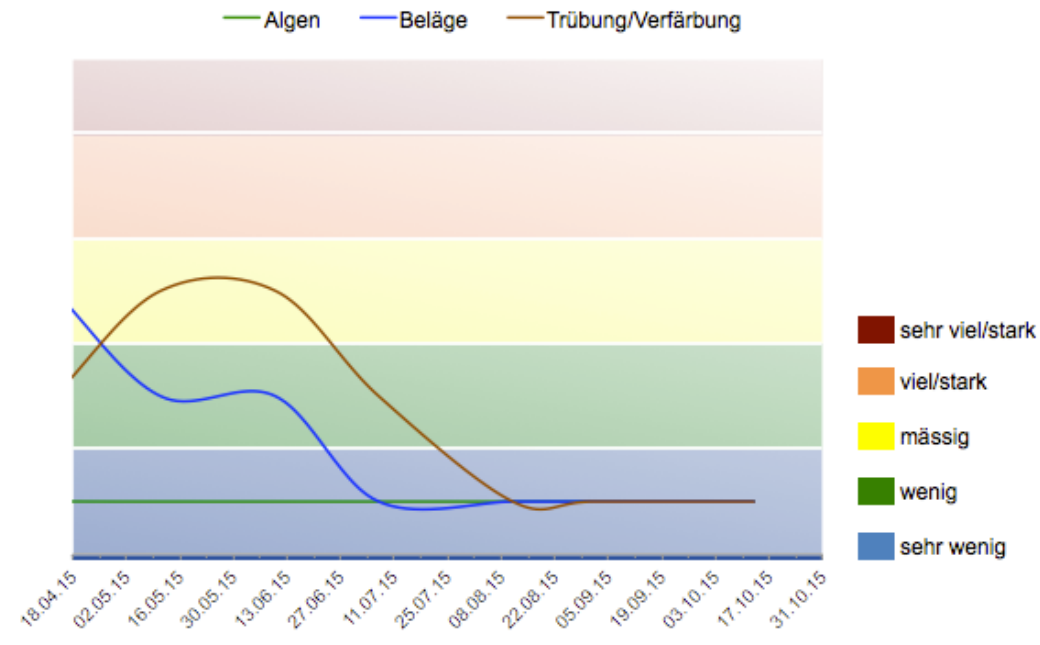
Masse

Fläche [m^2]: 57.0 Volumen [m^3]: 84.4

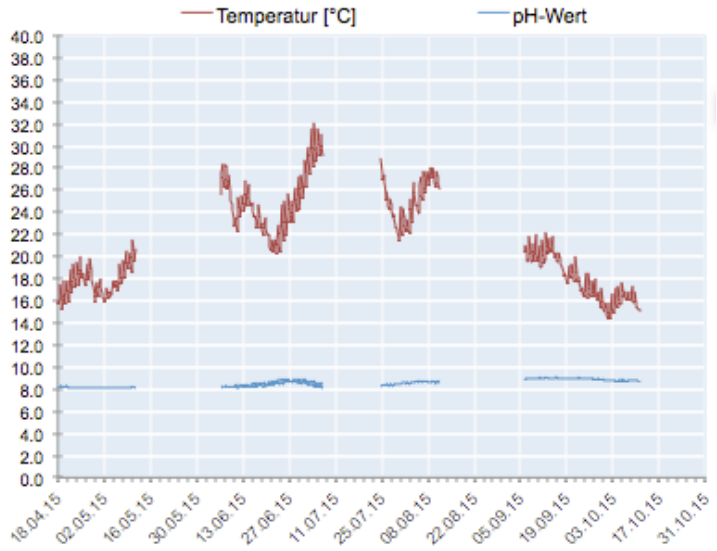
Chemische Messwerte

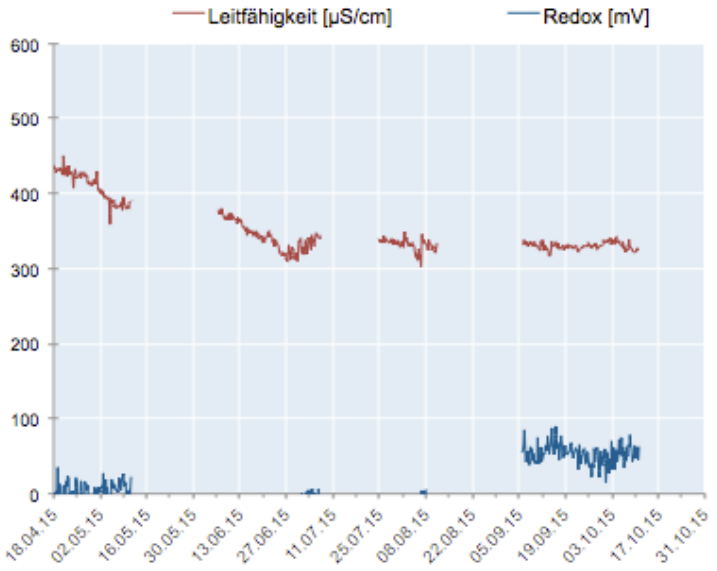


Äusserer Aspekt

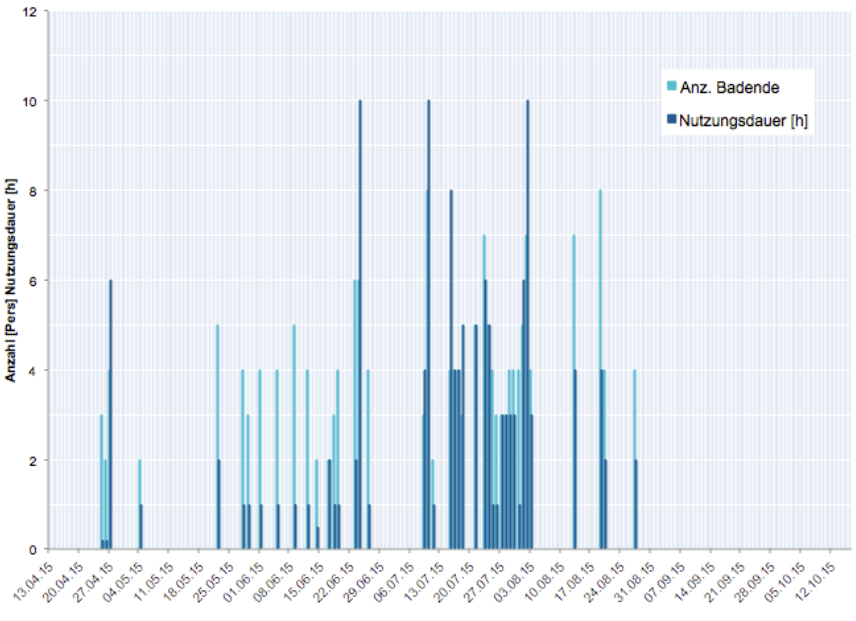


Physikalische Messwerte

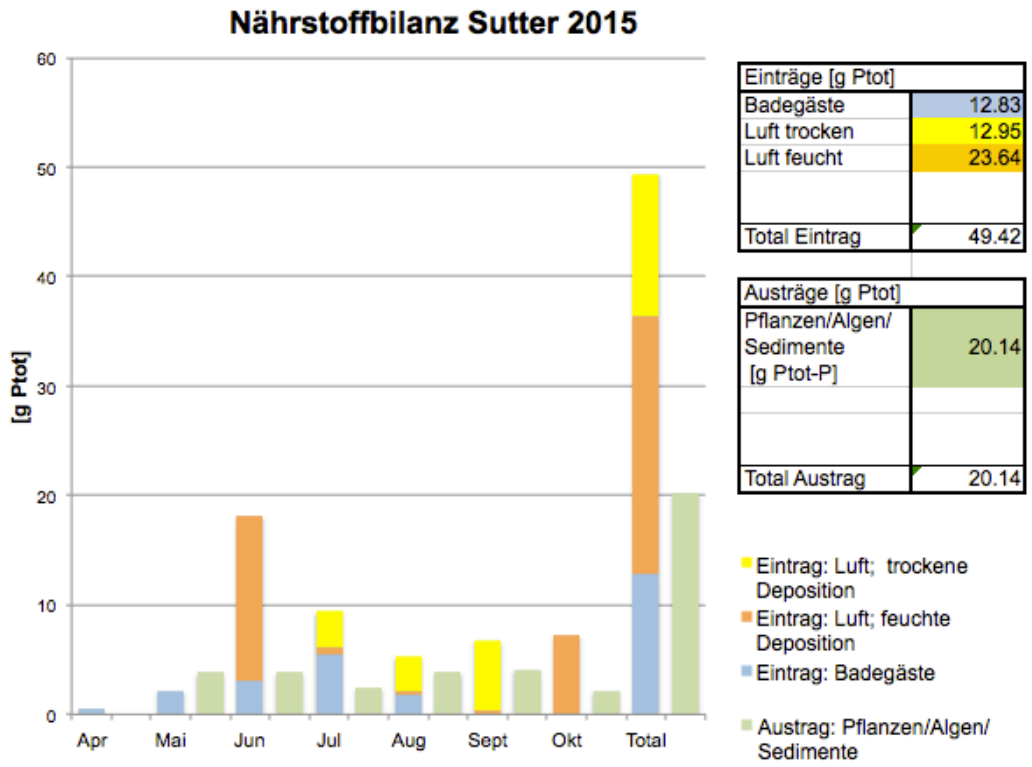




Nutzung



Nährstoffbilanzierung



Einträge [g Ptot]	
Badegäste	12.83
Luft trocken	12.95
Luft feucht	23.64
Total Eintrag	49.42

Austräge [g Ptot]	
Pflanzen/Algen/ Sedimente [g Ptot-P]	20.14
Total Austrag	20.14

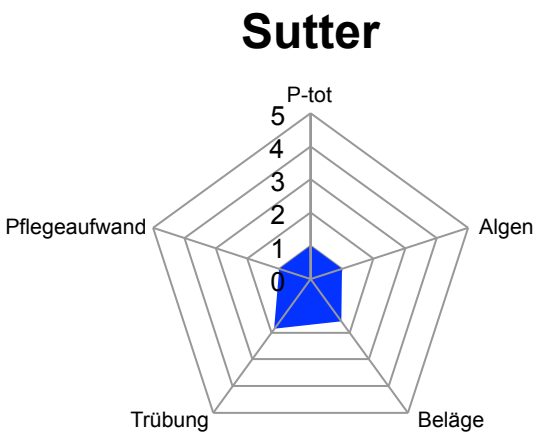
Bewertung

Chemische Wasserqualität	
Gesamt-P [ug/L P]	8
Zwischenbeurteilung	**1.0**

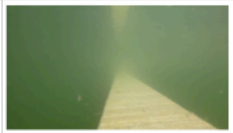
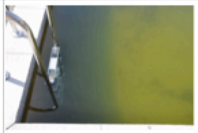
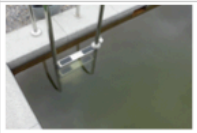
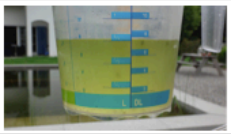
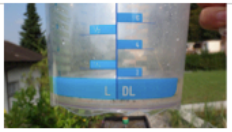
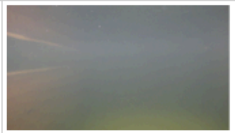
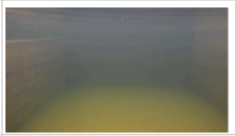
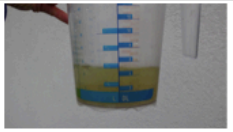
Aspekt	
Algen (fädig)	2.0
Beläge (Biofilm, Kieselalgen)	0.0
Trübung	0.0
Zwischenbeurteilung	**0.7**

Pflegeaufwand	
Dauer [h/Woche] für 32m2	0.3
Zwischenbeurteilung	**2.0**

ENDBEURTEILUNG	1.2
	sehr gut



Bilder

Objekt Bezeichnung	Zeit /Datum Probenentnahme	Unterwasser	Aspekt	Anlage	Austragsbox	Niederschlag	Lufteintrag	Säule
Sutter, Niederrohrdorf	13.04.15							
Sutter, Niederrohrdorf	11.05.15							
Sutter, Niederrohrdorf	10.06.15							
Sutter, Niederrohrdorf	07.07.15							
Sutter, Niederrohrdorf	11.08.15							
Sutter, Niederrohrdorf	01.09.15							
Sutter, Niederrohrdorf	13.10.15							

Teich 3

Standort

Besitzer: Fam. Hochuli, Aarau

Teichbauer: Lehnert

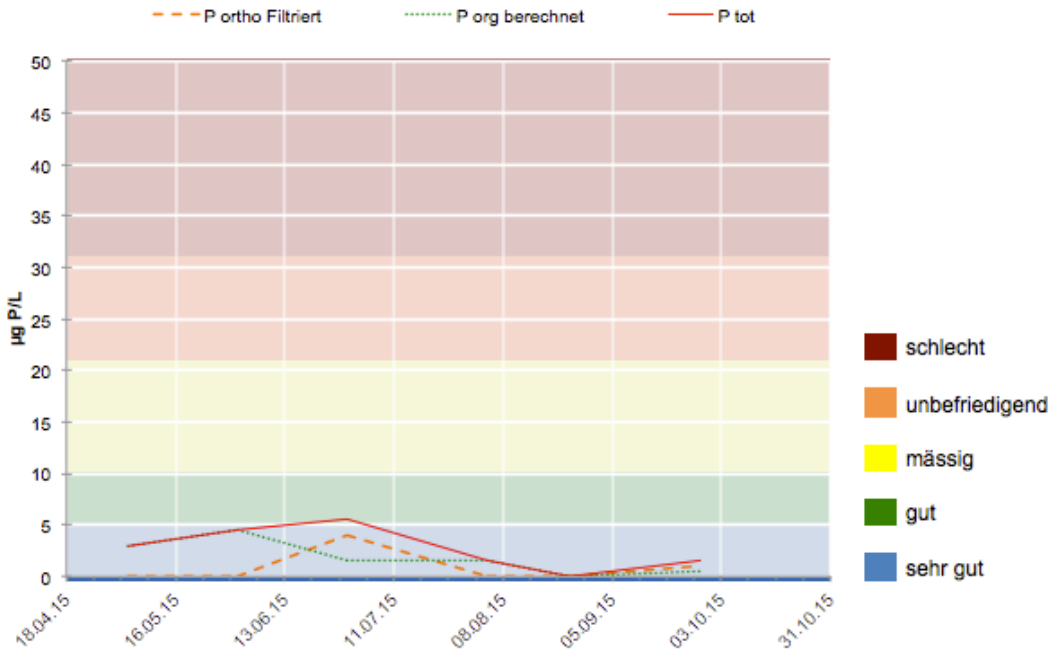
Baujahr: 2012

Technische Kategorie: 4

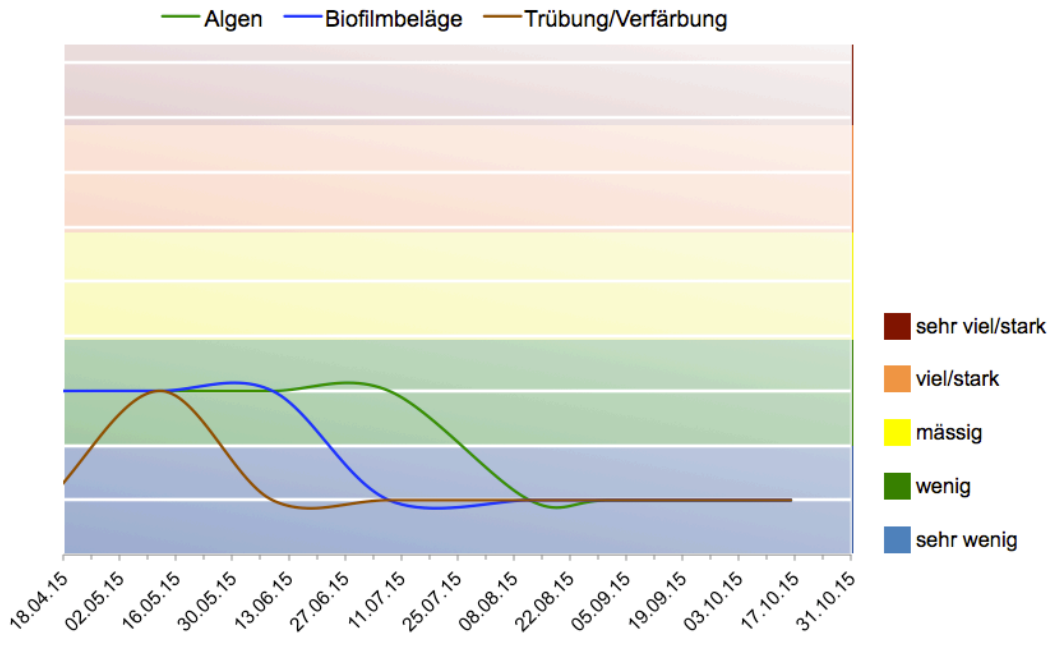
Masse

Fläche [m^2]: 30.5 Volumen [m^3]: 32.8

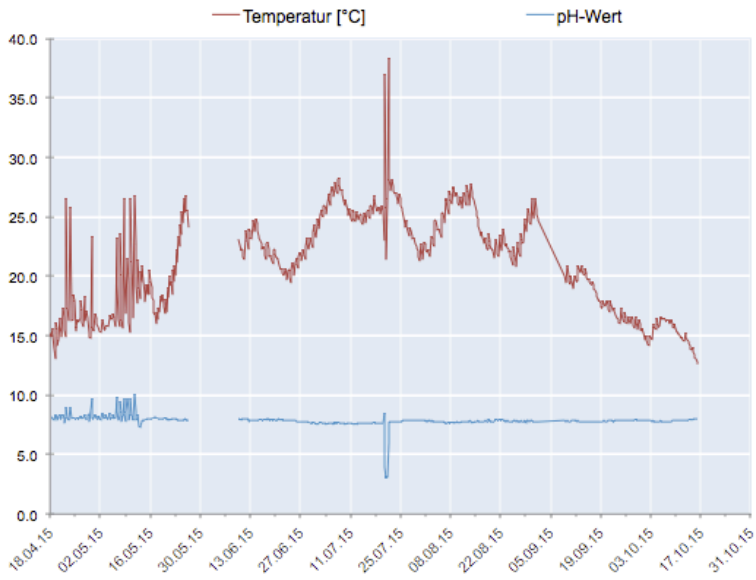
Chemische Messwerte

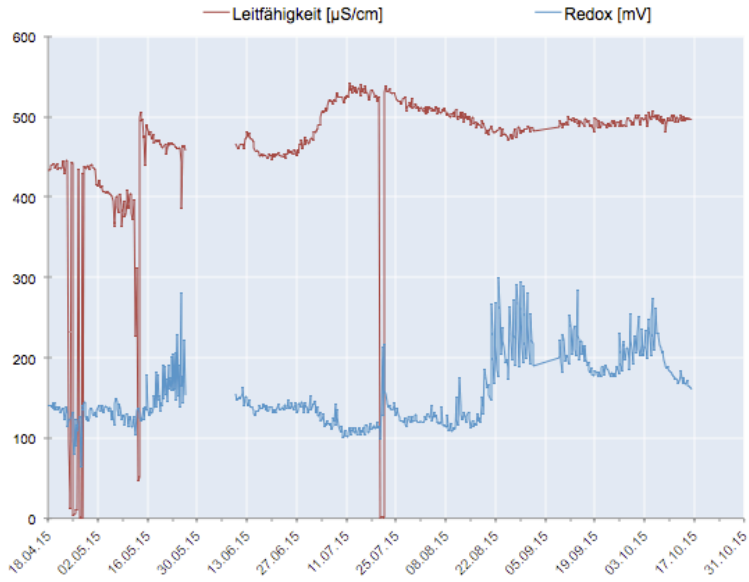


Äusserer Aspekt

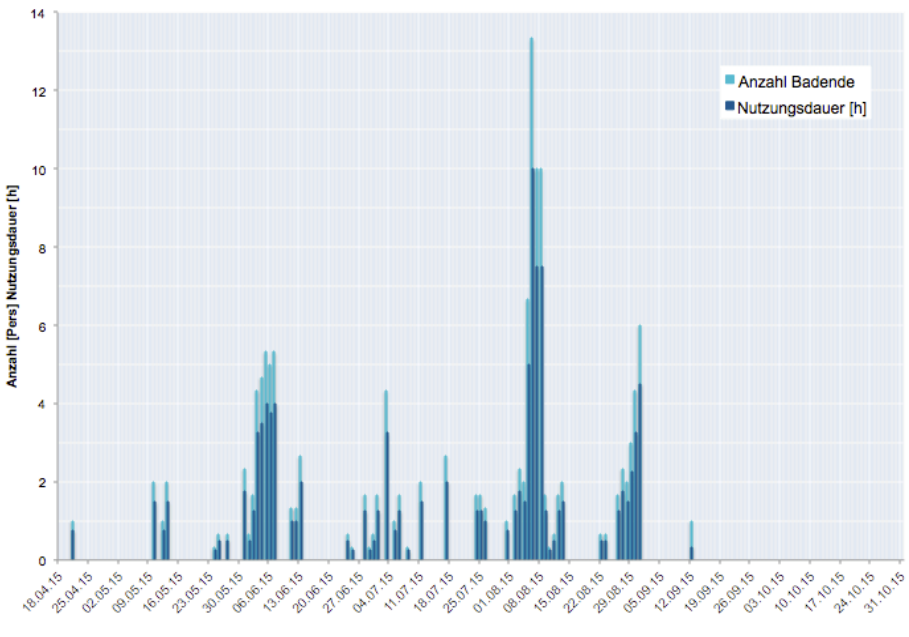


Physikalische Messwerte

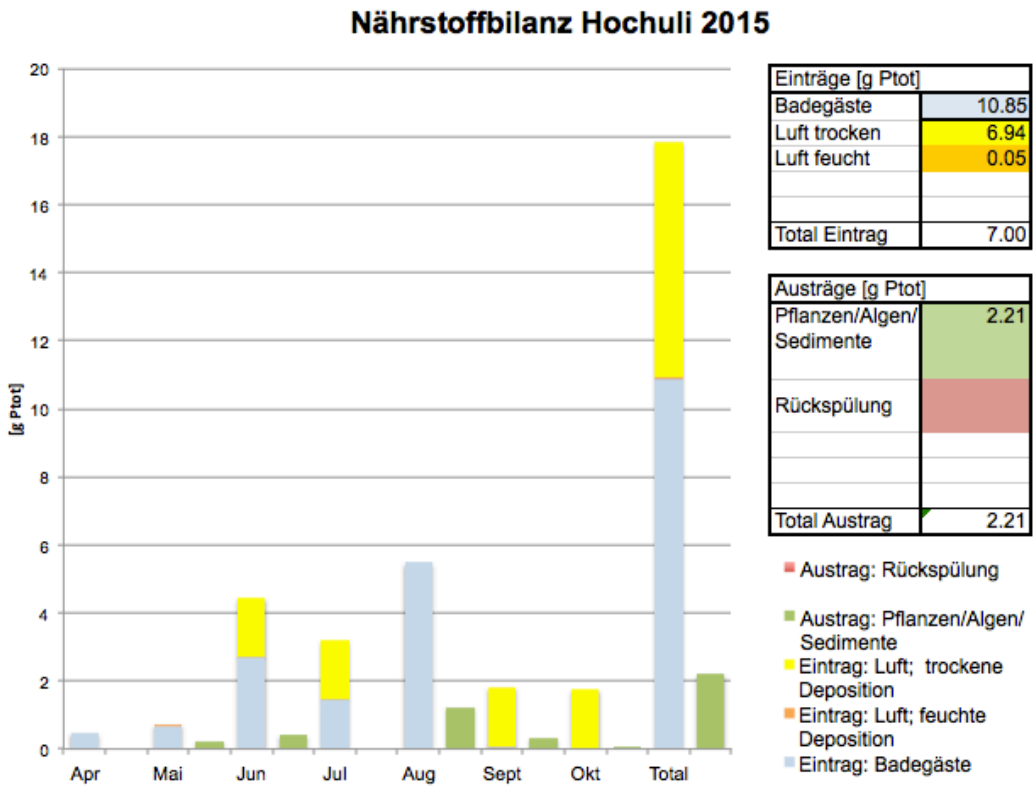




Nutzung



Nährstoffbilanzierung



Einträge [g Ptot]	
Badegäste	10.85
Luft trocken	6.94
Luft feucht	0.05
Total Eintrag	7.00

Austräge [g Ptot]	
Pflanzen/Algen/ Sedimente	2.21
Rückspülung	
Total Austrag	2.21

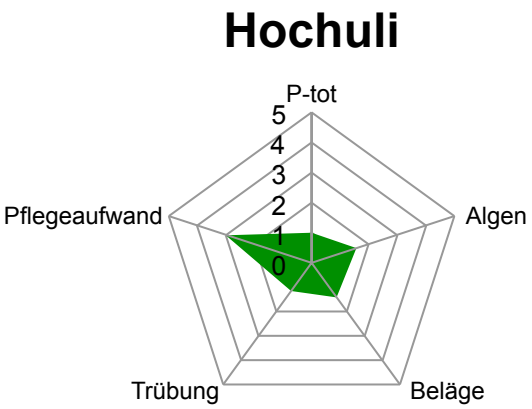
Bewertung

Chemische Wasserqualität	
Gesamt-P [ug/L P]	3
Zwischenbeurteilung	**1.0**

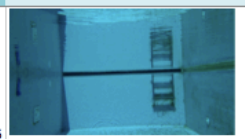
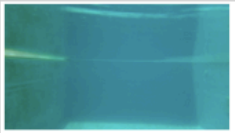
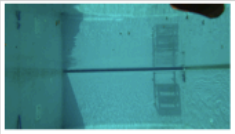
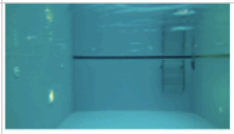
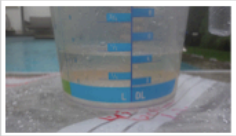
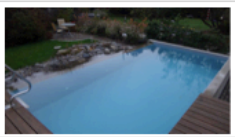
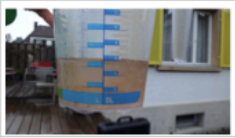
Aspekt	
Algen (fädig)	1.6
Beläge (Biofilm, Kieselalgen)	1.4
Trübung	1.1
Zwischenbeurteilung	**1.4**

Pflegeaufwand	
Dauer [h/Woche] für 32m2	0.9
Zwischenbeurteilung	**3.0**

ENDBEURTEILUNG	**1.8**
	gut



Bilder

Objekt Bezeichnung	Zeit /Datum Probenentnahme	UW	Aspekt	Anlage	Austragsbox	Niederschlag	Lufteintrag	Säule
Hochuli	14.04.15							
Hochuli	12.05.15							
Hochuli	09.06.15							
Hochuli	08.07.15							
Hochuli	12.08.15							
Hochuli	01.09.15							
Hochuli	16.10.15							

Teich 4

Standort

Besitzer: Steiner, St. Gallen

Teichbauer: Bucher

Baujahr: 2013

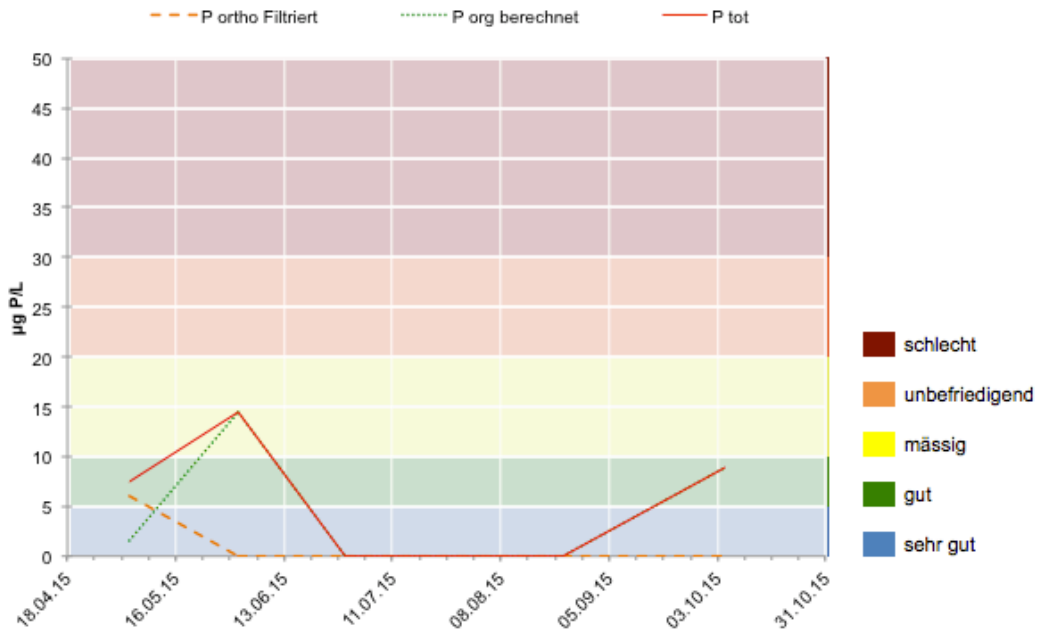
Technische Kategorie: 4

Becken: Beton

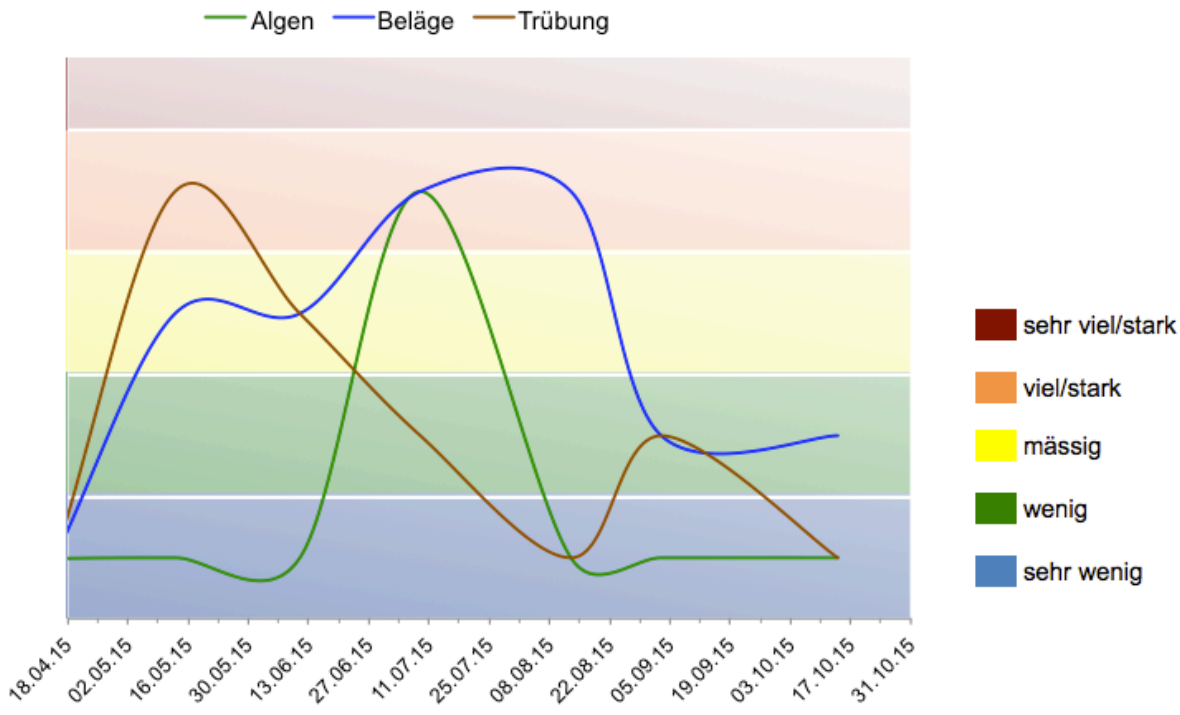
Masse

Fläche [m^2]: 29.0 Volumen [m^3]: 39.4

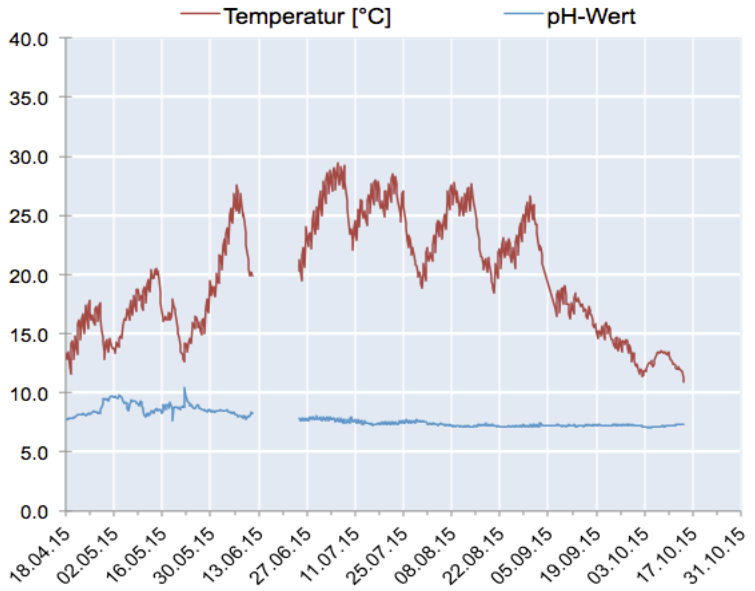
Chemische Messwerte

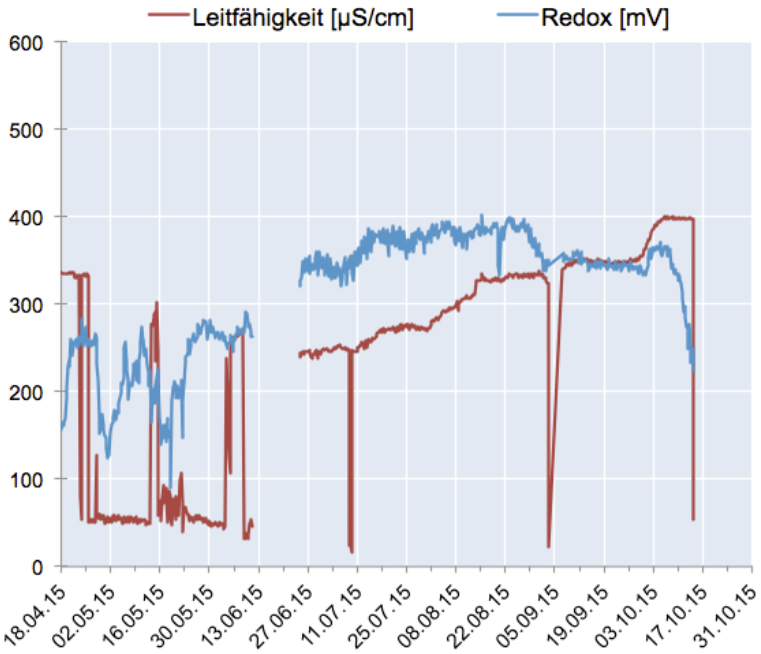


Äusserer Aspekt

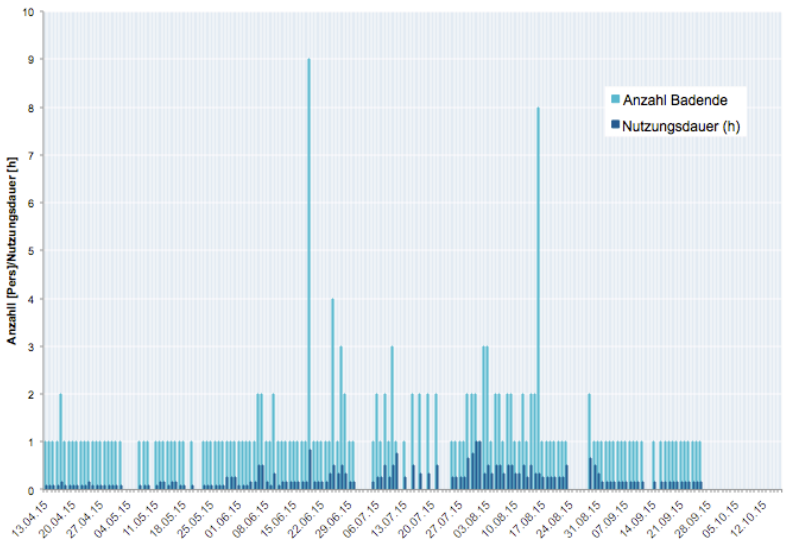


Physikalische Messwerte

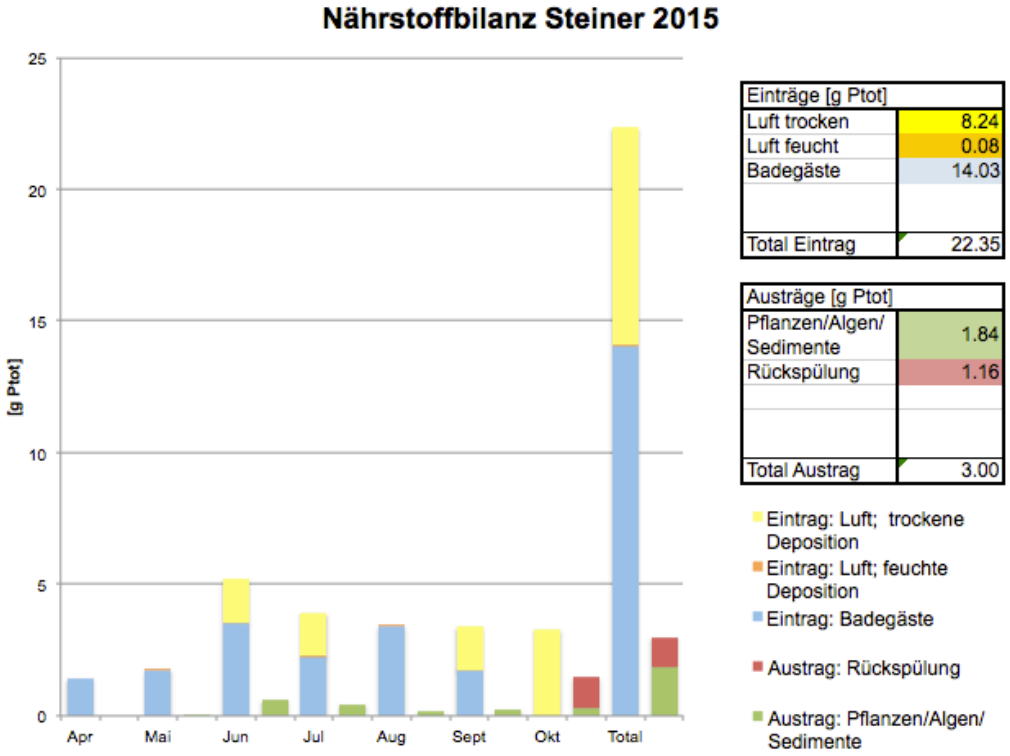




Nutzung



Nährstoffbilanzierung



Einträge [g Ptot]	
Luft trocken	8.24
Luft feucht	0.08
Badegäste	14.03
Total Eintrag	22.35

Austräge [g Ptot]	
Pflanzen/Algen/ Sedimente	1.84
Rückspülung	1.16
Total Austrag	3.00

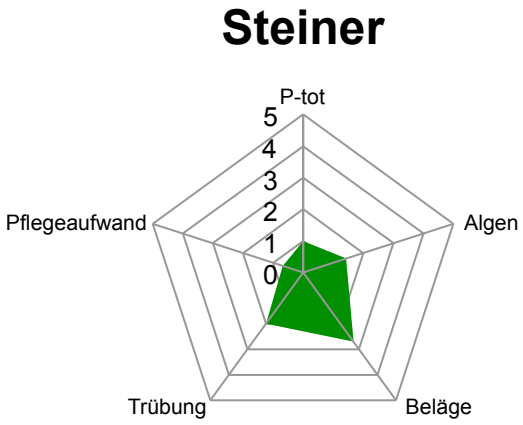
Bewertung

Chemische Wasserqualität	
Gesamt-P [ug/L P]	5
Zwischenbeurteilung	**1.0**

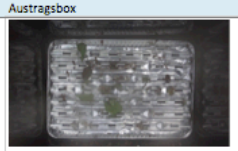
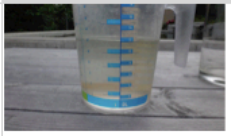
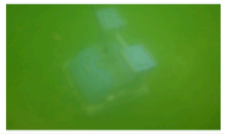
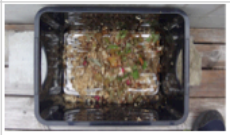
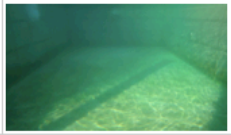
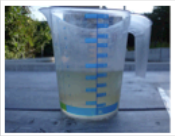
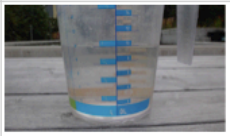
Aspekt	
Algen (fädig)	1.4
Beläge (Biofilm, Kieselalgen)	2.7
Trübung	2.0
Zwischenbeurteilung	**2.0**

Pflegeaufwand	
Dauer [h/Woche] für 32m2	0.75
Zwischenbeurteilung	**3.0**

ENDBEURTEILUNG	**2.0**
	gut



Bilder

Zeit /Datum Probenentnahme	Trübung/\	FNU	UW	Aspekt	Anlage	Austragsbox	Niederschlag	Lufteintrag	Säule
13.05.15	4	2.45							
11.06.15	3	1.19							
09.07.15	2	0.75							
13.08.15	1	0.47							
03.09.15	2	0.7							
14.10.15	1	0.5							

Teich 5

Standort

Besitzer: Fam. Abderhalden, Wildhaus

Teichbauer: Abderhalden Ecopool

Baujahr: 2014

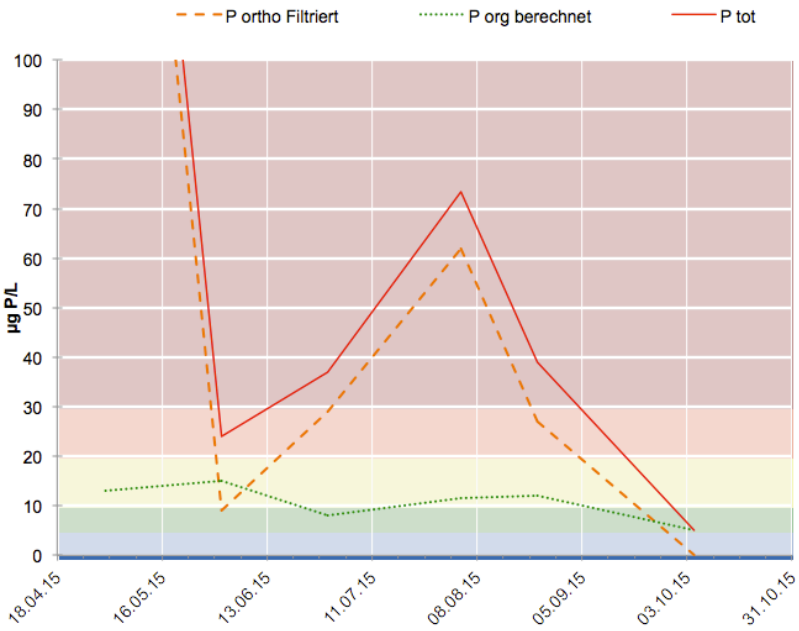
Technische Kategorie: 5

Becken: Kunststoff

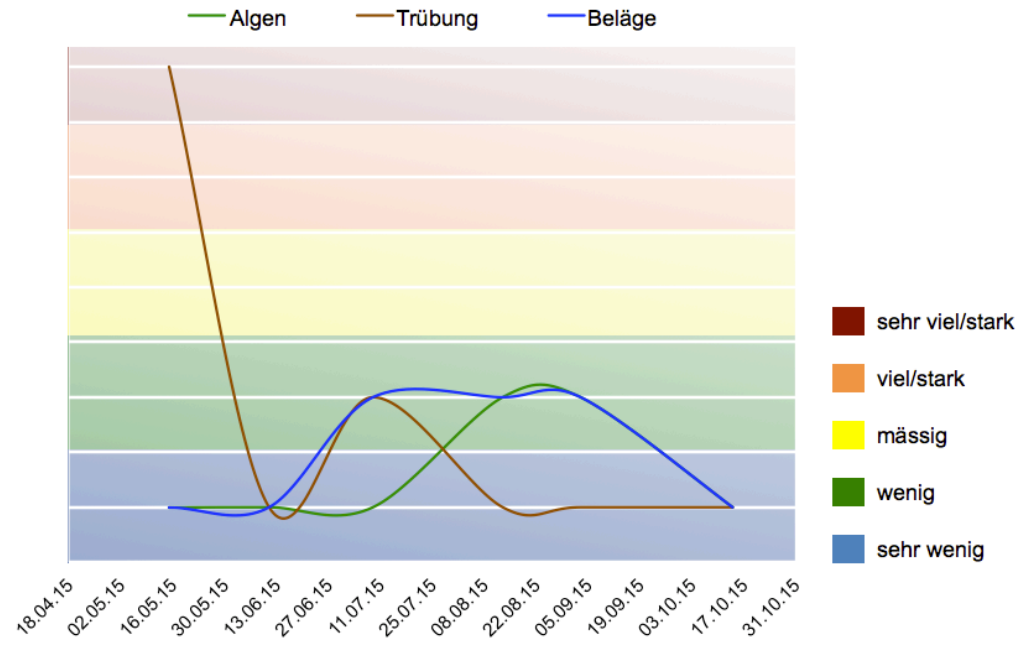
Masse

Fläche [m^2]: 27.3 Volumen [m^3]: 43.4

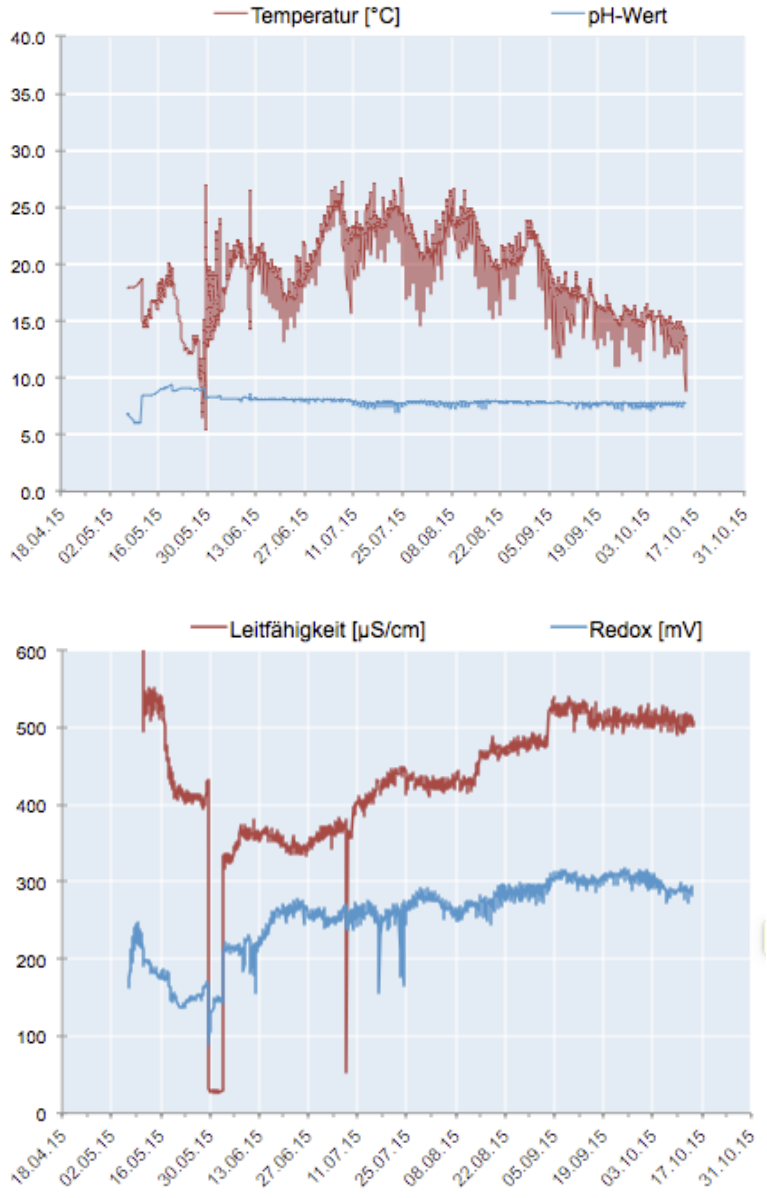
Chemische Messwerte



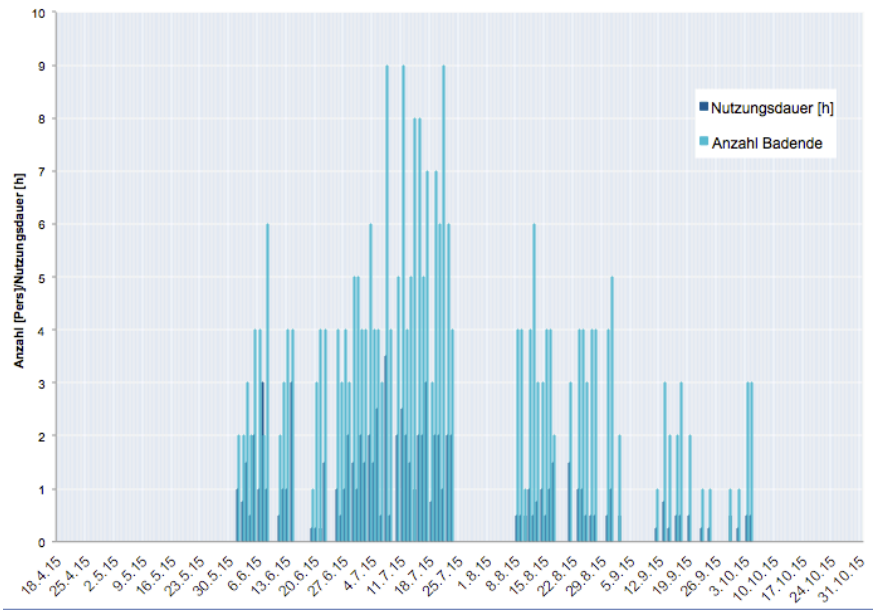
Äusserer Aspekt



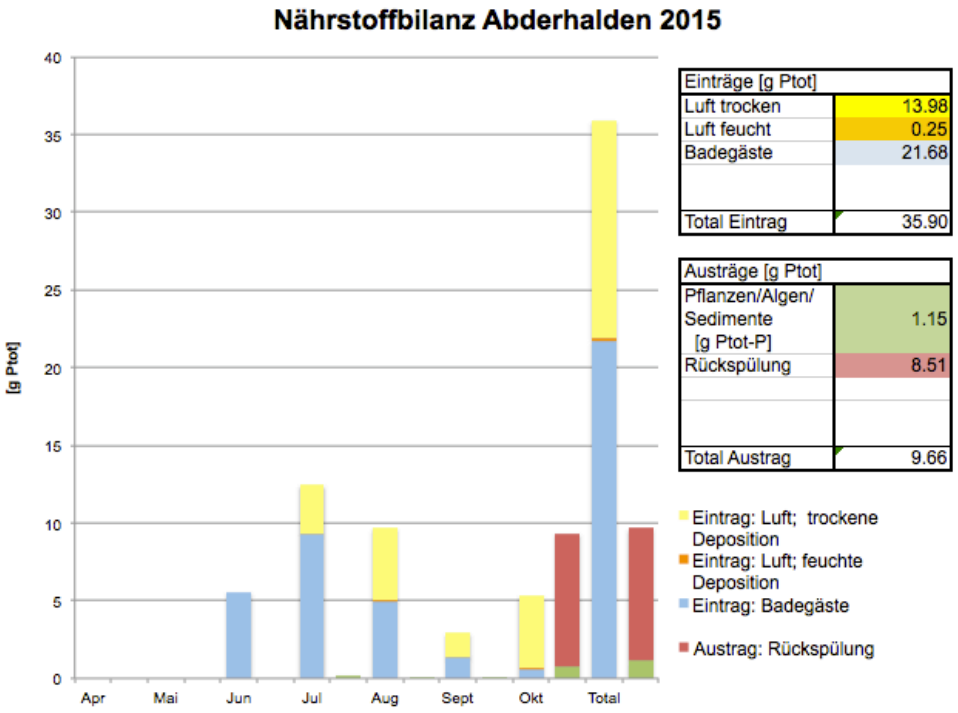
Physikalische Messwerte



Nutzung



Nährstoffbilanzierung



Einträge [g Ptot]	
Luft trocken	13.98
Luft feucht	0.25
Badegäste	21.68
Total Eintrag	35.90

Austräge [g Ptot]	
Pflanzen/Algen/ Sedimente [g Ptot-P]	1.15
Rückspülung	8.51
Total Austrag	9.66

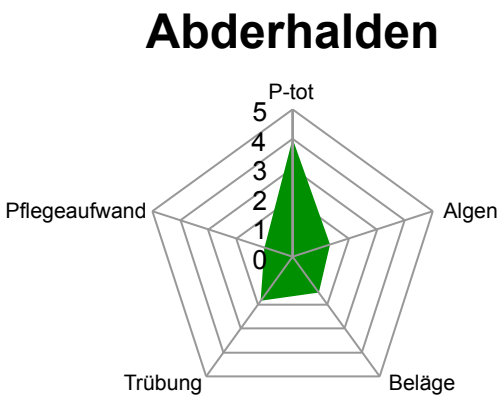
Bewertung

Chemische Wasserqualität	
Gesamt-P [ug/L P]	30
Zwischenbeurteilung	**4.0**

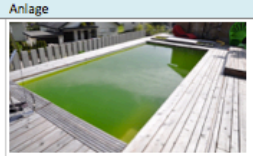
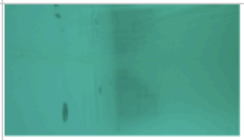
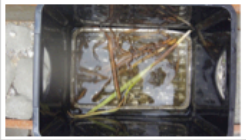
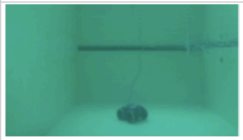
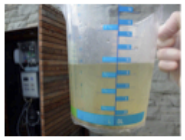
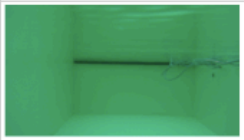
Aspekt	
Algen (fädig)	1.3
Beläge (Biofilm, Kieselalgen)	1.5
Trübung	1.8
Zwischenbeurteilung	**1.6**

Pflegeaufwand	
Dauer [h/Woche] für 32m2	0.2
Zwischenbeurteilung	**1.0**

ENDBEURTEILUNG	2.2
	gut



Bilder

Objekt Bezeichnung	Zeit /Datum Probenentnahme	UW	Aspekt	Anlage	Austragsbox	Niederschlag	Lufteintrag	Säule
Abderhalden, Wildhaus	15.05.15							
Abderhalden, Wildhaus	11.06.15							
Abderhalden, Wildhaus	09.07.15							
Abderhalden, Wildhaus	13.08.15							
Abderhalden, Wildhaus	03.09.15							
Abderhalden, Wildhaus	14.10.15							

Teich 6

Standort

Besitzer: Wohnschule Dentenberg

Teichbauer: Flury & Emch AG

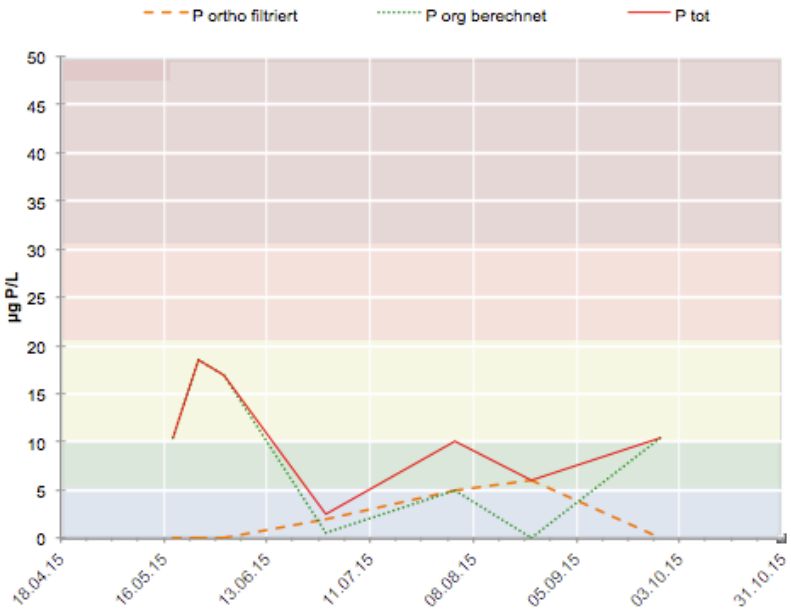
Technische Kategorie: 5

Becken: Beton, Farbanstrich

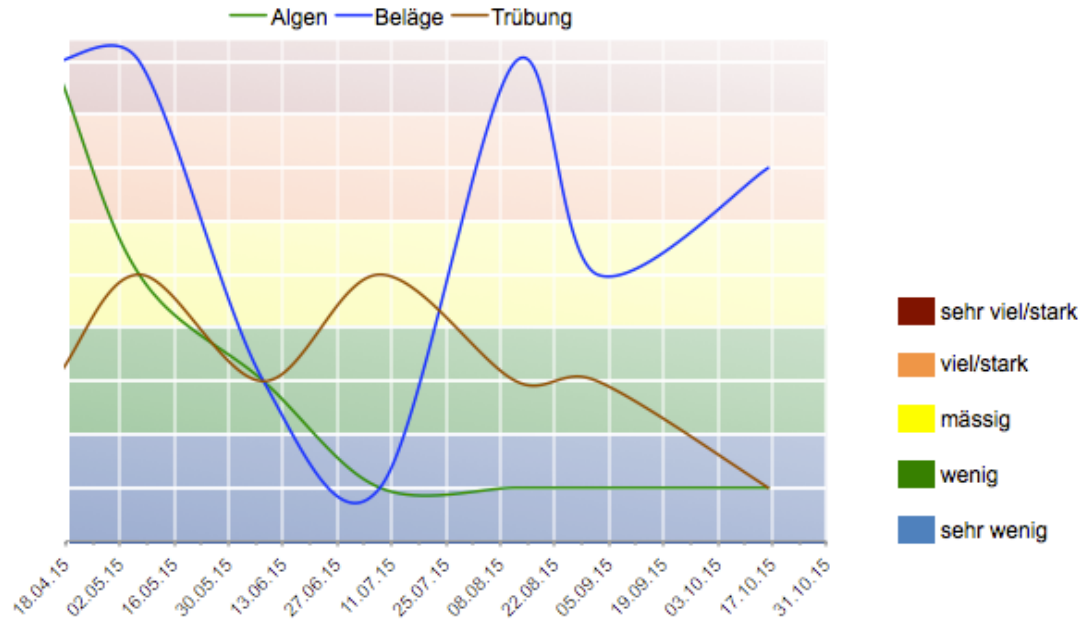
Masse

Fläche [m^2]: 180.0 Volumen [m^3]: 243.0

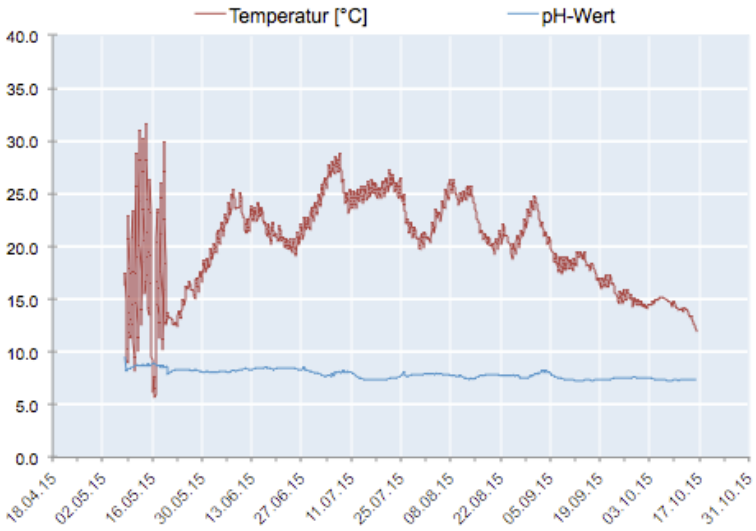
Chemische Messwerte

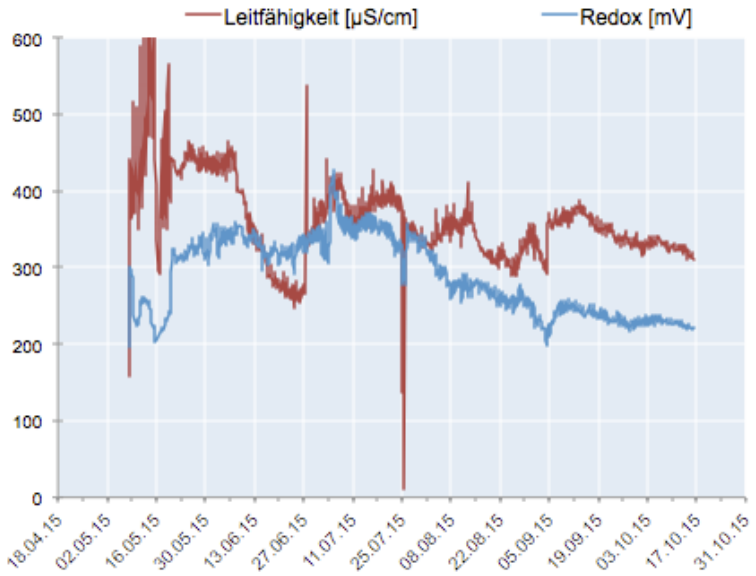


Äusserer Aspekt

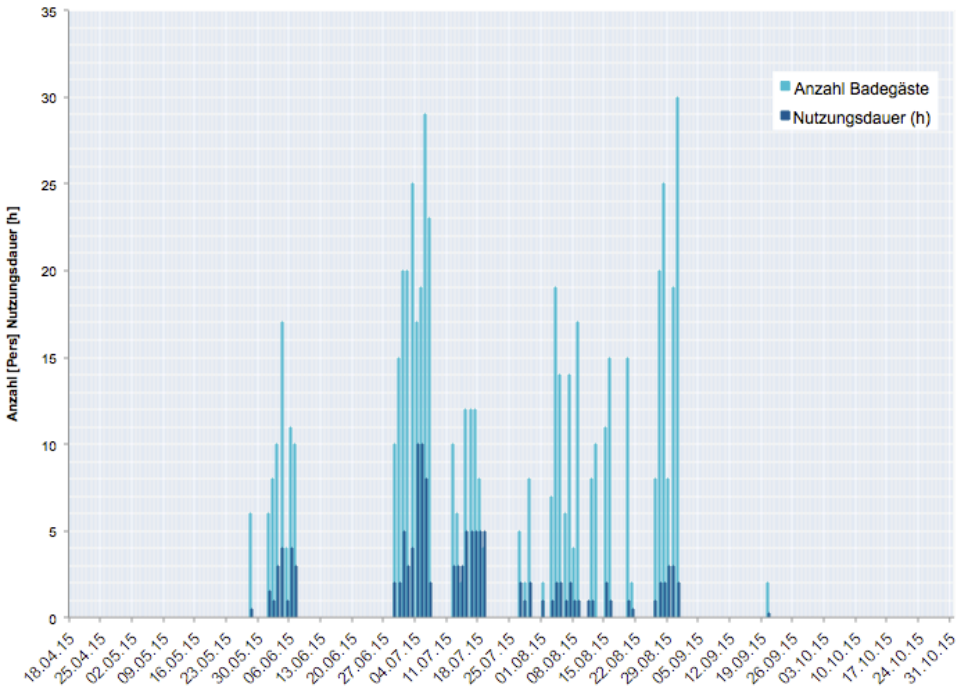


Physikalische Messwerte

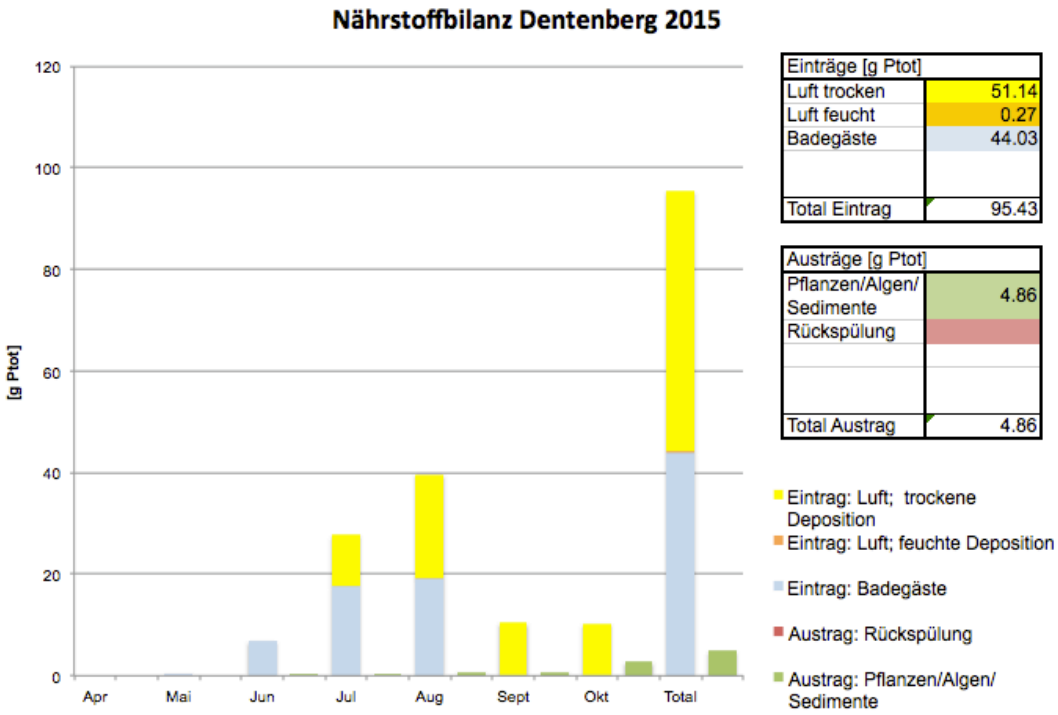




Nutzung



Nährstoffbilanzierung



Einträge [g Ptot]	
Luft trocken	51.14
Luft feucht	0.27
Badegäste	44.03
Total Eintrag	95.43

Austräge [g Ptot]	
Pflanzen/Algen/ Sedimente	4.86
Rückspülung	
Total Austrag	4.86

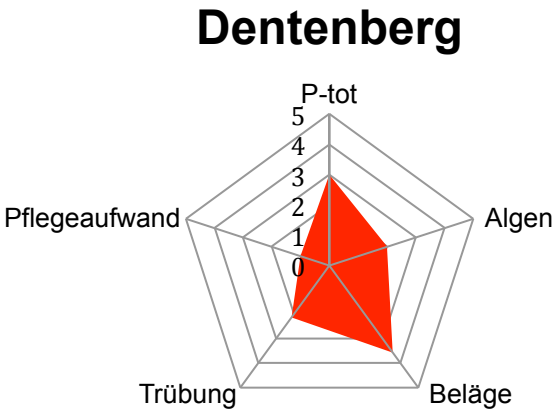
Bewertung

Chemische Wasserqualität	
Gesamt-P [ug/L P]	11
Zwischenbeurteilung	**3.0**

Aspekt	
Algen (fädig)	2.0
Beläge (Biofilm, Kieselalgen)	3.6
Trübung	2.1
Zwischenbeurteilung	**2.6**

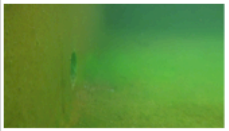
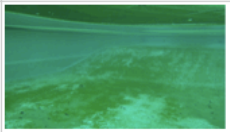
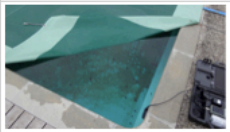
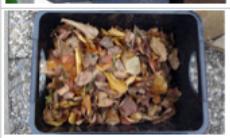
Pflegeaufwand	
Dauer [h/Woche] für 32m2	0.11
Zwischenbeurteilung	**1.0**

ENDBEURTEILUNG	2.2
	schlecht*



*Abwertung: Anlage während 4 Wochen nicht benutzbar führt zu Wertung „schlecht“

Bilder

Objekt Bezeichnung	Zeit /Datum Probenentnahme	UW	Aspekt	Anlage	Austragsbox	Niederschlag	Lufteintrag	Säule
Wohnschule Dentenberg	07.05.15							
Wohnschule Dentenberg	08.06.15							
Wohnschule Dentenberg	08.07.15							
Wohnschule Dentenberg	12.08.15							
Wohnschule Dentenberg	02.09.15							
Wohnschule Dentenberg	16.10.15							

Teich 7

Standort

Besitzer: Marinovic, Oeschgen

Teichbauer: Zebra Gartenbau

Baujahr:

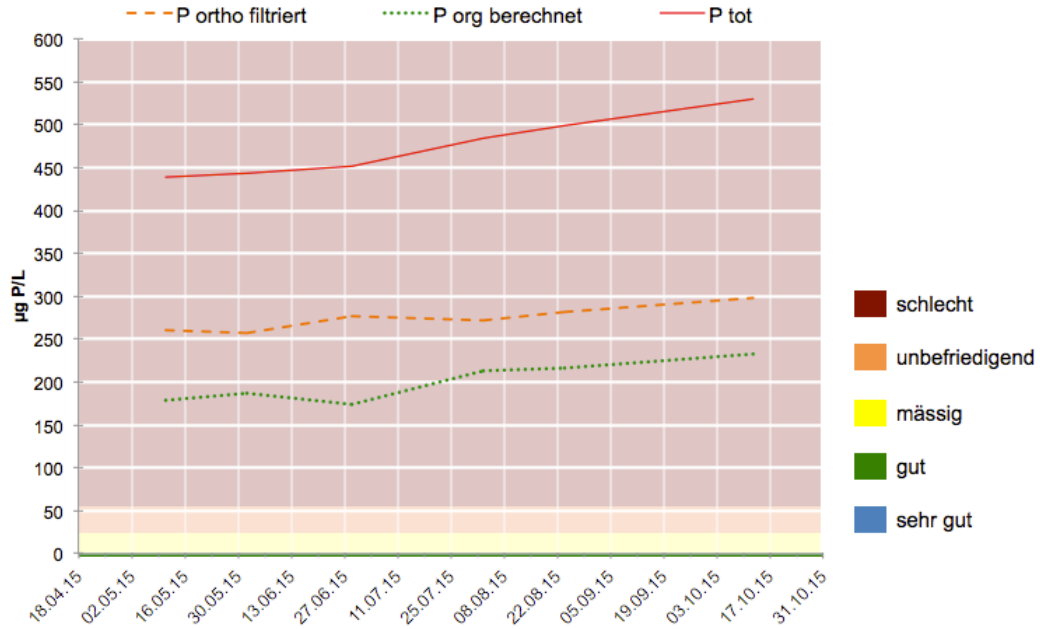
Technische Kategorie: 5, Indoor

Becken: Chromstahl

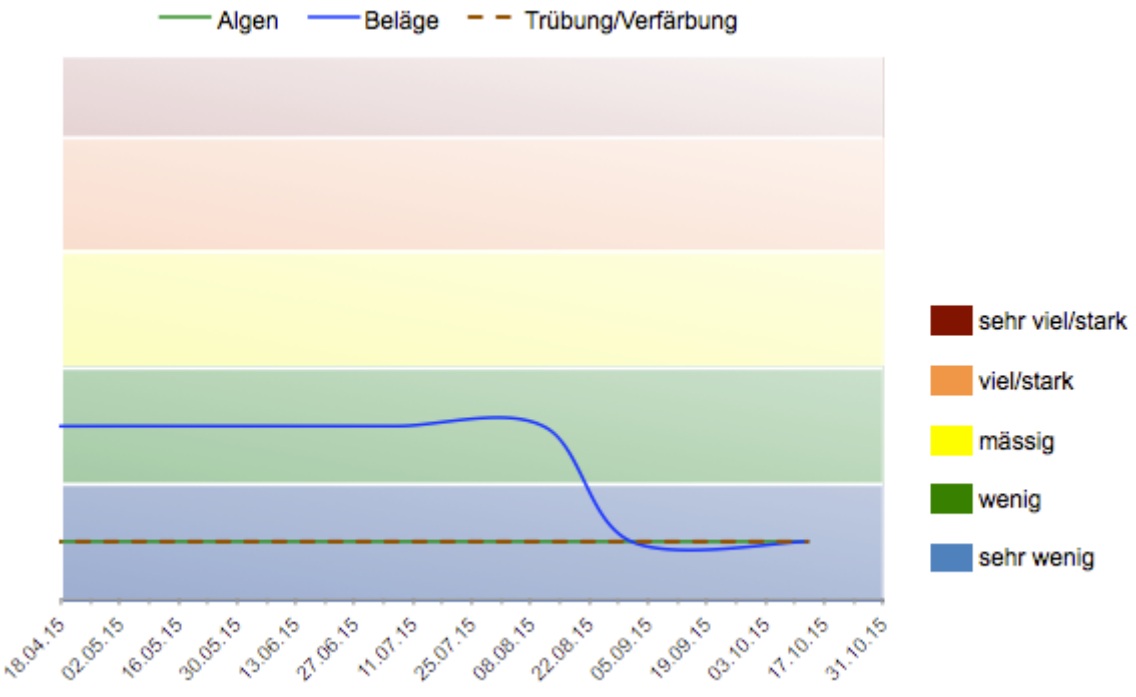
Masse

Fläche [m^2]: 40.7 Volumen [m^3]: 65.7

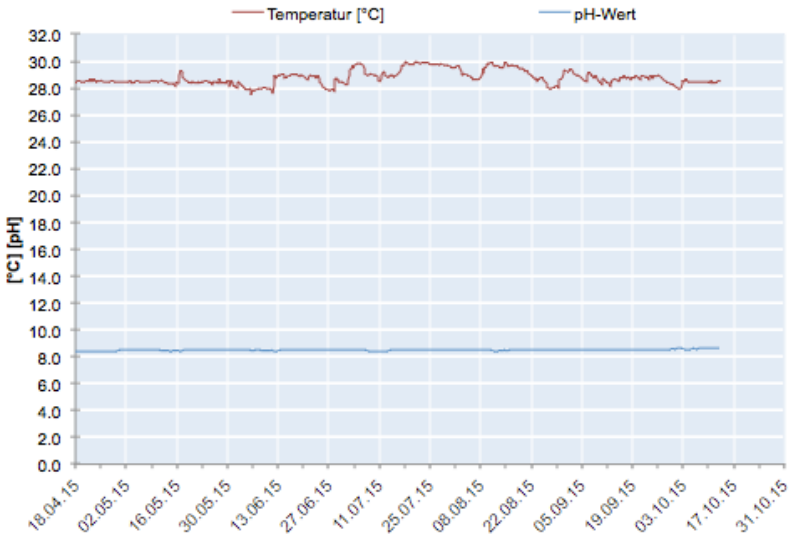
Chemische Messwerte

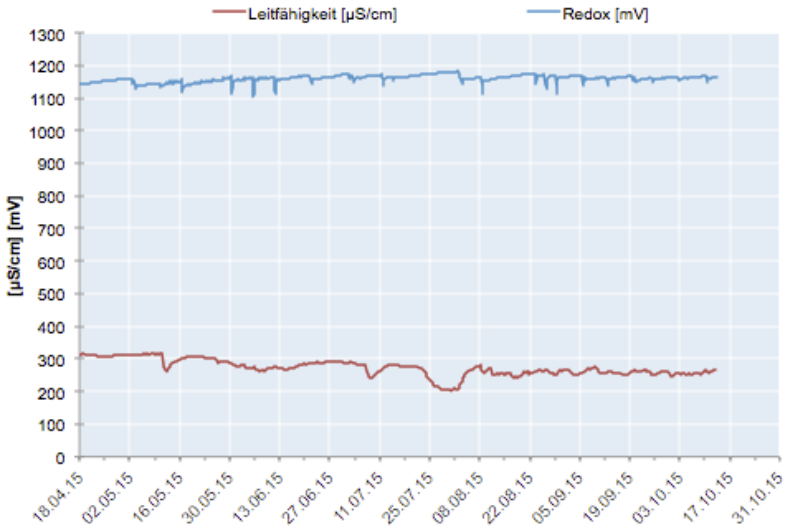


Äusserer Aspekt

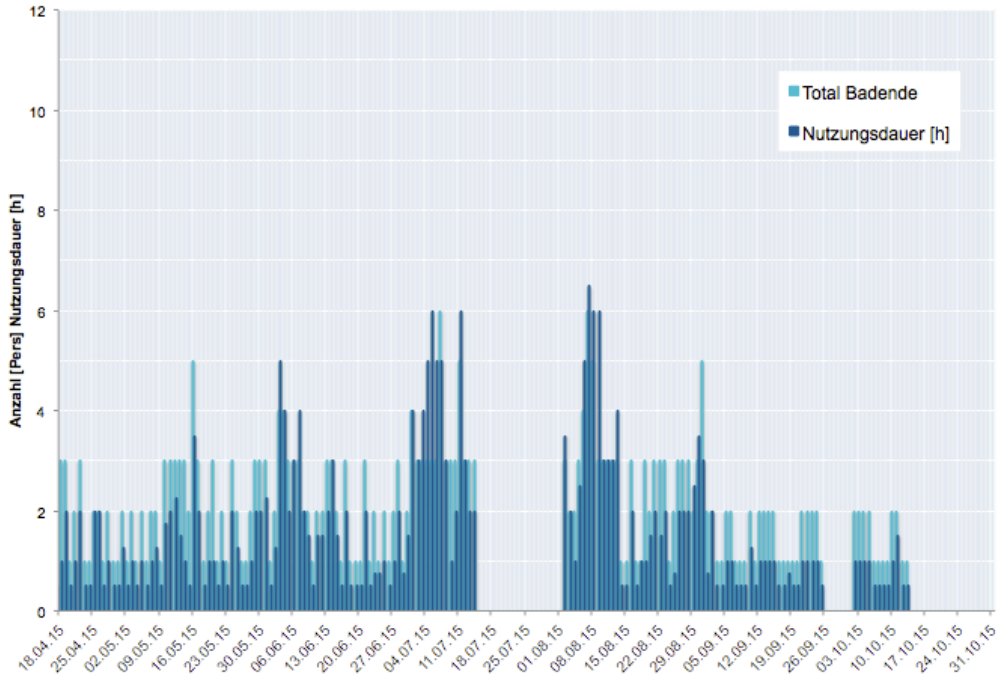


Physikalische Messwerte

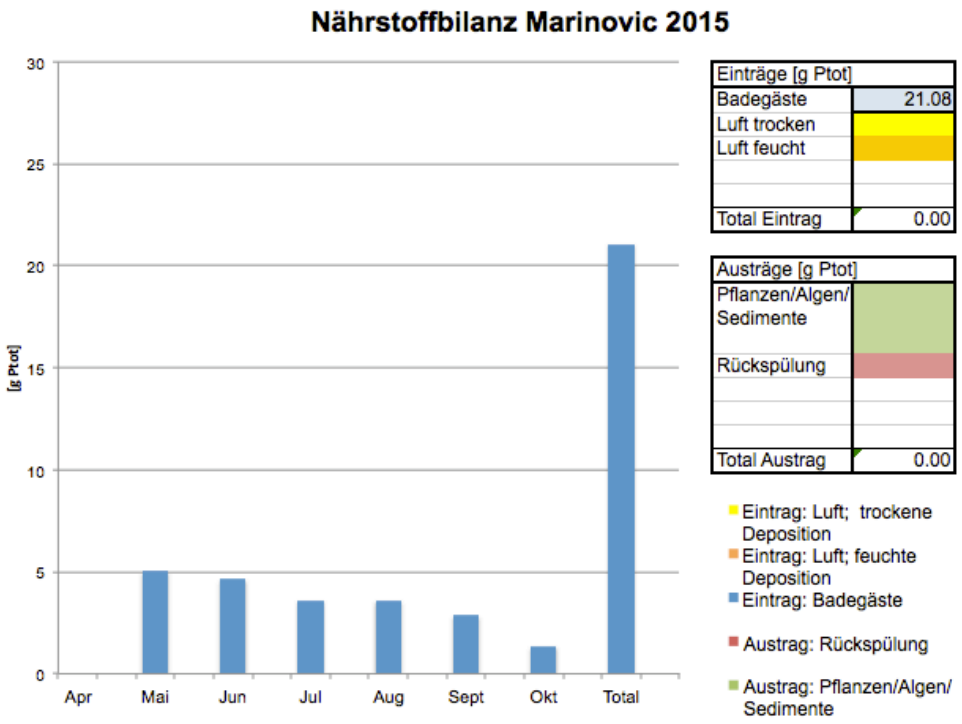




Nutzung



Nährstoffbilanzierung



Einträge [g Ptot]	
Badegäste	21.08
Luft trocken	
Luft feucht	
Total Eintrag	0.00

Austräge [g Ptot]	
Pflanzen/Algen/ Sedimente	
Rückspülung	
Total Austrag	0.00

- Eintrag: Luft; trockene Deposition
- Eintrag: Luft; feuchte Deposition
- Eintrag: Badegäste
- Austrag: Rückspülung
- Austrag: Pflanzen/Algen/ Sedimente

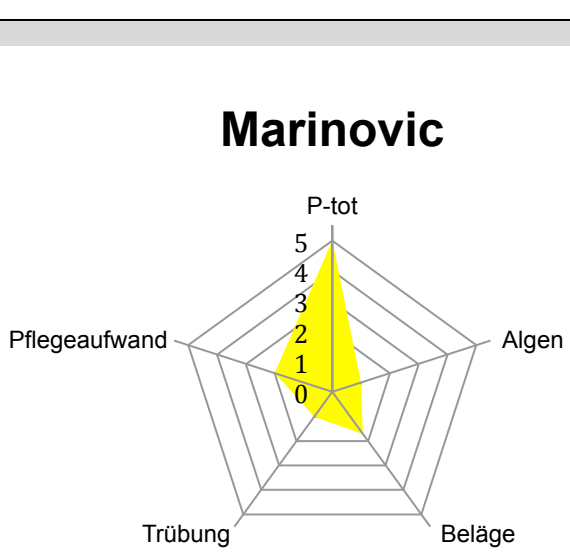
Bewertung

Chemische Wasserqualität	
Gesamt-P [ug/L P]	475
Zwischenbeurteilung	**5.0**

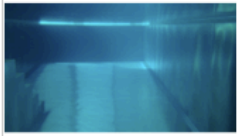
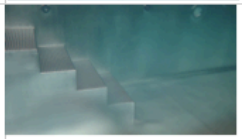
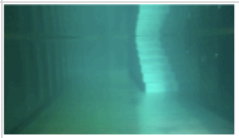
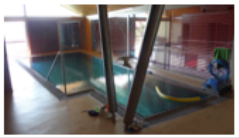
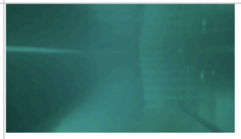
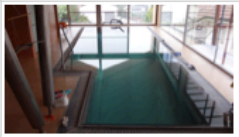
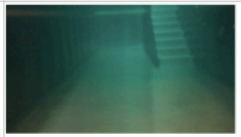
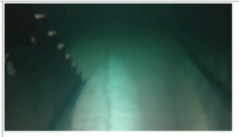
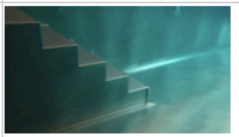
Aspekt	
Algen (fädig)	1.0
Beläge (Biofilm, Kieselalgen)	1.7
Trübung	1.0
Zwischenbeurteilung	**1.2**

Pflegeaufwand	
Dauer [h/Woche] für 32m2	0.4
Zwischenbeurteilung	**2.0**

ENDBEURTEILUNG	2.7
	mässig



Bilder

Objekt Bezeichnung	Zeit /Datum Probenentnahme	UW	Aspekt	Anlage	Austragsbox	Niederschlag	Lufteintrag	Säule
Marinovic	11.05.15							
Marinovic	10.06.15							
Marinovic	07.07.15							
Marinovic	11.08.15							
Marinovic	01.09.15							
Marinovic	13.10.15							

Teich 8

Standort

Besitzer: Saluz, Grabs

Teichbauer: Abderhalden Ecopool

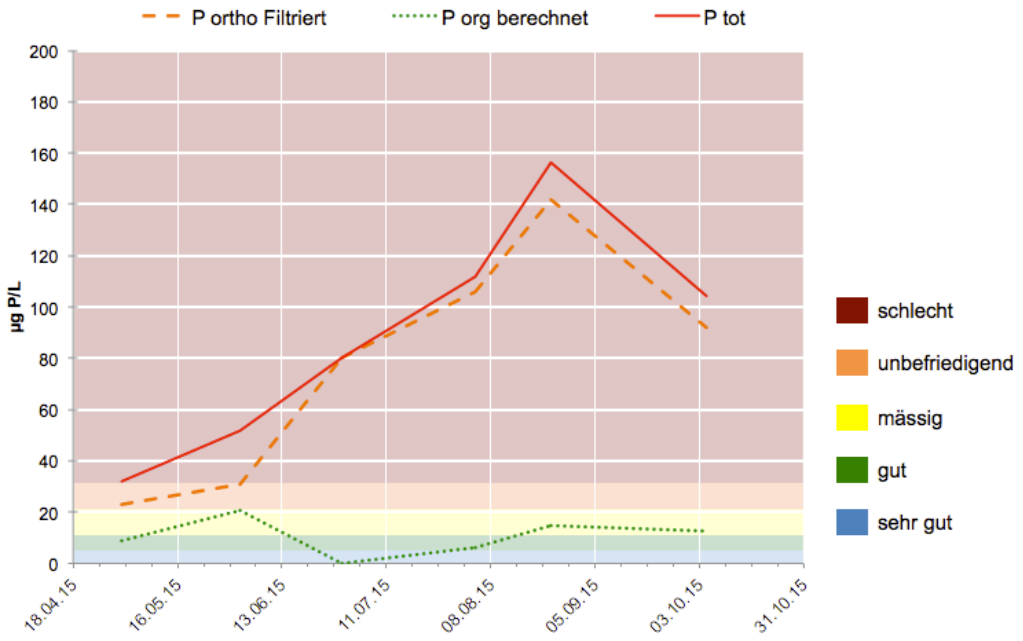
Baujahr: 2013

Technische Kategorie: 5

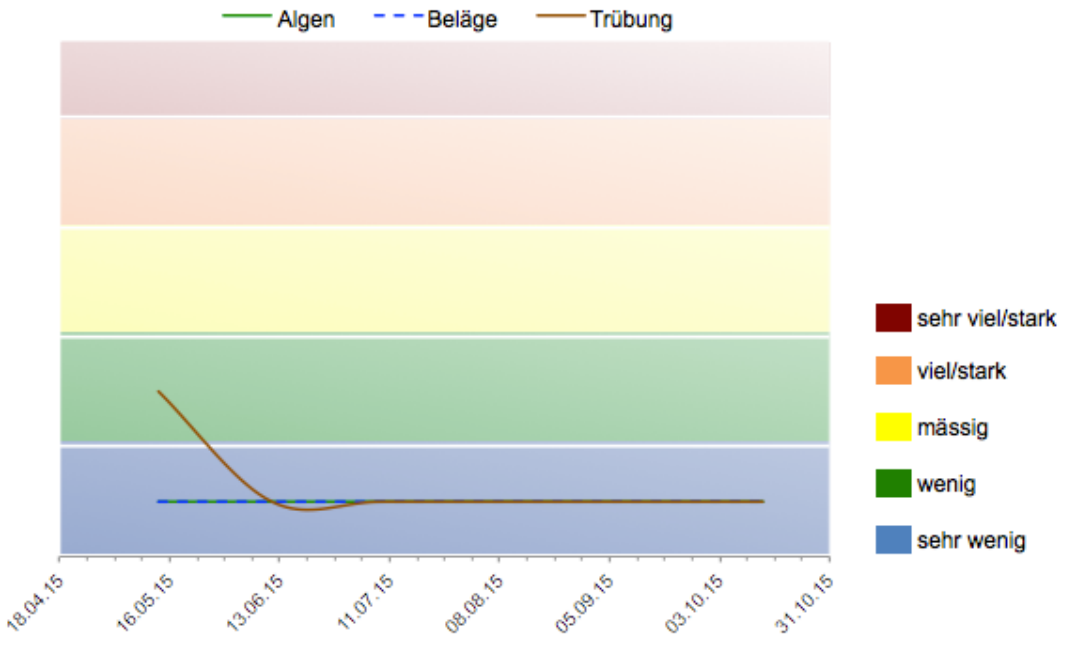
Masse

Fläche [m^2]: 38.7 Volumen [m^3]: 57.4

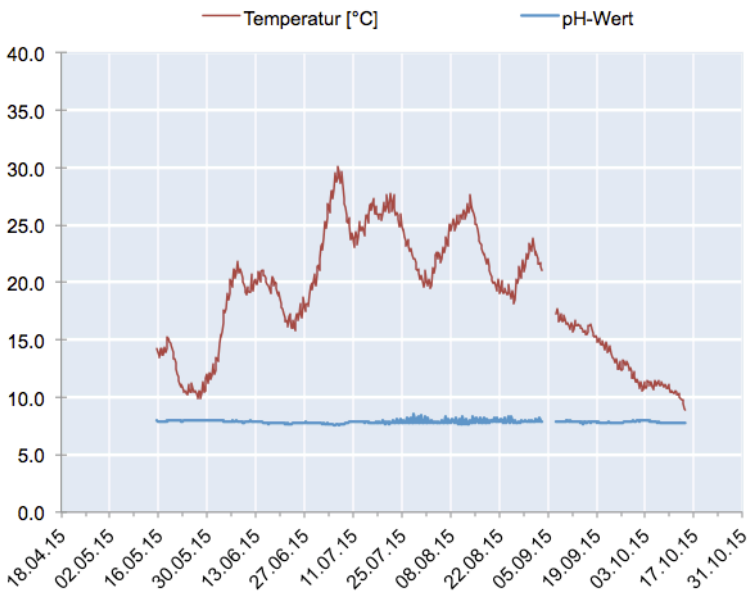
Chemische Messwerte

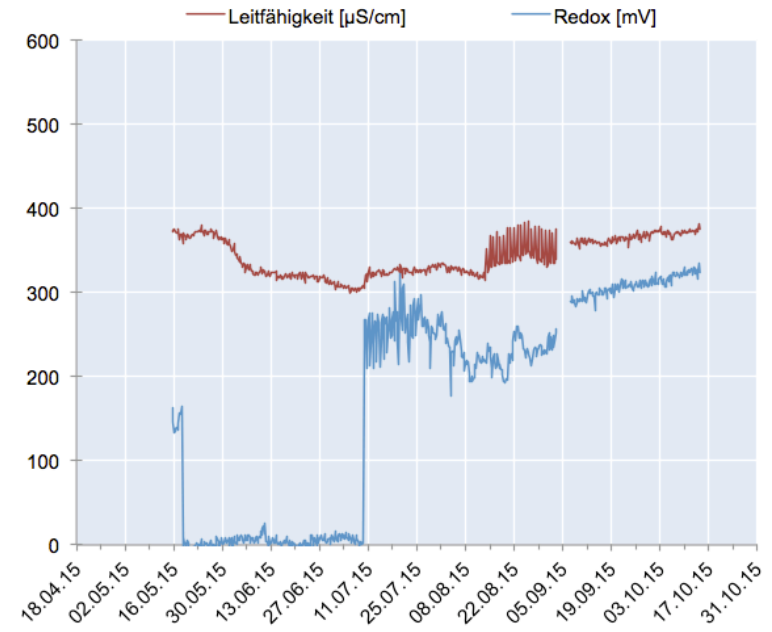


Äusserer Aspekt

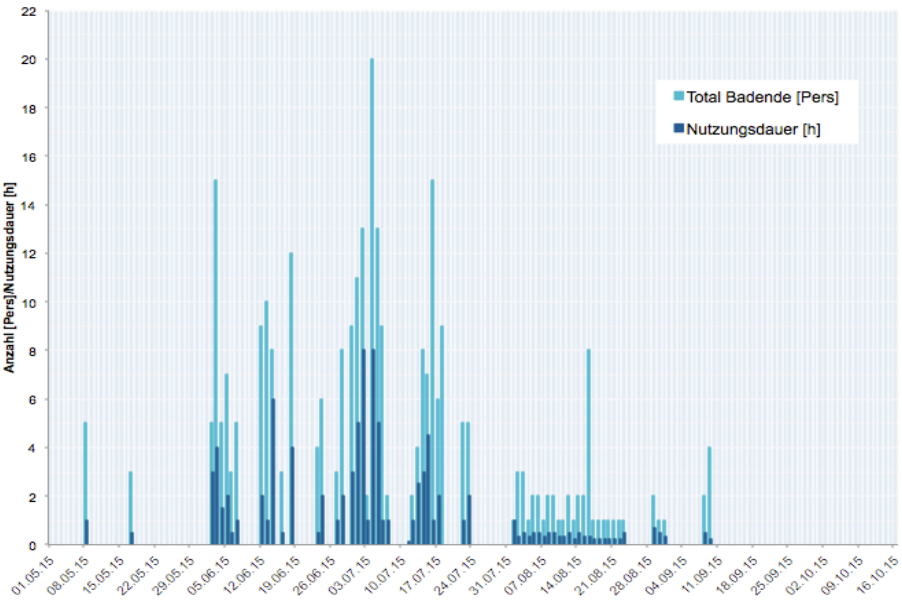


Physikalische Messwerte

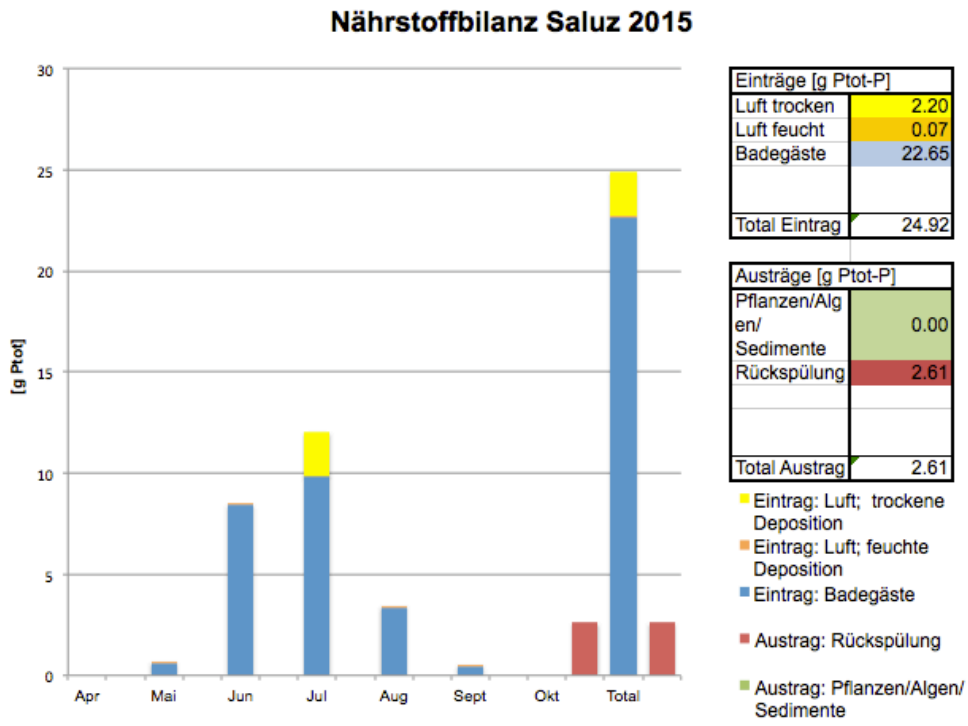




Nutzung



Nährstoffbilanzierung



Einträge [g Ptot-P]	
Luft trocken	2.20
Luft feucht	0.07
Badegäste	22.65
Total Eintrag	24.92

Austräge [g Ptot-P]	
Pflanzen/Algen/ Sedimente	0.00
Rückspülung	2.61
Total Austrag	2.61

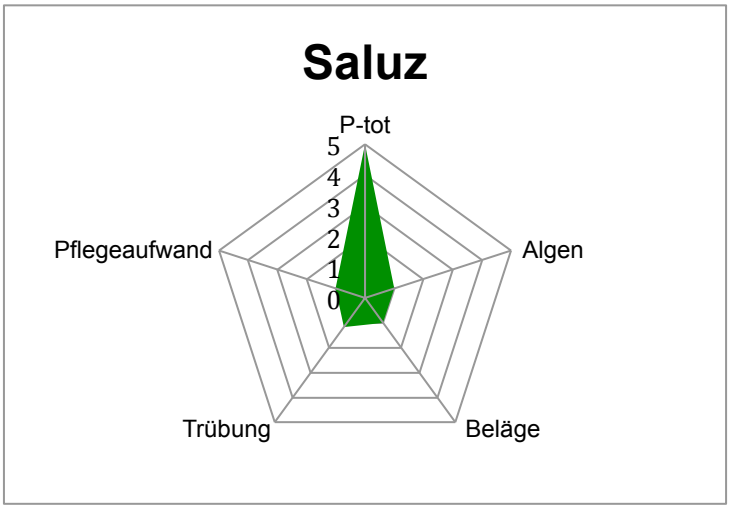
Bewertung

Chemische Wasserqualität	
Gesamt-P [ug/L P]	89
Zwischenbeurteilung	**5.0**

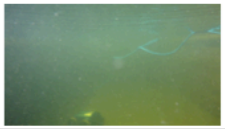
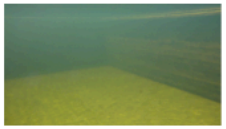
Aspekt	
Algen (fädig)	1.0
Beläge (Biofilm, Kieselalgen)	1.0
Trübung	1.2
Zwischenbeurteilung	**1.1**

Pflegeaufwand	
Dauer [h/Woche] für 32m2	0.25
Zwischenbeurteilung	**1.0**

ENDBEURTEILUNG	2.4
	gut



Bilder

Objekt Bezeichnung	Zeit /Datum Probenentnahme	Unterwasser	Aspekt	Anlage	Austragsbox	Niederschlag	Lufteintrag	Säule
Saluz	13.05.15							
Saluz	11.06.15							
Saluz	09.07.15							
Saluz	13.08.15							
Saluz	03.09.15							
Saluz	14.10.15							

Teich 9

Standort

Besitzer: Stadelmann, Remetschwil

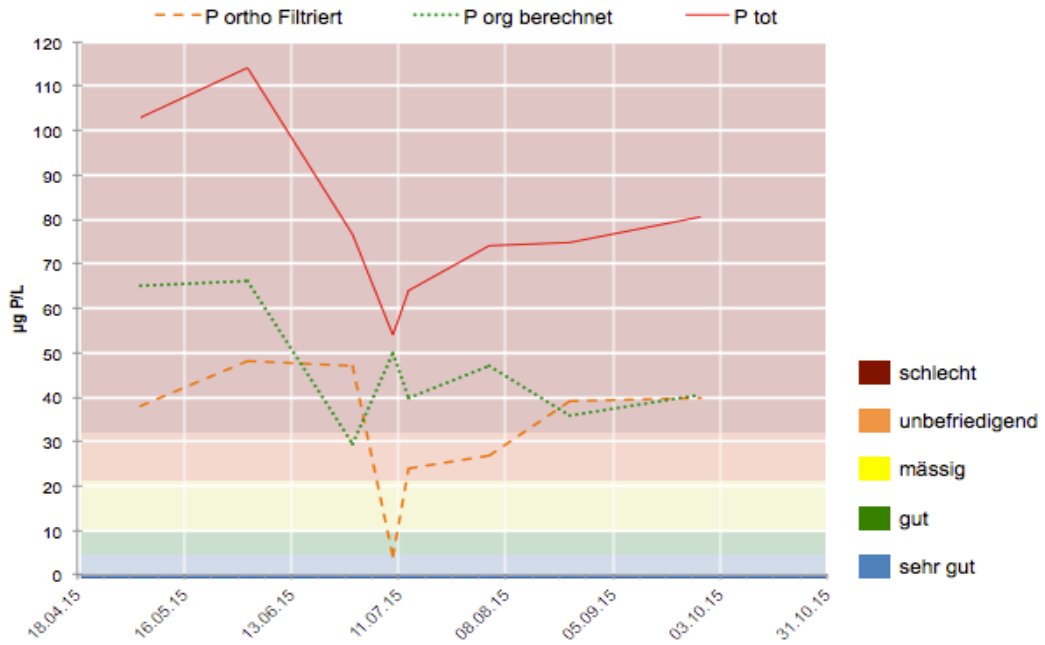
Teichbauer: Zebra Gartenbau AG

Technische Kategorie: 5

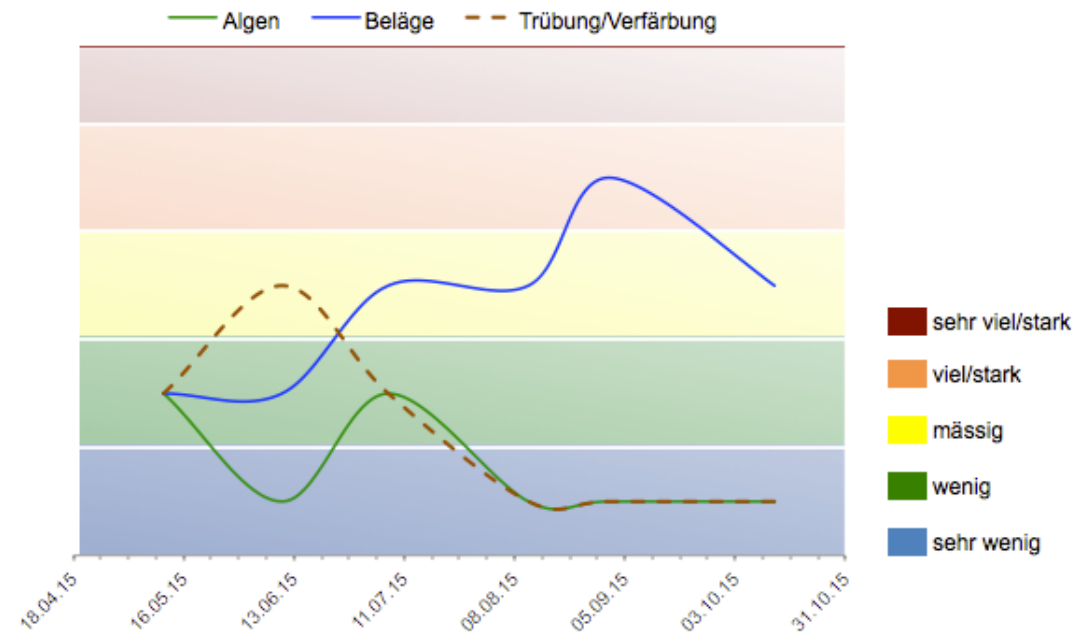
Masse

Fläche [m^2]: 63.0 Volumen [m^3]: 89.3

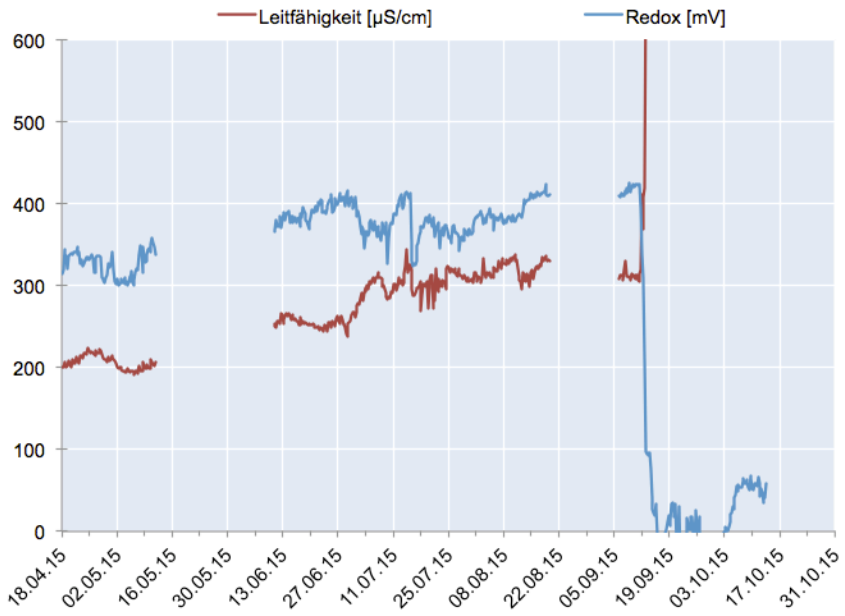
Chemische Messwerte

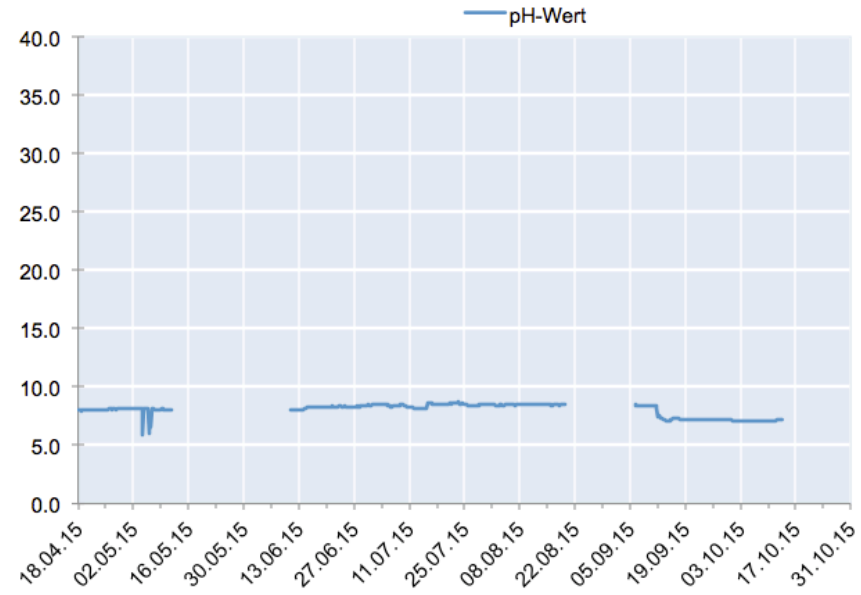


Äusserer Aspekt

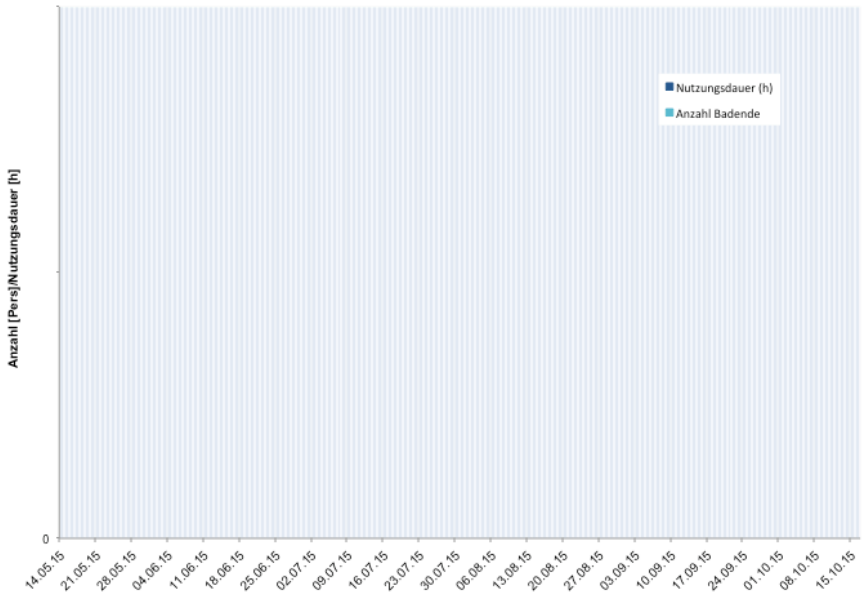


Physikalische Messwerte

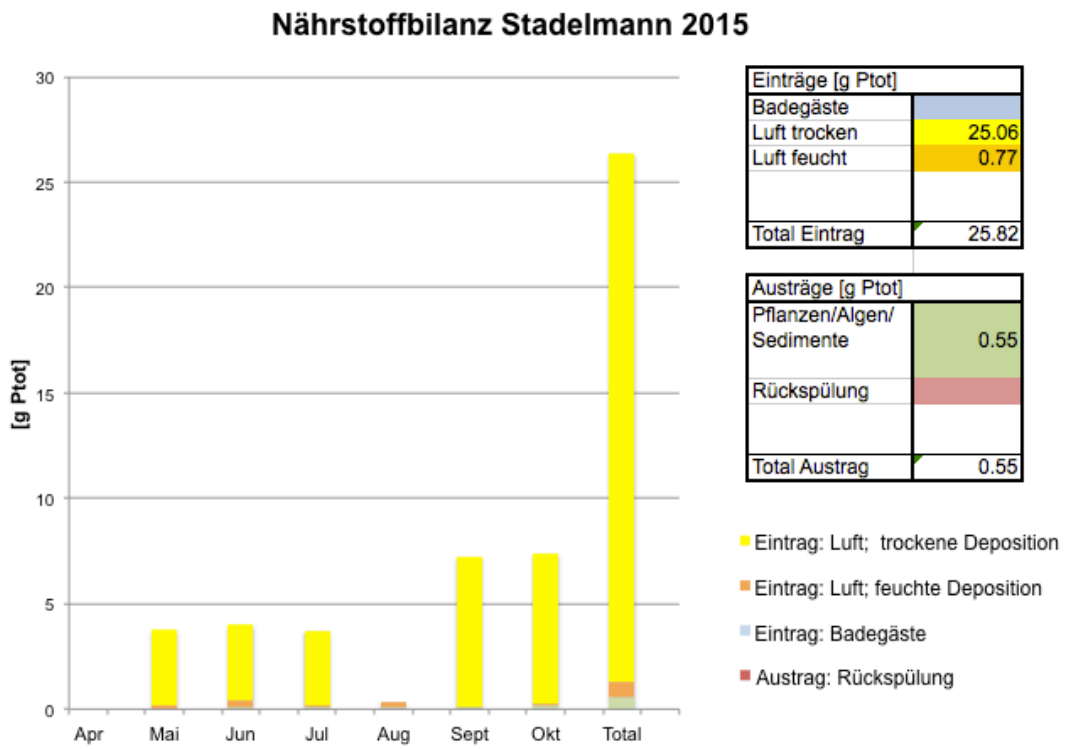




Nutzung



Nährstoffbilanzierung



Einträge [g Ptot]	
Badegäste	
Luft trocken	25.06
Luft feucht	0.77
Total Eintrag	25.82

Austräge [g Ptot]	
Pflanzen/Algen/ Sedimente	0.55
Rückspülung	
Total Austrag	0.55

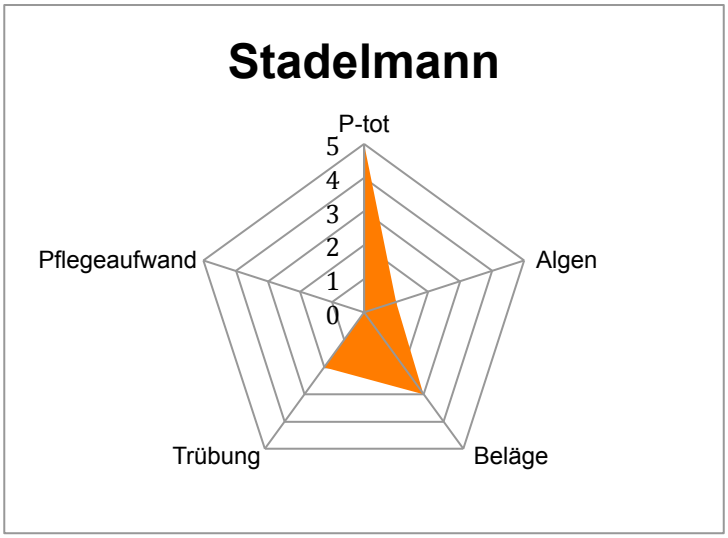
Bewertung

Chemische Wasserqualität	
Gesamt-P [ug/L P]	80
Zwischenbeurteilung	**5.0**

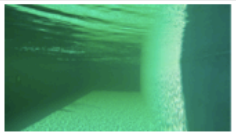
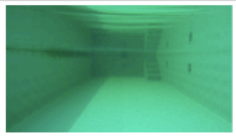
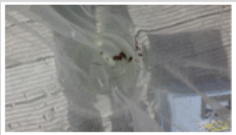
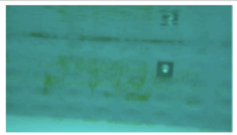
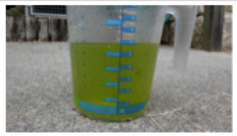
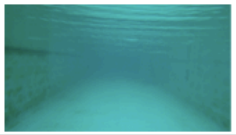
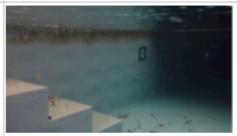
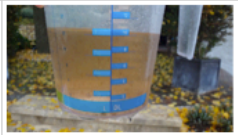
Aspekt	
Algen (fädig)	1.0
Beläge (Biofilm, Kieselalgen)	3.0
Trübung	2.0
Zwischenbeurteilung	**2.0**

Pflegeaufwand	
Dauer [h/Woche] für 32m2	?
Zwischenbeurteilung	**0.0**

ENDBEURTEILUNG	3.5
	unbefriedigend



Bilder

Objekt Bezeichnung	Zeit /Datum Probenentnahme	Unterwasser	Aspekt	Anlage	Austragsbox	Niederschlag	Lufteintrag	Säule
Stadelmann	13.04.15							
Stadelmann	11.05.15							
Stadelmann	10.06.15							
Stadelmann	07.07.15							
Stadelmann	11.08.15							
Stadelmann	01.09.15							
Stadelmann	13.10.15							

B. Protokoll Äusserer Aspekt

Äusserer Aspekt							
Anlage Datum							
	Kein	Wenig	Mässig		Viel	Sehr viel	Bemerkung
Algen							(1-2)
							(4-5)
Beläge							(1-2)
							(4-5)
Trübung/Verfärbung							(1-2)
							(4-5)
Pflanzenwachstum							
Geruch							
Kommentar							

C. Protokoll Pflege- und Nutzung

Protokoll Schwimmteich/Kunde

ASC SCHWEIZ
Steinberggasse 2 | 8400 Winterthur
info@ascschweiz.org | www.ascschweiz.org

Objekt Name:
Startdatum:
ASC Kontakt: Christian Buehrle - labor@ascschweiz.org

Monat

Pflege [min]		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Reinigung Skimmer																																
Roboter einsetzen/entnehmen																																
Reinigung automatisitert: Betriebsdauer des Roboters																																
Reinigen des Roboters*																																
Reinigung manuell (Wände, Treppen, etc)*																																
Grundreinigung (Sedimente/Pflanzen)*																																
Rückschnitt Sumpfpflanzen*																																
Rückschnitt UW-Pflanzen/Seerosen*																																
Rückspülung Biofilter (Kat 4+5)*																																
Rückspülung Feinfilter (Kat 4+5)*																																
Weitere Tätigkeiten:																																
Totalaufwand [min]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Sämtliche Austräge (Pflanzenmaterial, Algen, Sedimente usw.) bitte in der dafür vorgesehenen Box sammeln.

K Kunde U Unternehmer

Nutzung		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Anzahl	Erwachsene																															
	Kinder																															
Total Badende		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anzahl	Badegänge																															
Nutzungsdauer [h]																																
Nutzungsdauer [min]																																

D. Fachartikel zur Semesterarbeit

Von Ein- und Austrägen

Eine Annäherung an die Nährstoffbilanzierung bei Schwimmteichen

Wie können Nährstoffbilanzierung ungen unter Feldbedingungen durchgeführt werden? Eine studentische Arbeit befasst sich mit dem Thema

Christian Buehrle

buehrlch@students.zhaw.ch

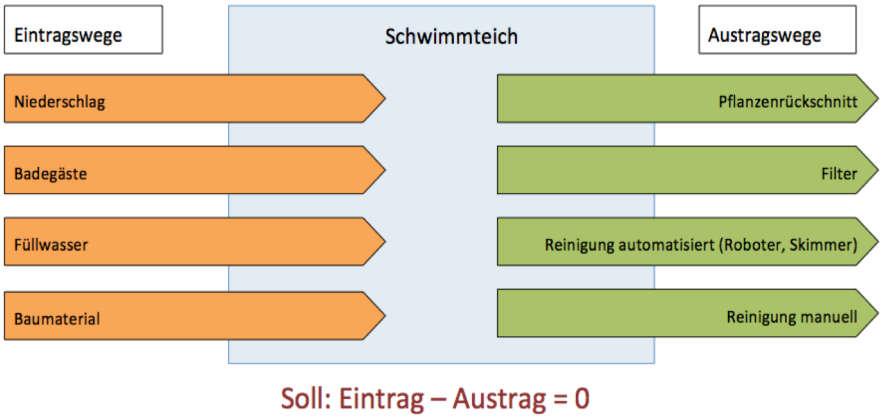


Abb1: Ein- und Austragswege bei Schwimmteichen (nach Frei 2015, verändert)

Ein ausgeglichenes Verhältnis der Ein- und Austräge ist grundlegend für Schwimmteiche. In einer gut funktionierenden Anlage werden sämtliche eingebrachten Nährstoffe wieder aus dem System entfernt. Trotzdem verlassen sich viele Fachleute bei der Nährstoffbilanzierung immer noch auf Erfahrungswerte. Als Teil einer studentischen Arbeit wurde nun eine Annäherung an die Nährstoffbilanzierung versucht.

Phosphorbilanzierung

Eines der wichtigsten Elemente in Schwimmteichen ist das Element Phosphor. Werden Phosphor-Einträgen keine oder ungenügende Austräge entgegengesetzt, findet eine Eutrophierung des Gewässers statt,. Dies führt zu vermehrtem Algenwachstum und gemäss dem Prinzip von natürlichen Gewässern letztendlich zur Verlandung.

Eine wichtige Eintragsquelle von Phosphor sind die Badegäste. Der Phosphoreintrag pro Badegast und Tag wird mit 75 mg quantifiziert. Niederschlag wie Regen, Blütenstaub, Laub, Staub, Insekten oder Vogelkot verursachen ebenfalls Einträge.

Phosphoraustrag ist hauptsächlich durch den Austrag von organischer Substanz zu gewährleisten, das heisst durch die Umwandlung in Pflanzenmaterial und dessen regelmässige Ernte, das Entfernen von Algen, Sedimenten und Filterrückspülungen (Abb1).

Anhand der Quantifizierung dieser Ein- und Austräge kann eine Nährstoffbilanzierung gemacht werden.

Feldarbeit

Es wurde eine Auswahl von 9 Teichanlagen unterschiedlicher Kategorien untersucht. Dabei waren 2 Anlagen aus der naturnahen Kategorie 2, 2 Anlagen der Kategorie 4 und 5 Anlagen der Kategorie 5. Während einer Vegetationsperiode wurden systematisch sämtliche Ein- und Austräge erfasst und ausgewertet.

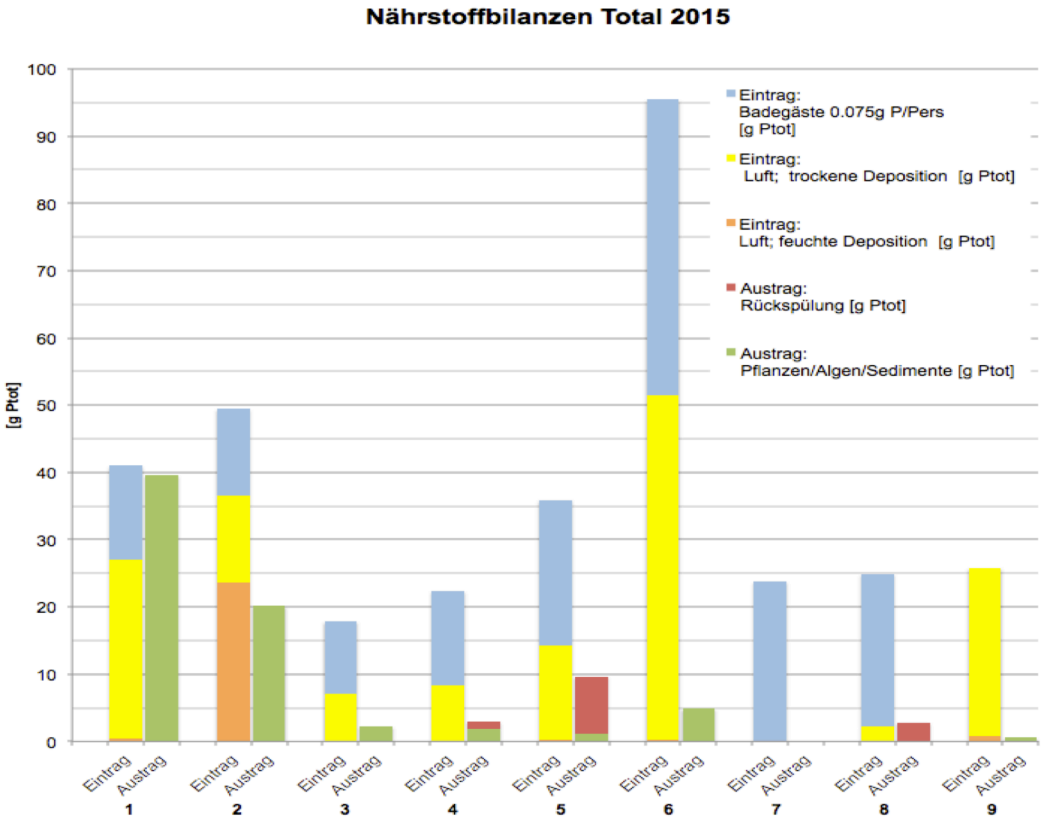


Abb2: Nährstoffbilanzierung von 9 Teichanlagen

Pflanzenrückschnitt, Algen und weitere Biomasseausträge wie Haare oder Schmutz wurden im Labor getrocknet und über das Gewicht der Trockensubstanz die Grössenordnung des Phosphoraustrags berechnet. Bei Filterrückspülungen wurden Wasserproben chemisch analysiert und die Gesamtmenge des ausgetragenen Phosphors über die Menge des verwendeten Rückspülwassers berechnet. Einträge aus der Luft wurden mit Hilfe einer Messsäule erfasst, welche das Trennen von fester und flüssiger atmosphärischer Deposition ermöglicht. Nutzungsprotokolle dienten der Ermittlung der totalen Anzahl Badegäste und dem daraus resultierenden Phosphor-Eintrag.

Ergebnisse

Eine vollständige Nährstoffbilanzierung konnte nur bei den Teichen 1,2,4 und 5 erstellt werden. Bei den anderen untersuchten Anlagen wurden im Verlauf des Untersuchungszeitraumes keine Rückspülungen durchgeführt oder Ein- und Austräge durch Reinigung oder Nutzung sind nicht bekannt. Nur bei Teich 1 wurde eine annähernd ausgeglichene Bilanz erreicht. Bei den anderen Anlagen übersteigen die Einträge die Austräge deutlich (Abb2). Bei den Lufteinträgen ergeben sich teilweise markante Phosphor-Einträge durch trockene Deposition. Die Nährstoffeinträge durch Regen sind verhältnismässig gering. Ausser bei Anlage 2. Hier könnte jedoch auch ein Messfehler oder eine Verfälschung des Resultats vorliegen.

Die Austräge konnten bei den Anlagen 1 und 2 genau bestimmt werden. Abweichungen könnten sich höchstens durch nicht gesammelte Einträge oder unzureichendes Trocknen des organischen Materials ergeben. Bei Teichen der Kategorien 4-5 findet der hauptsächliche Nährstoffaustrag durch Filterrückspülungen statt. Hier zeigt sich dass die gemessenen Austragsleistungen im Verhältnis zu den Einträgen sehr gering sind. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Mengen, welche durch Rückspülungen entfernt werden könne generell sehr gering sind. In diesem Bereich ist grosses Potential für die Forschung.

E. Plagiatserkärung

E R K L Ä R U N G

betreffend des selbständigen Verfassens einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmassnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum: Unterschrift:

…… ……...