

# Beobachtung der Besiedelung eines neuangelegten Teiches

Maturitätsarbeit 2020

von Felix Baur, 4c

Betreuerin: Dr. Barbara Weber



6.1.2020

MNG Rämibühl, Zürich

## **Abstract**

Die vorliegende Maturitätsarbeit dokumentiert die Entwicklung eines neu angelegten Teiches und seiner Initialgesellschaft von April bis Oktober und vergleicht das Gewässer mit den bereits existierenden Nachbarteichen. Untersucht und einander gegenübergestellt wurden physikalische Grössen wie die Wassertemperatur und die Sichttiefe, aber auch Wasserwerte wie der pH-Wert, die Härte, der Kohlenstoff-, Sauerstoff-, Nitrat- und Phosphatgehalt. Neben diesen abiotischen Faktoren wurde die Entwicklung der Lebensgemeinschaften des Planktons, der Insekten, der Weichtiere und der Amphibien studiert. Die beobachteten Arten wurden monografisch erfasst und in einer umfassenden Fotodokumentation wiedergegeben. Dabei wurden auch einige seltene und gefährdete Arten entdeckt.

Die gemachten Beobachtungen lassen darauf schliessen, dass ein neugeschaffenes Kleingewässer mit Anschluss an einen Verbund bereits existierender Teiche von Amphibien, Insekten und Schnecken problemlos besiedelt wird. Sechs der acht beobachteten Amphibienarten haben den neu angelegten Teich nachweislich zur Fortpflanzung angenommen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>THEORETISCHE GRUNDLAGEN</b> .....	<b>6</b>
2.1	ABIOTISCHE FAKTOREN.....	6
2.1.1	Wassertemperatur.....	6
2.1.2	Sichttiefe.....	7
2.1.3	pH-Wert.....	7
2.1.4	Carbonathärte und Gesamthärte.....	8
2.1.5	Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff.....	9
2.1.6	Nitrat- und Phosphatgehalt.....	10
2.2	TROPHIESTUFEN.....	11
2.3	BIOTISCHE FAKTOREN.....	12
2.4	LEBENSGEMEINSCHAFT PLANKTON.....	12
2.4.1	Bakterioplankton.....	13
2.4.2	Phytoplankton.....	13
2.4.2.1	Cyanobakterien.....	13
2.4.2.2	Kieselalgen.....	13
2.4.2.3	Grünalgen.....	14
2.4.2.4	Flagellaten.....	14
2.4.3	Zooplankton.....	14
<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b> .....	<b>15</b>
3.1	DIE TEICHE.....	15
3.1.1	Lage und Umgebung.....	15
3.1.2	Anlegung von Teich 1 und Teich 4.....	19
3.1.3	Die vier Teiche im Vergleich.....	20
3.2	ABIOTISCHE FAKTOREN.....	22
3.2.1	Wassertemperatur.....	22
3.2.2	Sichttiefe.....	22
3.2.3	pH-Wert.....	23
3.2.4	Gesamt- und Carbonathärte.....	23
3.2.5	Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffgehalt.....	23
3.2.6	Nitrat- und Phosphatgehalt.....	25
3.3	BIOTISCHE FAKTOREN.....	25
<b>4</b>	<b>RESULTATE: MESSUNGEN UND BEOBACHTUNGEN</b> .....	<b>27</b>
4.1	ABIOTISCHE FAKTOREN.....	27
4.1.1	Wassertemperatur.....	27
4.1.2	Sichttiefe.....	28
4.1.3	pH-Wert.....	29
4.1.4	Carbonathärte und Gesamthärte.....	30

4.1.5	<i>Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff</i> .....	31
4.1.6	<i>Nitrat- und Phosphatgehalt</i> .....	33
4.2	BIOTISCHE FAKTOREN .....	34
4.3	LEBENSGEMEINSCHAFT PLANKTON .....	35
4.3.1	<i>Bakterioplankton</i> .....	35
4.3.2	<i>Phytoplankton</i> .....	36
4.3.2.1	Cyanobakterien .....	36
4.3.2.2	Kieselalgen (Diatomeen) .....	37
4.3.2.3	Grünalgen (Chlorophyta) .....	37
4.3.2.4	Flagellaten .....	40
4.3.3	<i>Zooplankton</i> .....	40
4.4	WIRBELLOSE TIERE .....	43
4.4.1	<i>Wasserkäfer</i> .....	43
4.4.2	<i>Wassperläufer und Wasserwanzen</i> .....	44
4.4.3	<i>Insektenlarven</i> .....	46
4.4.4	<i>Libellen</i> .....	48
4.4.5	<i>Wasserschnecken</i> .....	51
4.5	AMPHIBIEN .....	52
4.5.1	<i>Erdkröte (Bufo bufo)</i> .....	54
4.5.2	<i>Grasfrosch (Rana temporaria)</i> .....	55
4.5.3	<i>Gelbbauchunke (Bombina variegata)</i> .....	56
4.5.4	<i>Geburtshelferkröte (Alytes obstetricans)</i> .....	57
4.5.5	<i>Kleiner Wasserfrosch (Pelophylax lessonae) und Teichfrosch (P. esculentus)</i> .....	58
4.5.6	<i>Feuersalamander (Larven) (Salamandra salamandra)</i> .....	58
4.5.7	<i>Bergmolch (Ichthyosaura alpestris)</i> .....	59
4.5.8	<i>Fadenmolch (Lissotriton helveticus)</i> .....	60
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>SCHLUSSWORT</b> .....	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>VERZEICHNISSE</b> .....	<b>64</b>
7.1	LITERATURVERZEICHNIS .....	64
7.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	67
<b>8</b>	<b>EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG</b> .....	<b>76</b>

# 1 Einleitung

Seit ich mich erinnern kann, üben jeder Bach und jeder Tümpel eine grosse Anziehung auf mich aus. Wer wohnt da und wie sehen diese Bewohner aus, wollte ich schon immer wissen. Inzwischen züchte ich selber Pfeilgiftfrösche und interessiere mich nach wie vor sehr für die einheimischen Amphibien. Davon gelten in der Schweiz aktuell 78% als bedroht. Als sich die Gelegenheit gab, in naturnaher Umgebung selber einen Teich anzulegen, war die Freude gross. Selbstverständlich wollte ich genau wissen, wie ein solch neu geschaffenes Gewässer von der Pflanzen- und Tierwelt aufgenommen wird. Deshalb war es naheliegend, mich in meiner Maturitätsarbeit mit diesem Teich zu beschäftigen.

Die Neuanlage eines solchen Kleingewässers bietet die Gelegenheit, die eventuellen Startschwierigkeiten und die Erstbesiedelung durch verschiedene Lebewesen gründlich und möglichst wissenschaftlich zu dokumentieren und zu untersuchen. Auch Fragen und Problemstellungen im Zusammenhang mit Biotop- und Artenschutz stehen bei einem solchen Projekt im Zentrum der Aufmerksamkeit.

Es interessierten vor allem die folgenden Fragen:

- Wie schnell können Pflanzen und Tiere ein künstlich geschaffenes Biotop besiedeln? Welche Arten können zuerst Fuss fassen? Wie läuft eine solche Besiedelung ab?
- Wie entwickelt sich die Wasserqualität und die Zusammensetzung der Artengemeinschaft im Vergleich zu bereits existierenden benachbarten Teichen?
- Kann man mit der Schaffung von künstlichen und nutzungsfreien Kleingewässern einen Beitrag zum Biotopen- und Artenschutz leisten?

In dieser Arbeit, in der die Beobachtungszeit auf etwa sieben Monate beschränkt werden musste, kann zur Beantwortung dieser Fragen nur ein bescheidener Beitrag geleistet werden. Trotzdem soll im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten eine gründliche Beschreibung und Analyse der primären Sukzession eines neu angelegten Teiches gegeben und dessen Erstbesiedelung mit der späteren Sukzession von bereits bestehenden Teichen verglichen werden.

In einem Theorieteil werden die Grundlagen für die Messungen und Beobachtungen bereitgestellt. Im Kapitel über Material und Methoden werden die Teiche beschrieben und die zur Anwendung gebrachten Tests und Materialien vorgestellt. In den Kapiteln *Resultate* und *Diskussion* werden die Ergebnisse der Untersuchungen präsentiert.

## **2 Theoretische Grundlagen**

In den folgenden Abschnitten werden die theoretischen Grundlagen, auf denen die Auswertungen und Beobachtungen im Kapitel 4 beruhen, bereitgestellt.

### **2.1 Abiotische Faktoren**

Die physikalischen, chemischen, biochemischen und physiologischen Prozesse, die sich in einem natürlichen Gewässer abspielen sind überaus komplex. Abiotische Umweltfaktoren wie Temperatur, Niederschläge, Lichtverhältnisse, die durch die Lage, die Sichttiefe und die Sonneneinstrahlung bestimmt sind, aber auch Relief, Gesteinsmaterial und Wasserqualität haben einen entscheidenden Einfluss auf das Ökosystem eines Kleingewässers. Die Menge und die Art der im Wasser gelösten chemischen Stoffe sind das Resultat der chemischen Prozesse an den Grenzflächen zwischen Gestein und Wasser (Verwitterung), Atmosphäre und Wasser (vor allem der Gasaustausch von  $O_2$ ,  $N_2$  und  $CO_2$ ) und der biologischen Prozesse. Die im Wasser enthaltenen Nährsalze und andere chemische Stoffe stehen mit den biotischen Faktoren in dauernder und komplexer Wechselwirkung. Abiotische Faktoren wie die Wassertemperatur, die Sichttiefe, der pH-Wert, die Carbonat- und Gesamthärte, die Phosphat- und Nitratkonzentration und der Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt geben Auskunft über den Zustand eines Gewässers. Diese Größen sind untereinander, aber auch mit den biotischen Faktoren, gekoppelt und stellen wichtige Indikatoren zur Beurteilung der Wasserqualität dar [1, p. 5 ff].

In den lichtdurchfluteten Wasserschichten betreiben die Produzenten, das heisst die autotrophen Organismen wie Algen und Wasserpflanzen, Fotosynthese und bauen vor allem aus den Elementen Kohlenstoff C, Sauerstoff O, Wasserstoff H, Stickstoff N und Phosphor P, welche von den Reduzenten zur Verfügung gestellt werden, energiereiche Biomoleküle auf. Da diese Moleküle bei verschiedenen Organismen im Wesentlichen aus denselben Elementen in ähnlicher stöchiometrischer Zusammensetzung aufgebaut sind, werden sie in einem bestimmten Verhältnis gebraucht. Die Entwicklung der Teich-Biozönose hängt also stark davon ab, in welchen Mengen diese Stoffe zur Verfügung stehen [1, p. 275 ff]. In den folgenden Abschnitten werden die oben aufgezählten Faktoren einzeln besprochen.

#### **2.1.1 Wassertemperatur**

Für Kleingewässer schwankt die Wassertemperatur stark mit der Umgebungstemperatur, so dass die aquatischen Organismen im Verlauf des Jahres aber auch im Verlauf eines Tages relativ grossen Temperaturschwankungen ausgesetzt sind. Tagsüber erwärmt sich

das Wasser durch die Sonneneinstrahlung und nachts kühlt es durch Abstrahlung wieder ab. Wegen der geringen Wassertiefe gibt es, abgesehen von den obersten Zentimetern des Oberflächenwassers, keine Temperaturschichtung, wie man sie von Seen kennt [2, p. 40 ff]. Im Gegensatz zu Seen können sich temperaturempfindliche Organismen also nicht in kühleren Tiefen zurückziehen. Für stenotherme Organismen, wie zum Beispiel für Rädertiere, kann deshalb die Wassertemperatur durchaus ein limitierender Umweltfaktor sein [2, p. 69]. Ausserdem hat die Temperatur einen grossen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit von chemischen und damit auch von physiologischen Prozessen [2, p. 70].

### 2.1.2 Sichttiefe

Die Sichttiefe misst die Klarheit des Wassers und damit die Eindringtiefe des Lichtes ins Wasser. Je mehr anorganische Partikel und Schwebelagen im Wasser sind, desto weniger tief kann das Licht in den Teich eindringen. In der Limnologie (Wissenschaft der Binnengewässer) dient die Secchitiefe zur Bestimmung der Tiefe der euphotischen Zone, also der Zone, in der genug Licht einfällt, dass Fotosynthese stattfinden kann [2, p. 39].

Ein Hauptgrund für die Schwankungen der Sichttiefe ist das sich zeitlich verändernde Verhältnis von Zoo- und Phytoplankton. Auf eine Phase mit trübem Wasser, das heisst mit einem Überangebot von Phytoplankton, folgt in der Regel eine Phase mit einem starken Wachstum des pflanzenfressenden Zooplanktons. Das führt zu einem Zusammenbruch der Biomasse des Phytoplanktons und damit zu einer Klarwasserphase. Diese Räuber-Beute Beziehung, bei der Algen die Beute sind, wird als Grazing bezeichnet [2, p. 257 ff].

### 2.1.3 pH-Wert

Mit dem pH-Wert misst man den Säuregrad einer wässrigen Lösung auf einer Skala von 0 bis 14. Je höher die Konzentration der Hydronium-Ionen ( $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen oder kurz  $\text{H}^+$ -Ionen) ist, desto saurer ist die wässrige Lösung, denn Säuren geben Protonen ab, sind also Protonenspende. Je höher die Konzentration der Hydroxid-Ionen ( $\text{OH}^-$ -Ionen) ist, desto basischer ist die Lösung, denn Basen nehmen Protonen auf, sind also Protonenakzeptoren. Reines Wasser ist ein Ampholyt, kann also ein Proton abgeben oder eines aufnehmen:  
$$2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}_3\text{O}^+$$

Im neutralen Zustand ist die Konzentration der Hydronium- und der Hydroxid-Ionen gleich gross. Es gilt  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{OH}^-) = 10^{-7} \text{ mol/L}$ .

Der pH-Wert ist der negative Zehnerlogarithmus der Hydronium-Ionen-Konzentration im Wasser. Der pH-Wert einer neutralen Lösung ist also gleich 7. Da es in einer sauren Lösung mehr  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen und weniger  $\text{OH}^-$ -Ionen gibt (das Produkt der beiden Konzentrationen ist bei einer bestimmten Konzentration immer konstant), ist der pH-Wert einer sauren Lösung kleiner als 7 und bei einer basischen Lösung grösser als 7 [3, p. 215 ff].

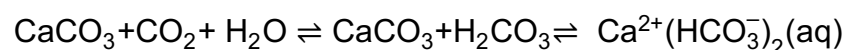
Für die meisten stehenden natürlichen Süßgewässer liegt der pH-Wert zwischen 6.5 und 8.5 [1, p. 11]. Er hängt von abiotischen Faktoren wie der Temperatur und der Menge der gelösten Gase und Mineralien, aber auch von biotischen Faktoren, wie der Konzentration der Biomasse im Teich ab. Dies lässt sich folgendermassen erklären:

Das Teichwasser wird durch den Gasaustausch mit der Atmosphäre an der Wasseroberfläche, aus den Humusschichten, durch die der oberirdische Zufluss bei Regen fließt, durch das Regenwasser und durch die Respiration von Lebewesen mit  $\text{CO}_2$  versorgt. Dieses löst sich im Wasser und liegt nicht als freies Gas vor. Ein kleiner Teil des im Wasser gelösten  $\text{CO}_2$  wird zu Kohlensäure  $\text{H}_2\text{CO}_3$  hydratisiert:  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ . Ein Teil der Kohlensäure dissoziiert zu Hydrogencarbonat-Ionen und Protonen:  $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HCO}_3^-$ . Ein Teil der  $\text{HCO}_3^-$ -Ionen dissoziieren weiter zu Carbonat-Ionen:  $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$ . Bei pH 8 gibt es fast nur  $\text{HCO}_3^-$ -Ionen [2, p. 33]. Wird dem Wasser durch die Fotosynthese-Aktivität der Pflanzen  $\text{CO}_2$  entzogen, verschiebt sich das chemische Gleichgewicht in  $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HCO}_3^-$  nach links. Damit sinkt die Konzentration der  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen, das heisst, der pH-Wert nimmt zu.

Pflanzen, die über das Enzym Carboanhydrase verfügen, können sich das benötigte  $\text{CO}_2$  aus Hydrogencarbonat-Ionen  $\text{HCO}_3^-$  beschaffen. Ist auch dieses vollständig aufgebraucht, steigt der pH-Wert bis 11 an [2, p. 123].

#### 2.1.4 Carbonathärte und Gesamthärte

Der Salzgehalt von Wasser wird durch die Konzentration der Alkali- und Erdalkalimetalle und ihren Salzen bestimmt. Im Süßwasser ist dies vor allem der Gehalt an Calciumcarbonat [4, p. 259]. In kalkhaltigen Landschaften wie dem Schweizer Mittelland wandelt die in  $\text{CO}_2$ -haltigem Wasser gelöste Kohlensäure schwerlösliches Calciumcarbonat  $\text{CaCO}_3$  des Kalksteins in leichter lösliches Calciumhydrogencarbonat  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  um:





Wird dem Wasser, zum Beispiel durch Fotosynthese,  $\text{CO}_2$  entzogen, so verschiebt sich das Gleichgewicht nach links und es kommt zur Ausfällung von Calciumcarbonat. Diesen Vorgang nennt man biogene Entkalkung [4, p. 45]. Wird dem Wasser umgekehrt durch die Respiration  $\text{CO}_2$  zugeführt, so löst sich Calciumcarbonat als Calciumhydrogencarbonat im Wasser. Diese Gleichgewichtsreaktion kann Schwankungen der  $\text{CO}_2$ -Konzentration und damit Konzentrationsschwankungen der  $\text{H}_3\text{O}^+$ - und der  $\text{OH}^-$ -Ionen ausgleichen, indem Kalk ausgeschieden oder gelöst wird. Man spricht von einer Pufferlösung, die die Eigenschaft hat, dass sich der pH-Wert wenig ändert, wenn Basen oder Säuren zugegeben werden. Die Puffer reagieren mit den Säuren und Basen, sind also selbst eine Mischung aus einer schwachen Säure und der konjugierten Base oder einer schwachen Base und der konjugierten Säure. Im Teichwasser ist die wichtigste schwache Säure Kohlensäure  $\text{H}_2\text{CO}_3$  und die konjugierten Basen sind  $\text{HCO}_3^-$  und  $\text{CO}_3^{2-}$ . Hydrogencarbonat-Ionen  $\text{HCO}_3^-$ , die  $\text{H}^+$ -Ionen abgeben oder aufnehmen können, können als Säure oder als Base reagieren [4, p. 247].

Die Carbonathärte, man nennt sie auch temporäre Härte, misst die Konzentration der Hydrogencarbonat- und Carbonat-Ionen im Wasser, unabhängig davon an welche Metall-Ionen sie gebunden sind. Die Gesamthärte misst, anders als die Carbonathärte, nicht die Konzentration der gelösten Carbonat- und Hydrogencarbonat-Ionen sondern die Gesamtmenge aller Erdalkalien. Die in der Praxis üblichen Einheiten zur Bestimmung der Härte sind "Deutsche Härte":  $1 \text{ }^\circ\text{dH} = 10 \text{ mg CaO pro Liter}$  (Karbonat wird in CaO umgerechnet und 1 Teil MgO ist äquivalent zu 1.4 Teile CaO) oder "Französische Härte":  $1 \text{ }^\circ\text{fH} = 10 \text{ mg CaCO}_3 \text{ pro Liter} = 4.01 \text{ mg Ca/Liter}$  [4, p. 259]. Der Umrechnungsfaktor ist  $1 \text{ }^\circ\text{dH} = 1.79 \text{ }^\circ\text{fH}$  [5].

Weiches Wasser, das üblicherweise als solches bezeichnet wird, wenn seine Carbonathärte weniger als  $7.5 \text{ }^\circ\text{dH}$  beträgt, ist schlecht gepuffert und damit anfällig für pH-Schwankungen, das heisst für eine Versauerung ausserhalb der Wachstumsperiode und hohe pH-Werte in der Wachstumsphase. Eine Carbonathärte von  $8 - 10 \text{ }^\circ\text{dH}$  in einem Kleingewässer wäre zur Stabilisierung des pH-Wertes wünschenswert [2, p. 33 ff].

### 2.1.5 Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff

Sauerstoff und Kohlendioxid kommen über den Austausch mit der Atmosphäre oder die Aktivität der Pflanzen in die Teiche. Tagsüber produzieren Algen, Cyanobakterien und Wasserpflanzen Sauerstoff. Die nächtliche Respiration und der Abbau von organischem Material wie Falllaub verbraucht Sauerstoff. So kommt es zu tageszeitabhängigen Schwankungen des Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidgehaltes. Der sauerstoffzehrende Abbau von

biologischem Material erfolgt bei hohen Temperaturen viel schneller als bei tiefen [2, p. 47]. Ausserdem ist zu berücksichtigen, dass die Löslichkeit von O<sub>2</sub> in Wasser auch von weiteren Faktoren wie der Temperatur, dem Umgebungsdruck oder dem Salzgehalt abhängt. Bei einer Wassertemperatur von 10°C beträgt die Löslichkeit 11.3 mg/Liter, bei 20°C noch 9.2 mg/Liter und bei 30°C nur noch 7.5 mg/Liter [1, p. 12].

Ansonsten sind es vor allem biotische und weniger physikalische Faktoren, die die Sauerstoff- und die Kohlenstoffdioxidkonzentration beeinflussen [2, p. 59].

### 2.1.6 Nitrat- und Phosphatgehalt

Neben Sauerstoff und Kohlendioxid spielt auch der Stickstoff als wesentlicher Bestandteil der Proteine im Stoffkreislauf eines Ökosystems eine wichtige Rolle. Die mit Abstand grössten Stickstoffreserven befinden sich in Form von molekularem Stickstoff in der Atmosphäre. Stickstoff ist mit 78% der Hauptbestandteil der Luft. Der gelöste elementare Stickstoff N<sub>2</sub> stellt in den natürlichen Gewässern anteilmässig die Hauptkomponente des vorkommenden Stickstoffs dar. Pflanzen können ihn aber in dieser Form nicht direkt nutzen. Sie decken ihren Stickstoffbedarf, indem sie Ammonium-, Nitrit- oder Nitrat-Ionen aufnehmen. Heterotrophe Lebewesen haben diese Möglichkeit nicht und sind für die Stickstoffzufuhr auf den Verzehr organischer Verbindungen angewiesen [6, p. 325].

Bei elektrischen Entladungen in der Atmosphäre kann sich elementarer Stickstoff N<sub>2</sub> und Sauerstoff O<sub>2</sub> zu Stickstoffoxid N<sub>2</sub>O verbinden, welches mit Regenwasser zu Salpetersäure HNO<sub>3</sub> reagiert, die dann im Teichwasser dissoziiert  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$  [7, p. 207]. Es gibt aber auch spezialisierte Bakterien, die molekularen Stickstoff N<sub>2</sub> zu Ammoniak NH<sub>3</sub> umwandeln, welches sich im Wasser zu Ammonium-Ionen NH<sub>4</sub><sup>+</sup> löst. Diese werden dann durch Bakterien unter Verbrauch von Sauerstoff zu Nitrit NO<sub>2</sub><sup>-</sup> und dann weiter zu Nitrat NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Ionen oxidiert (Nitrifikation), so dass der Stickstoff in der für Pflanzen nutzbaren Form zur Verfügung steht.

Beim Abbau von organischem Material wird der darin enthaltene Stickstoff zu Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) abgebaut und kann wiederum durch Nitrifikation biologisch verfügbar gemacht werden. Ein Teil des organisch gebundenen Stickstoffes wird durch Denitrifikation wieder in molekularen Stickstoff zurückverwandelt und der Kreislauf ist geschlossen [6, p. 325].

Wie Stickstoff ist auch Phosphor ein wichtiger Pflanzennährstoff. Er ist Bestandteil von Adenosintriphosphat (ATP), dem Energielieferanten der Zellen, der Nukleinsäure und verschiedener Enzyme. Im Ökosystem kommt Phosphor im Gegensatz zu Stickstoff fast nur

als Phosphatsäurerest  $\text{PO}_4^{3-}$  vor und wird von den Pflanzen auch nur in dieser Form aufgenommen [2, p. 401]. Die Löslichkeit der Phosphat-Ionen ist wesentlich geringer als die der Nitrat-Ionen, so dass Phosphor meist ein Minimumfaktor ist, der die Intensität der Primärproduktion limitiert [8, p. 35]. Die Rücklösung von Phosphor aus abgestorbenen Organismen und aus den Ausscheidungen der Tiere erfolgt allerdings schneller als die von Stickstoff und Kohlenstoff [2, p. 393].

## 2.2 Trophiestufen

Die in der Limnologie übliche Einteilung der stehenden Gewässer an Hand des Jahresdurchschnittes des Chlorophyll- und des Phosphorgehaltes in vier Trophiestufen (vgl. Tabelle 1) macht für so kleine Gewässer wie die beobachteten Teiche nur bedingt Sinn. Der Nährstoffgehalt verändert sich im Verlauf weniger Jahre auf Grund der Kleinräumigkeit stark. Das Falllaub eines einzigen Baumes, der neben dem Teich steht, erhöht das Nährstoffangebot für die Destruenten erheblich. Die beim Abbau freigesetzten anorganischen Verbindungen stehen dann wieder zum Aufbau zur Verfügung, was im Folgejahr zu einer Produktionssteigerung und damit zu einer Eutrophierung führt.

<b>oligotrophes Gewässer</b>	wenig Stickstoff- und Phosphatverbindungen, grosse Sichttiefe, wenig autotrophe Organismen.
<b>mesotrophes Gewässer</b>	Übergangsstadium zwischen oligo- und eutrophem Gewässer, der Nährstoffgehalt ist etwas höher, Phosphat bleibt der Minimierungsfaktor, mit zunehmender Dichte des Phytoplanktons verringert sich die Eindringtiefe des Lichtes.
<b>eutrophes Gewässer</b>	grösseren Konzentrationen an Stickstoff- und Phosphatverbindungen nährstoffreich (mehr als 1 mg/l Stickstoff, mehr als 0.5 mg/l Phosphat), die Pflanzen produzieren in gewissen Zeiten Sauerstoff über den maximalen Sättigungsgrad hinaus, verringerte Sichttiefe.
<b>polytrophes Gewässer</b>	permanentes Nährstoffüberangebot, Massenentwicklung von pflanzlichem Plankton und Sauerstoffübersättigung, geringe Sichttiefe.

Tabelle 1: Trophiestufen für stehende Gewässer [9, p. 10 ff]

## 2.3 Biotische Faktoren

Für eine längerfristige Bewertung des Wassers ist neben der Untersuchung der abiotischen Faktoren auch eine biologische Wasseranalyse wichtig, bei der die Charakterisierung des Gewässers auf Grund der darin vorhandenen Arten erfolgt. Verschiedene Arten stellen unterschiedliche Anforderungen an ihr Habitat, so dass ihr Vorkommen Rückschlüsse auf die Wasserqualität zulässt [10, p. 58].

Biotische Faktoren, also solche, die durch Lebewesen mitbestimmt werden, prägen ebenso den Ablauf der Erstbesiedelung eines Lebensraumes wie die abiotischen. Konkurrenz zwischen Artgenossen oder verschiedenen Arten, Parasiten, Feinde oder das Angebot an Beutetieren bestimmen die Wechselwirkungen und die Beziehungen zwischen den verschiedenen Lebewesen und beeinflussen das sich entwickelnde Ökosystem.

Die Arten einer Lebensgemeinschaft kann man über die Räuber-Beute-Beziehungen ordnen und durch eine mehrstufige Nahrungskette miteinander in Beziehung setzen. Die Primärproduzenten eines Teiches sind die Wasserpflanzen und der Fotosynthese betreibende Teil des Planktons. Zu den Primärkonsumenten gehört das Zooplankton und zu den Sekundärkonsumenten gehören die meisten Insektenlarven und die Amphibien. Je nach Grösse stehen Insektenlarven aber weiter oben oder unten in der Nahrungskette. Aus diesen Beziehungen ergibt sich ein komplexes Nahrungsnetz.

Auch die Artendichte (Artenabundanz) und die Individuendichte (Individuenabundanz) der vorkommenden Arten bestimmen die Lebensbedingungen in einem Biotop. Ordnet man die Arten gemäss dem prozentualen Anteil ihrer Individuenzahl an der Gesamtindividuenzahl, kann man den einzelnen Arten ihren Dominanzgrad zuordnen.

Die Abundanz aller Populationen unterliegt allerdings räumlichen und zeitlichen Schwankungen. Muster solcher Schwankungen lassen sich nur in Langzeitstudien bestimmen [2, p. 167].

## 2.4 Lebensgemeinschaft Plankton

Die Gesamtheit der frei im Wasser lebenden Organismen bezeichnet man als Plankton. Man unterscheidet nach der Zugehörigkeit zu den Reichen: bakterielles Plankton (Bakterioplankton), pflanzliches Plankton (Phytoplankton) und tierisches Plankton (Zooplankton) oder nach der Grösse: Nanoplankton (2 – 20  $\mu\text{m}$ ), Picoplankton (0.2 – 2.0  $\mu\text{m}$ ), Mikroplankton (20 – 200  $\mu\text{m}$ ) und Mesoplankton (0.2 – 20  $\mu\text{m}$ ) [4, p. 266].

### 2.4.1 Bakterioplankton

Viele Bakterien sind Destruenten, also heterotroph. Sie zerlegen abgestorbenes organisches Material in die mineralischen Bestandteile und übernehmen die Selbstreinigung der Teiche. Sie machen die anorganischen Grundbausteine für die grünen Pflanzen wieder verfügbar und haben damit eine unersetzliche Funktion im Stoffkreislauf der Teiche.

### 2.4.2 Phytoplankton

Die photoautotrophen Organismen des Planktons bilden das Phytoplankton. Es umfasst unter anderen Kieselalgen, Grünalgen, Goldalgen, Flagellaten und Cyanobakterien. Algen sind damit keine systematische, sondern eine funktionelle Einheit. Sie sind die Hauptlieferanten des Sauerstoffs der Gewässer aber auch der Erdoberfläche [11].

#### 2.4.2.1 Cyanobakterien

Mit einem Zelldurchmesser von 0.5 – 40 µm gehören Cyanobakterien zu den grössten Bakterien. Sie sind unter dem Lichtmikroskops gut zu sehen und besitzen, wie alle Bakterien, keinen Zellkern. Das Zentroplasma enthält die DNA und darum herum liegt ohne scharfe Abgrenzung das Chromatoplasma [12, p. 35]. Cyanobakterien sind keine Destruenten, sie sind photoautroph, betreiben also Fotosynthese und sind damit zusammen mit den Algen Primärproduzenten im Plankton. Obwohl sie sich in ihrer Struktur deutlich von den eukaryotischen Algen unterscheiden, hat man sie lange Zeit zu den Algen gezählt und als Blaualgen bezeichnet. Sie enthalten neben Chlorophyll a den blauen Farbstoff Phycocyanin, der für ihre blaugüne Farbe verantwortlich ist. Viele Blaualgen (z.B. Nostoc und Anabaena) können im Gegensatz zu den Eukaryoten elementaren Stickstoff ( $N_2$ ) fixieren und zu Ammonium reduzieren. Dies geschieht in den dickwandigen und fotosynthetisch inaktiven Heterocysten. Diese Fähigkeit macht aus solchen Blaualgen attraktive Symbiosepartner [11, p. 292]. Zudem sind Blaualgen in der Lage Dauerzellen, sogenannte Akineten, auszubilden, mit deren Hilfe sie ungünstige Perioden überdauern können. Durch die Einlagerung von mit Gas gefüllten Proteinstrukturen, sogenannten Gasvakuolen, sind die koloniebildenden Cyanobakterien zudem in der Lage, ihre Dichte zu regulieren und dadurch in der für sie optimalen Wasserschicht zu schweben [12, p. 35].

#### 2.4.2.2 Kieselalgen

Kieselalgen sind Einzeller. Die Zellen bestehen immer aus zwei Teilen, einem kleineren Boden und einem grösseren Deckel, der über den Boden geschoben ist. In ihren festen

Zellwänden ist Siliziumdioxid eingelagert, das sie aus Kieselsäure gewinnen. Man unterscheidet längliche, schiffchenförmige Arten (Pennales) mit einem schmalen Spalt entlang der Längsachse und zentrische Arten (Centrales). Gewisse Arten der Ordnung Pennales können sich, obwohl sie keine Geisseln haben, langsam fortbewegen. Die Kieselalgen der Ordnung Centrales sind hingegen unbeweglich [12, p. 38 ff].

#### 2.4.2.3 Grünalgen

Der Stamm der Grünalgen ist mit etwa 8'000 bekannten Arten sehr arten- und formenreich. Etwa 90% der Grünalgen leben im Plankton und Benthos (Bodenzone) des Süßwassers. Sie stehen den höheren Pflanzen näher als andere Algenarten. Sie besitzen wie diese die Fotosynthesepigmente Chlorophyll a und b, produzieren bei der Fotosynthese Stärke und haben Zellwände aus Zellulose und Pektin. Man unterscheidet Einzeller, Zellkolonien und Vielzeller. Mikroskopisch kleine Schwebalgen sind Einzeller, manche haben Geisseln und sind sehr beweglich, andere sind unbegeißelt. In Phasen, in denen sie sich stark vermehren, manche geschlechtlich andere ungeschlechtlich oder beides, schimmert das Teichwasser grünlich. Sie dienen vielen höheren Organismen als Nahrung. Die mehrzelligen Fadenalgen wachsen auf festen Sedimenten schnurförmig durch den Teich [12, p. 43].

#### 2.4.2.4 Flagellaten

Die Flagellaten sind eine Gruppe von begeißelten Einzellern des Phytoplanktons. Ihre Flagellen (Geisseln), wovon sie eine bis tausende besitzen können, dienen der Fortbewegung, zum Herbeistrudeln von Nahrung und zur Verankerung auf einem Untergrund. Man unterscheidet Augenflagellaten, zu denen die Augentierchen (Euglena) gehören, und Dinoflagellaten, die ihre beiden Geisseln in den für sie typischen Längs- und Querschnitten tragen [12, p. 40 ff].

#### 2.4.3 Zooplankton

Das Zooplankton hat als Bindeglied zwischen den Primärproduzenten und den Konsumenten höherer Ordnung eine Schlüsselrolle im Ökosystem des Teiches. Viele Zooplankter können aktive Schwimmbewegungen ausführen und bewegen sich im Verlauf eines Tages gezielt in vertikaler Richtung [2, p. 367]. Prominente Vertreter des Zooplanktons im Süßwasser sind Geisseltierchen (Zooflagellaten), Wimpertiere (Ciliaten) wie zum Beispiel das Pantoffeltierchen, Wurzelfüßer oder Amöben, Rädertiere (Rotifera) und Gliederfüßer, zu denen auch die Blatt- und Ruderfußkrebse zählen [12, p. 51 ff].

### 3 Material und Methoden

In den folgenden Abschnitten werden die Teiche, an denen die Untersuchungen gemacht wurden, beschrieben und verglichen und die für die verschiedenen Messungen und Beobachtungen verwendeten Tests und Geräte vorgestellt.

#### 3.1 Die Teiche

##### 3.1.1 Lage und Umgebung

Die vier untersuchten Teiche liegen am Südfuss des Bachtels im Zürcher Oberland zwischen den Gemeinden Oberdürnten und Wald (Abb. 1) auf dem Gelände einer ehemaligen Kiesgrube.

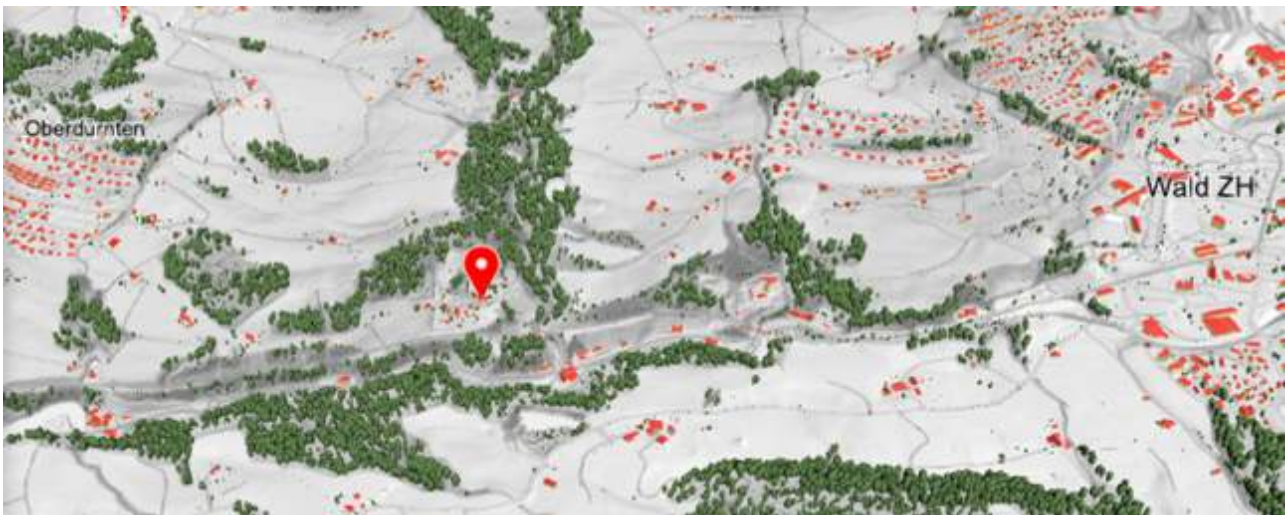


Abb. 1: Lage der ehemaligen Kiesgrube auf einem Kartenausschnitt aus dem Kartenportal der Schweizerischen Eidgenossenschaft [13], die rote Markierung zeigt die ungefähre Lage des neuen Teiches.

Drei der vier Folienteiche (vgl. Abb. 2) entstanden im Rahmen des 1998 gestarteten Programmes zum Schutz und zur Erhaltung von Amphibienlaichgewässern der Fachstelle Naturschutz des Kantons Zürich. 2005 wurden die drei Teiche regeneriert und speziell auf die Bedürfnisse von Geburtshelferkröten ausgerichtet, deren Vorkommen 2007 erstmals nachgewiesen werden konnte [14]. Seither werden die drei Teiche im Auftrag der kantonalen Fachstelle für Naturschutz von der Firma Grün-Plan regelmässig entkrautet und gepflegt, um eine zu schnelle Verlandung zu verhindern. In Abständen von etwa 10 – 15 Jahren werden die Teiche ausgebaggert und die Folien ersetzt, wodurch die Pionierarten eine neue Chance erhalten. Die Teiche wurden in die Liste der bedeutsamen Laichgewässer des Kanton Zürichs aufgenommen und liegen in einer Naturschutzzone [15].

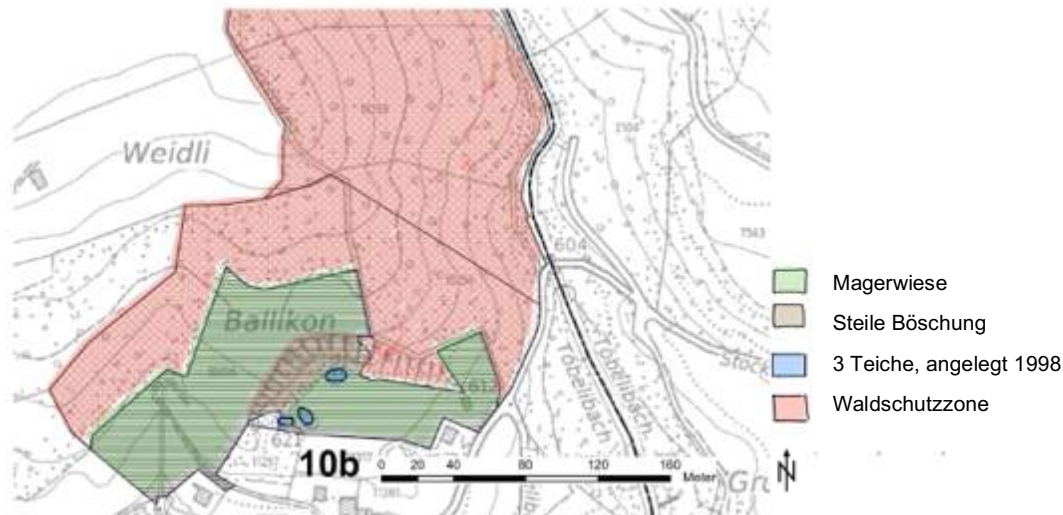


Abb. 2: Karte aus der Verfügung über den Schutz des Waldstandortes von naturkundlicher Bedeutung [15, p. 7], Objekt Nr. 10b: Trockenstandort Loorentobel-Ballikon, Naturschutzzone I und Waldschutzzone IVA

Anfang 2018 beschloss ich zusammen mit meiner Familie in unserem Garten, der unmittelbar an das Naturschutzgebiet angrenzt, einen weiteren, etwas grösseren und tieferen Folienteich anzulegen. Abb. 3 zeigt die Lage der vier Teiche auf einem Kartenausschnitt.

Die drei Teiche im Naturschutzgebiet werden in dieser Arbeit mit den Zahlen 2, 3 und 4 nummeriert. Der neu angelegte Teich trägt die Nummer 1.

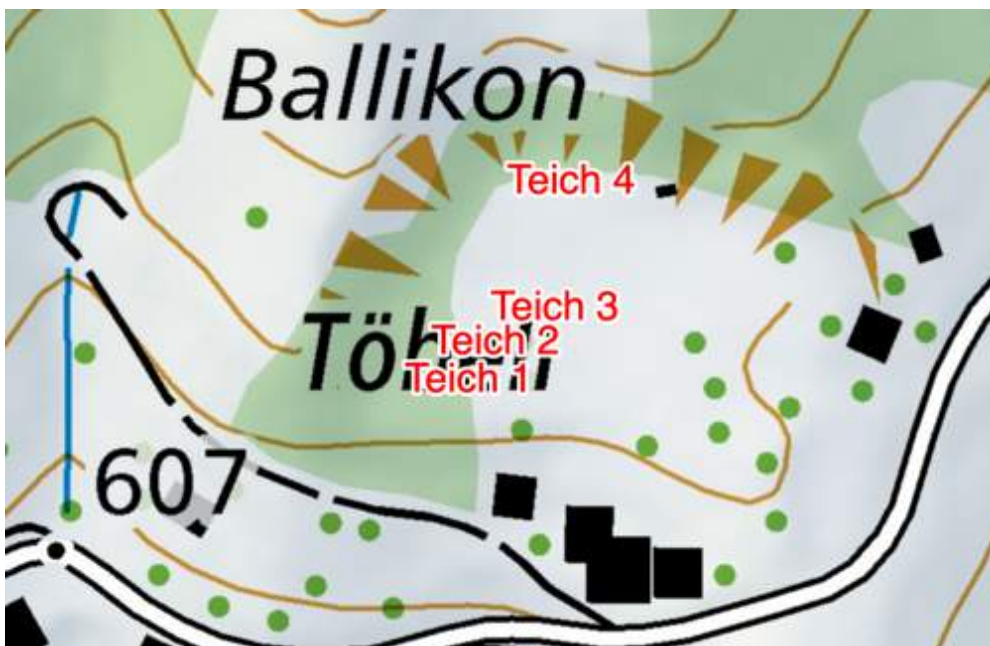


Abb. 3: Kartenausschnitt mit Markierungen aus dem Kartenportal der Schweizerischen Eidgenossenschaft [13]

Die Teiche befinden sich auf dem Gebiet einer stillgelegten Kiesgrube (vgl. Abb. 4), in der Schotter abgebaut wurde, und ist vom Amt für Abfall, Wasser und Energie (AWEL) des Kanton Zürich als inaktive Rutschung erfasst [16, p. 28]. Das Gestein ist vorwiegend Sedimentgestein aus Nagelfluhbänken, Sandstein und Mergel (vgl. Abb. 5).



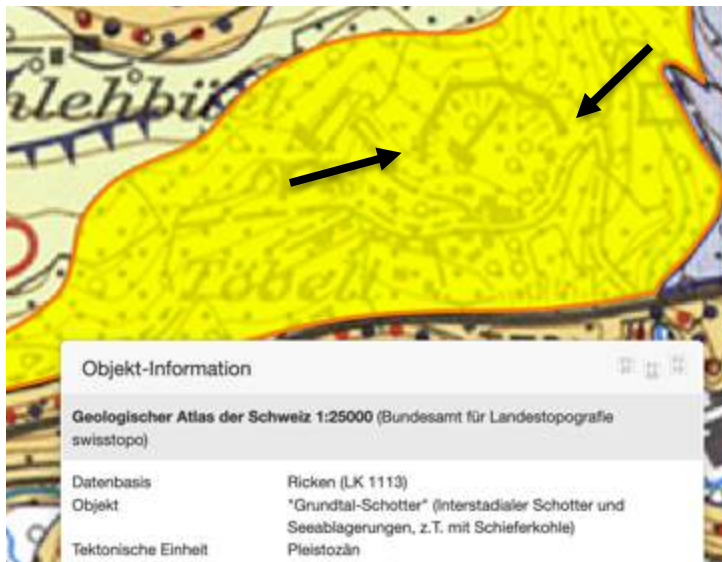


Abb. 4: Lage der stillgelegten Kiesgrube auf einem Ausschnitt aus der geologischen Karte der Schweiz [13]



Abb. 5: Sandstein und Konglomerat

Die folgenden drei Bilder geben einen Überblick über die Lage der vier Teiche (Abb. 6, Abb. 7 und Abb. 8). Die Blickrichtung ist jeweils nach Süden ausgerichtet.



Abb. 6: Die Teiche im März 2019



Abb. 7: Die Teiche im Mai 2019

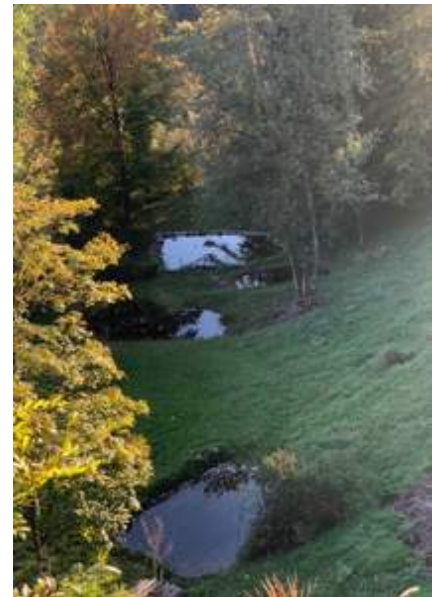


Abb. 8: Die Teiche im Oktober 2019

Es wird angenommen, dass die Anbindung an eine kleine Teichlandschaft, eine südexpionierte, zum Teil nur wenig bewachsene Kieswand (Abb. 9), ein kleines Wäldchen in unmittelbarer Nähe und ein grösserer Wald mit Bachtobel in etwa 100 m Entfernung, eine Naturwiese, verschiedene Sträucher, Holzbeigen und Steinhäufen (Abb. 10) günstige Voraussetzungen für eine rasche Besiedelung eines weiteren Teiches bereitstellen. Eine solche Umgebung bietet Amphibien verschiedenartige Verstecke und einfache Migrationsmöglichkeiten zwischen den Teichen und potentiellen Landstandorten.





Abb. 9: Lage der Teiche am Ende eines Abtragungshangs einer stillgelegten Kiesgrube



Abb. 10: Steinhaufen als Unterschlupf für Amphibien

Die beiden Teiche 1 und 2 sind nur durch einen schmalen Streifen von etwa 3 m Breite voneinander getrennt, so dass bei hohem Wasserstand Wasser vom Teich 2 in den Teich 1 fließen kann. Am oberen Rand des steilen Abhanges gibt es eine Quelle, die nur bei sehr starker Trockenheit versiegt und die für die Befeuchtung des darunterliegenden Geländes sorgt. Ein altes Rohr unter einem alten Baumstrunk, an der Austrittsstelle des Wassers zeugt von einer früheren Fassung der Quelle (Abb. 11). Das meiste Wasser sickert aber in einer Höhle (Abb. 11) unter dem unterspülten Wurzelballen des Baumstrunks aus der Kieswand (Abb. 12).



Abb. 11: Alte Fassung an der Oberkante der Kieswand



Abb. 12: Moosüberwachsene Austrittsstelle des Quellwassers in der Höhle unter dem Baumstrunk

### 3.1.2 Anlegung von Teich 1 und Teich 4

Die Planung und das Anlegen von Teich 1 fanden im Frühling und Sommer 2018 statt. Den Aushub und das Verlegen der Folie wurden durch einen Landschaftsgärtner ausgeführt. Der Teichrand wurde erst im Frühling 2019 vollständig mit Steinen befestigt und im Sommer mit einigen Pflanzen bestückt.

Damit sich in einem späteren Sukzessionsstadium auch Kammmolche ansiedeln könnten, wurde auf eine ausreichende Tiefe geachtet. Die Tiefenzone misst an der tiefsten Stelle 150 cm und hat eine Grundfläche von etwa 3 m<sup>2</sup>. Ein terrassenartiges Profil sorgt für unterschiedliche Wassertiefen mit einer Flachwasserzone von 20 – 40 cm Tiefe und einer Breite von 30 – 120 cm (Abb. 13 und Abb. 14). Die Uferzone ist je nach Wasserstand unterschiedlich breit und hat sich im Lauf der Beobachtungszeit durch Pflanzenbewuchs und Wasserstandschwankungen erheblich verändert. Im Unterschied zu den anderen Teichen ist der Wasserstand von Teich 1 regulierbar und der Teich kann bei Bedarf trockengelegt werden.



Abb. 13: Teich 1, Mai 2018



Abb. 14: Tief- und Flachwasserzone in Teich 1

Teich 4 wurde anfangs 2018 regeneriert, das heisst ausgebaggert und mit einer neuen Folie versehen (vgl. Abb. 15), so dass sich die Teiche 1 und 4 in einem frühen, die Teiche 2 und 3 in einem deutlich späteren Sukzessionsstadium befinden und damit einen anderen Pflanzenbewuchs zeigen.



Abb. 15: Teich 4, 11. März 2018



### 3.1.3 Die vier Teiche im Vergleich

Um die in Kapitel 4 gemachten Beobachtungen besser interpretieren zu können, werden die vier Teiche im Folgenden kurz beschrieben und verglichen. Trotz ihrer Nähe unterscheiden sie sich deutlich. Neben Alter, Lage, Form und Tiefe sind es auch die unterschiedliche Besonnung und der unterschiedliche Pflanzenbewuchs, die das Mikroklima der vier Teiche prägen.

Keiner der vier Teiche hat einen direkten Zufluss und wegen der Folie gibt es keine Unterwasserspeisung. Die Wasserspeisung erfolgt somit durch Regenwasser und durch Zulauf aus dem Uferbereich. Durch die geringe Wassertiefe gibt es keine Schichtung, das Wasser wird regelmässig und vollständig durchmischt und die Nährstoffe, die mit dem zufließenden Wasser, durch Tiere und Falllaub in den Teich gelangen, werden verteilt. Es gibt keine Zone ohne Licht, was eine hohe Fotosyntheseleistung und Biomassenproduktion mit sich bringt.

Die folgende Bildertabelle (Tabelle 2) gibt einen Eindruck über die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede zwischen den vier Teichen.

















	Teich 1	Teich 2	Teich 3	Teich 4
März				
Mai/Juni				
Juli/August				
Oktober				

Tabelle 2: Die Teiche im Verlauf des Jahres

Mit Abb. 16 und Tabelle 3 werden die Teiche bezüglich ihrer Abmessungen verglichen. Abb. 16 zeigt die maximale Breite und Länge der Wasseroberfläche, Tabelle 3 die maximale Wassertiefe, die ungefähre Wasseroberfläche und das ungefähre Wasservolumen. Diese Größen hängen alle vom Wasserstand ab, welcher in der Beobachtungsperiode je nach Niederschlag Schwankungen von bis zu 30 cm unterworfen war. Die angegebenen Zahlen sind zeitliche Durchschnittswerte. Das Wasservolumen wurde durch das Volumen eines Zylinders, dessen Höhe die geschätzte durchschnittliche Wassertiefe ist und dessen Grundfläche der Teichoberfläche entspricht, abgeschätzt.

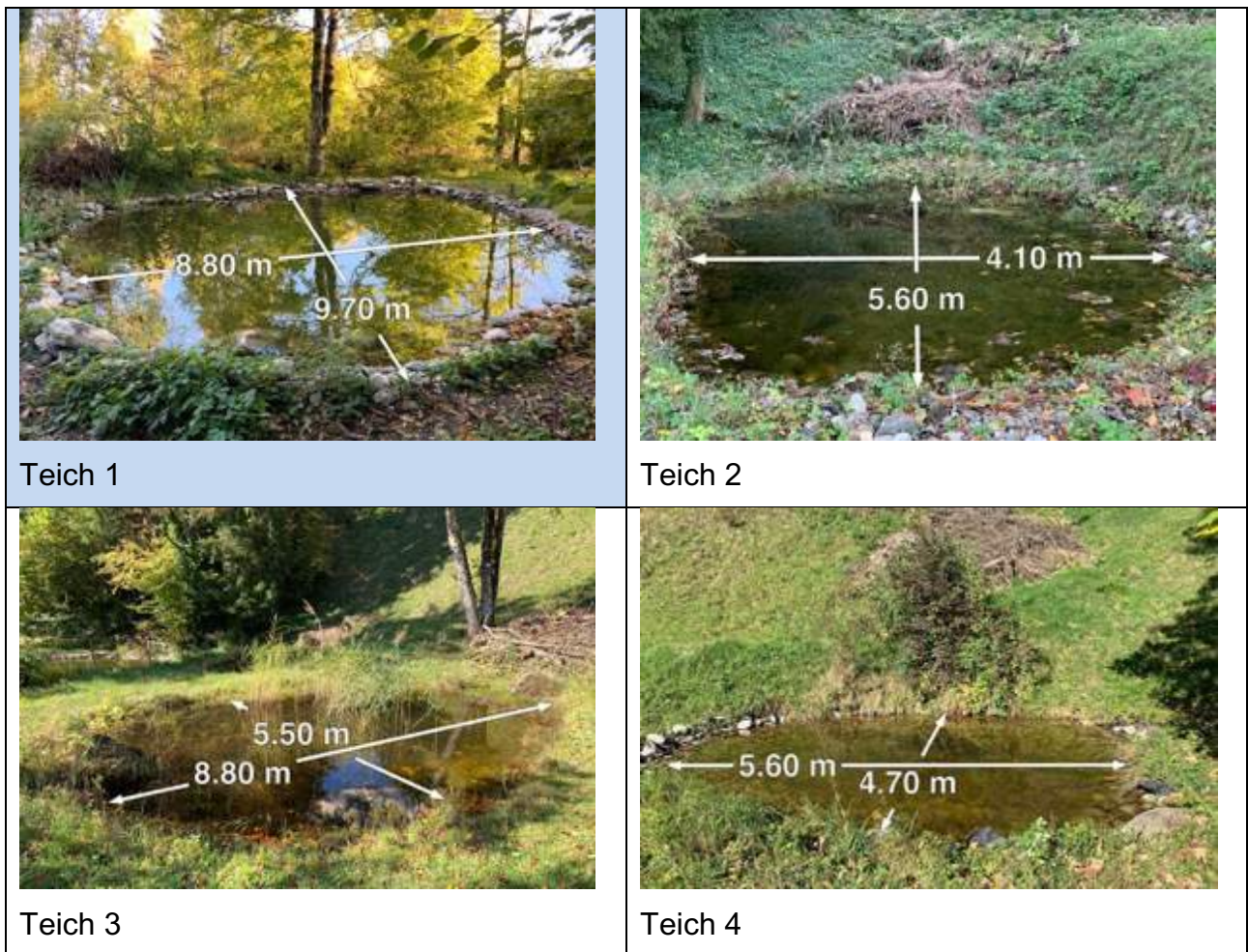


Abb. 16: Masse der Teiche

	Teich 1	Teich 2	Teich 3	Teich 4
<b>Maximale Tiefe</b>	150 cm	70 cm	80 cm	70 cm
<b>Oberfläche</b>	60 m <sup>2</sup>	20 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup>	25 m <sup>2</sup>
<b>Wasservolumen</b>	40 m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>	15 m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>

Tabelle 3: Wassertiefe, Wasseroberfläche und Wasservolumen



## 3.2 Abiotische Faktoren

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die folgenden Wasserwerte für die vier Teiche gemessen.

### 3.2.1 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur der Teiche wurde im Zeitraum von April bis Oktober 12-mal gemessen. Verwendet wurde dazu ein digitales Thermometer mit einem externen Temperaturfühler. Gemessen wurde die Wassertemperatur ungefähr 10 cm unter der Oberfläche jeweils am späteren Nachmittag.

### 3.2.2 Sichttiefe

Die Sichttiefe wurde mit einer sogenannten Secchi-Scheibe gemessen. Das ist ein einfaches Gerät, das von Angelo Secchi im 19. Jahrhundert entwickelt wurde [17]. Es besteht aus einer Scheibe, auf der zwei weiße und zwei schwarze Sektoren markiert sind, die auf einer Seite an einer mit Längenmarkierungen versehenen Schnur befestigt und auf der anderen Seite mit einem Gewicht versehen ist. Die Scheibe wird ins Wasser abgesenkt, bis sie gerade nicht mehr sichtbar ist. Die Distanz zwischen Scheibe und Wasseroberfläche kann an der Schnur abgelesen werden und entspricht der Sichttiefe (Abb. 17 – Abb. 19).



Abb. 17: Secchi-Scheibe aus einer alten CD



Abb. 18: Secchi-Scheibe wird im Wasser versenkt

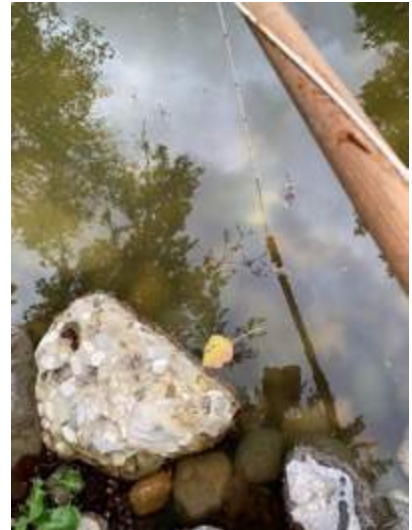


Abb. 19: Secchi-Scheibe, kurz vor der Sichtbarkeitsgrenze

Während der Phasen der Algenblüte wurde jeweils die das Wasser bedeckende Algen-schicht etwas zur Seite geschoben, um die Sichttiefe zu messen.

### 3.2.3 pH-Wert

Zur Bestimmung der pH-Werte des Teichwassers wurden zunächst für eine bessere Absicherung der Messresultate zwei verschiedene Tests eingesetzt. Beide Tests verwenden einen Universalindikator mit einer Farbvergleichsskala. Es hat sich aber schnell gezeigt, dass die so abgelesenen pH-Werte nicht sehr genau sind, und für präzisere Messungen ein elektronisches pH-Meter verwendet werden muss, das die von den OH<sup>-</sup>-Ionen erzeugte Spannung misst. Für die Messungen wurde ein pH-Meter (LLG-pH Meter 5, LLG Labware) mit Elektrode verwendet. Die Messgenauigkeit des Gerätes liegt bei  $\pm 0.02$ .

Da der pH-Wert mit der Fotosynthese-Aktivität der Pflanzen steigt, also im Lauf des Tages zunimmt und in der Nacht wieder sinkt, ist es für einen direkten Vergleich im zeitlichen Verlauf wünschenswert, die Messungen immer um die gleiche Tageszeit durchzuführen. Das wurde so gut als möglich eingehalten. Die Messungen wurden jeweils zwischen 16:00 und 19:00 durchgeführt.

### 3.2.4 Gesamt- und Carbonathärte

Die für die Messungen der Carbonat- und der Gesamthärte verwendeten Tests sind einfach zu handhabende Tropfentests (KH- und GH-Test der Firma JBL), bei denen die Anzahl der zugegebenen Tropfen der Härte in der Einheit °dH entspricht. Die im Abschnitt 4.1.4 angegebenen Messwerte sind deshalb alle ganzzahlig und werden ebenfalls in °dH angeben, da eine Umrechnung in die in der Schweiz geläufigere "Französische Härte" die Messresultate unnötig verfälschen würde. Die Messgenauigkeit des Tests muss auf Grund der Wahl der Masseinheit mit  $\pm 1^\circ\text{dH}$  angegeben werden. Das Messresultat des verwendeten Tests stützt sich auf die Beobachtung eines Farbumschlags der Testlösung, so dass äussere Faktoren wie die Lichtverhältnisse und das Farbempfinden der testenden Person eine Rolle spielen können.

### 3.2.5 Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffgehalt

Da zur Messung der Menge des im Wasser gelösten Kohlendioxids die Verwendung eines festinstallierten Langzeittests nötig war (vgl. Abb. 20), wurde der CO<sub>2</sub>-Gehalt nur im Teich 1 bestimmt. Verwendet wurde der "CO<sub>2</sub>-Langzeittest Correct + pH" der Firma Dennerle, der mit einer Indikatorflüssigkeit arbeitet, die nicht mit dem Teichwasser vermischt werden muss, sondern pur verwendet wird. Die Farbtabelle (Abb. 21), anhand der der CO<sub>2</sub>-Gehalt in mg/Liter auf Grund der Farbe der Indikatorlösung und der gemessenen Carbonathärte

abgelesen wird, zeigt die grosse Messunsicherheit des Tests. Die Messskala ist mit nur sechs unterschiedlichen Messwerten sehr grob. Die Farbtabelle in Abb. 21 nützt die Abhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Konzentration von der Carbonathärte und dem pH-Wert und tabelliert diesen. So ergibt sich die Möglichkeit die theoretischen pH-Werte mit den gemessenen Werten zu vergleichen.



Abb. 20: Langzeittest für CO<sub>2</sub>

**CO<sub>2</sub> Langzeittest Correct**

CO <sub>2</sub> mg/l	pH KH 3	pH KH 4	pH KH 5	pH KH 6	pH KH 7	pH KH 8	pH KH 9	pH KH 10	pH KH 11	pH KH 12	pH KH 13	pH KH 14
120	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6,5	6,5	6,5	6,6
80	6,1	6,3	6,4	6,4	6,4	6,5	6,6	6,6	6,6	6,7	6,7	6,7
40	6,4	6,5	6,6	6,7	6,7	6,8	6,9	6,9	6,9	7,0	7,0	7,0
20	6,7	6,8	6,9	7,0	7,0	7,1	7,2	7,2	7,2	7,3	7,3	7,3
10	7,0	7,1	7,2	7,3	7,3	7,4	7,4	7,5	7,5	7,6	7,6	7,6
2	7,6	7,8	7,9	7,9	8,0	8,0	8,0	8,1	8,1	8,2	8,2	8,2

Abb. 21: Farbtabelle für den CO<sub>2</sub>-Test

Der Sauerstoffgehalt wurde für alle vier Teiche bestimmt. Der verwendete Sauerstofftest (O<sub>2</sub> -Test, der Firma JBL) bestimmt den Sauerstoffgehalt durch einen Farbvergleich des mit drei Reagenzien versehenen Teichwassers mit den Farbfeldern einer Farbtafel (vgl. Abb. 21 und Abb. 22). Da aber auch bei diesem Test das Resultat aufgrund eines Farbvergleichs erfolgt und vom subjektiven Farbempfinden und von den Lichtverhältnissen zum Zeitpunkt des Ablesens abhängt, muss bei der Verwendung dieses Tests eine Messunsicherheit von mindestens  $\pm 1$  mg/Liter in Kauf genommen werden.



Abb. 22: Sauerstofftest vom 23.7.2019

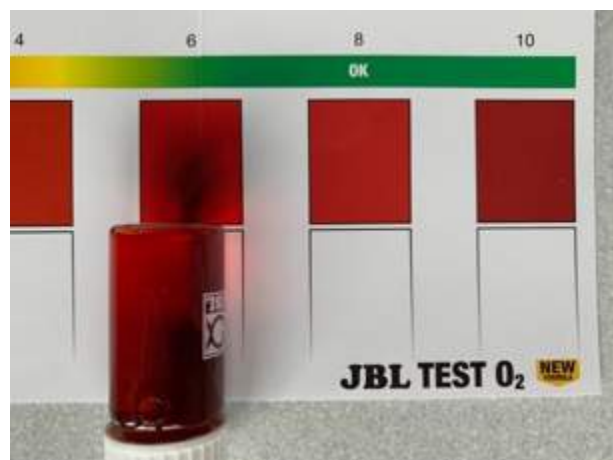


Abb. 23: Sauerstoff-Test, 25.5.19



### 3.2.6 Nitrat- und Phosphatgehalt

In der Messperiode von April bis Oktober wurde in den vier Teichen der Nitrat- und Phosphatgehalt mit den in der Aquaristik und für Gartenteiche gebräuchlichen Tests der Firma JBL bestimmt. Die Tests arbeiten, wie der Sauerstoff- und der Kohlendioxidtest, mit Farbvergleich und haben, wie sich herausgestellt hat, für die Teiche eine zu hohe Nachweisgrenze.

### 3.3 Biotische Faktoren

Die Methode zur Untersuchung der biotischen Faktoren waren die Freilandbeobachtung und für die planktischen Organismen das Mikroskopieren.

Die Freilandstudien bestanden im Wesentlichen aus Warten, Beobachten, Fotografieren und Skizzieren. Die Tiere und Pflanzen wurden in ihrer natürlichen Umgebung untersucht und nur in wenigen Ausnahmefällen kurz aus dieser entfernt. Zur Dokumentation wurden über 5'000 Fotos und viele Skizzen gemacht und aussergewöhnliche Beobachtungen schriftlich festgehalten. Fotografiert wurde mit der spiegellosen Systemkamera Olympus OM-D E-M5 (Baujahr 2012) und einem Makroobjektiv mit der Brennweite 60 mm und der Blende f/2.8. Da viele Teichbewohner, insbesondere die Amphibien, nachtaktiv sind, musste meistens mit einer Taschenlampe oder Stirnlampe beleuchtet werden.

Die Wasserproben für die mikroskopischen Untersuchungen wurden den Teichen entweder mit einem Planktonnetz der Maschenweite 100 x 100 µm oder einfach mit Plastikbechern entnommen. Daraus wurden anschliessend möglichst schnell Präparate erstellt oder die Proben wurden direkt in flachen Petrischalen mikroskopiert. Das zur Untersuchung verwendete Lichtmikroskop ist mit einem 4-, einem 10- und einem 40-fach vergrössernden Objektiv ausgestattet. Zusammen mit dem 10-fach vergrössernden Okular ermöglicht das Mikroskop eine 40 – 400-fache Gesamtvergrösserung. Mit der Zoomfunktion des zum Fotografieren verwendeten Handys konnten die Bilder nochmals mit dem Faktor 10 vergrössert werden, so dass Objekte im Mikrometerbereich sichtbar gemacht werden konnten.

Zur Bestimmung und Beschreibung der Mikroflora und Mikrofauna im Abschnitt 4.3 wurden die Standardwerke "*Was lebt im Wassertropfen*" [12] und der "*Kosmos Algenführer*" [11] verwendet. Die Informationen zur Identifikation der Wirbellosen im Abschnitt 4.4 stammen aus den beiden Bestimmungsbüchern "*Süsswassertiere*" von Helmut Schwab [18] und "*Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher*" von Wolfgang Engelhardt [10].

Zur Bestimmung der Libellenarten im Abschnitt 4.4.4 wurde zusätzlich der Bestimmungsschlüssel von "*Libellenschutz ch*" zu Rate gezogen [19].

Die Informationen im Abschnitt 4.5 über die Amphibien stammen hauptsächlich aus dem Buch "*Auf Schlangenspuren und Krötenpfaden, Amphibien und Reptilien der Schweiz*" von Andreas Meyer u.a. [20]. Zur Artenbestimmung wurde ergänzend der Amphibienbestimmungsschlüssel von "*info fauna CSCF&karch*" verwendet [21].

Im Rahmen dieser Arbeit ist es bei weitem nicht möglich, die in den Teichen vorkommenden Arten vollständig zu erfassen. Auch eine zuverlässige Schätzung der Populationsanteile ist nur bei gewissen Arten, zum Beispiel bei den Amphibien und bei gewissen Algenarten, möglich. Für eine quantitative Bestandesaufnahme ist die Stichprobenzahl zu klein und die Veränderung der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften zu schnell.

## 4 Resultate: Messungen und Beobachtungen

In diesem Kapitel werden die Resultate der Messungen und Beobachtungen der im Kapitel 2 beschriebenen Faktoren zusammengetragen.

### 4.1 Abiotische Faktoren

In den ersten beiden Abschnitten werden die Ergebnisse der Untersuchung der physikalischen Faktoren "Wassertemperatur" und "Sichttiefe" und im dritten Abschnitt die Resultate der Untersuchung der Wasserwerte dargestellt.

#### 4.1.1 Wassertemperatur

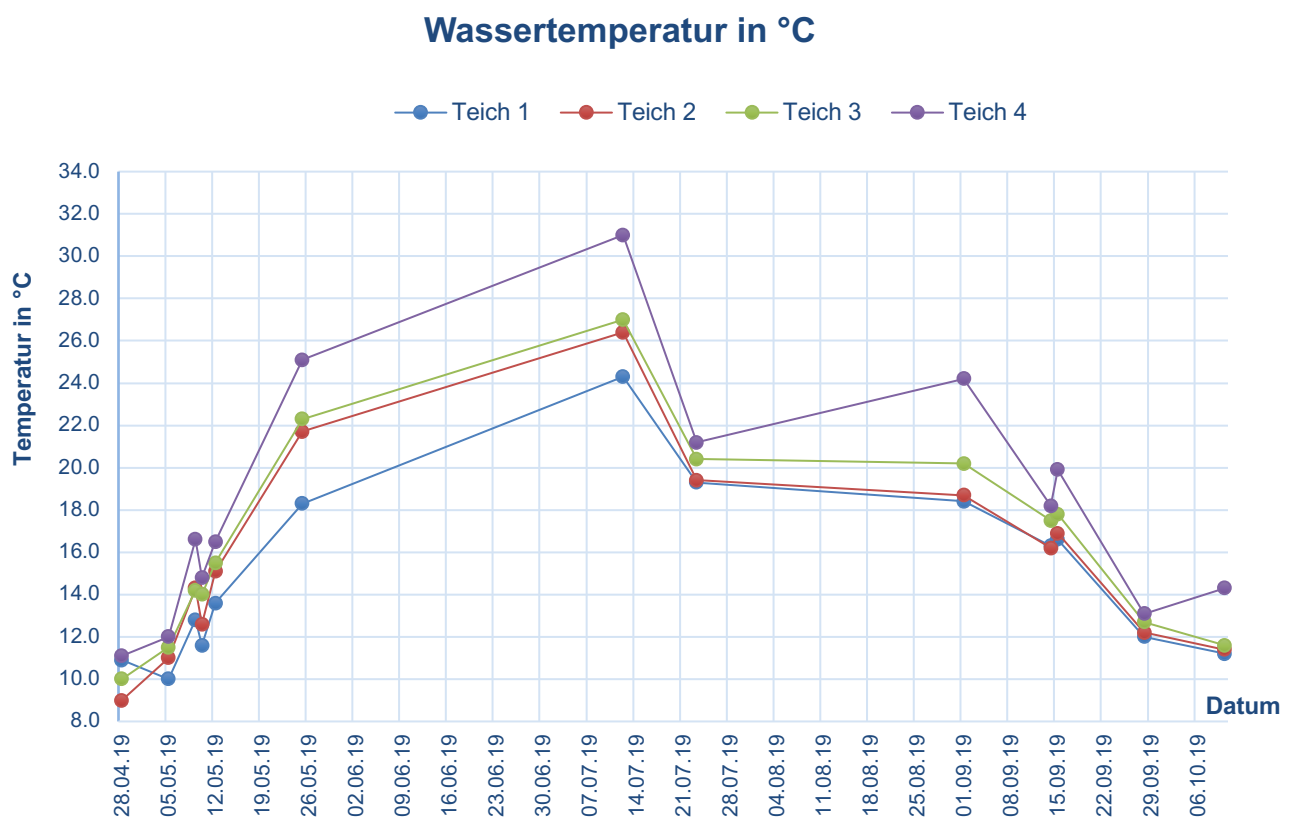


Abb. 24: Wassertemperatur in den vier Teichen von April bis Ende Oktober

Bei den meisten Messungen nimmt die Temperatur zusammen mit der Dauer der Sonneneinstrahlung auf den Teich und deshalb mit aufsteigender Teichnummer zu. Teich 1 ist also am kältesten und Teich 4 am wärmsten. Bei höheren Umgebungstemperaturen erwärmt sich das Wasser von Teich 4 auf Grund seiner sonnenexponierten Lage überproportional stark. Wegen des kleinen Wasservolumens sind für alle vier Teiche sowohl die tageszeitlichen als auch die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen sehr deutlich ausgeprägt.

## 4.1.2 Sichttiefe

Da die vier Teiche unterschiedliche Tiefen aufweisen und in den Teichen 2, 3 und 4 die Sichttiefe oft bis zum Grund reichte (Abb. 25), macht der direkte Vergleich der Sichttiefe nur beschränkt Sinn. Ausserdem sind wegen der Unebenheit des Untergrundes und des an der Secchi-Scheibe befestigten Gewichtes die Messungen mit einer Ungenauigkeit von  $\pm 5$  cm behaftet.

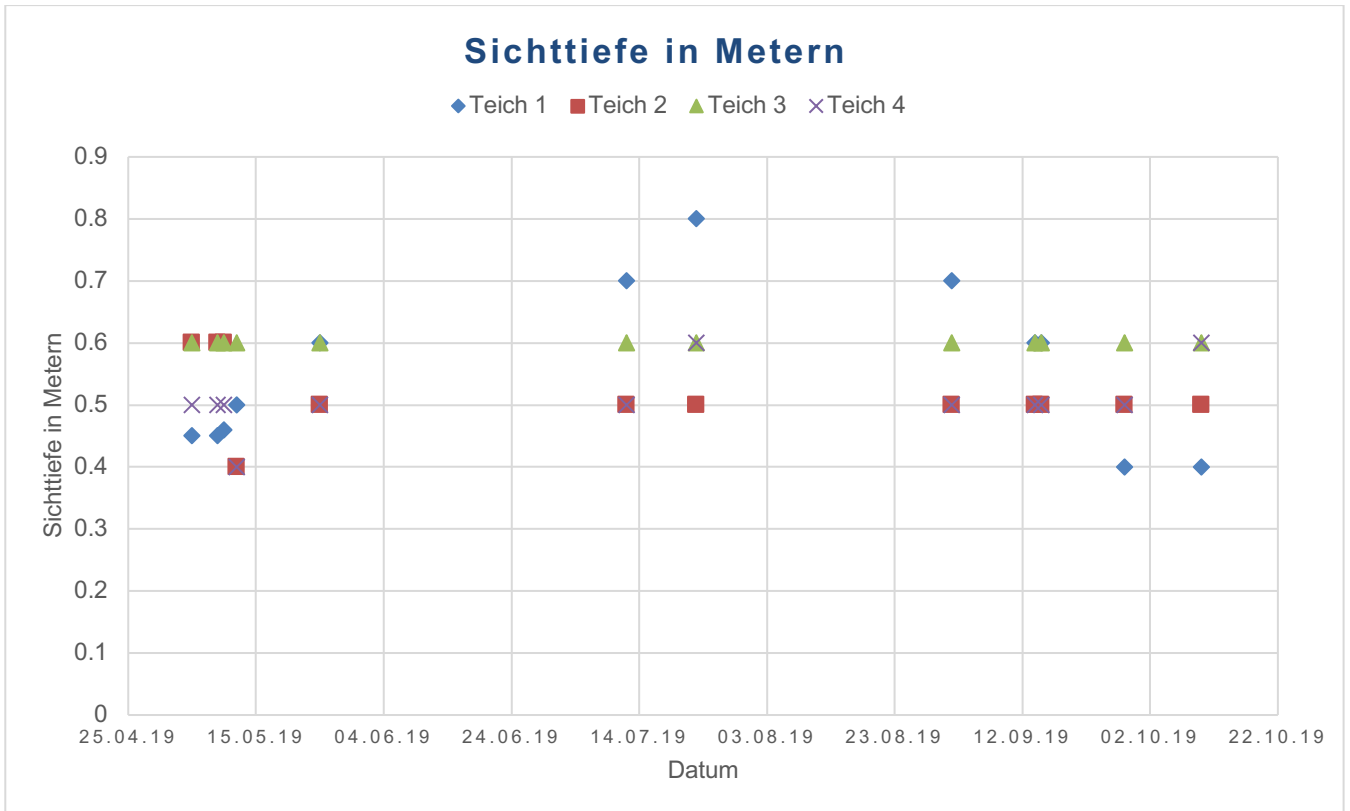


Abb. 25: Sichttiefe in den vier Teichen von April bis Ende Oktober

Die stärksten Schwankungen der Sichttiefe gab es im Teich 1 (vgl. Abb. 25). Auf eine Phase mit viel Schwebealgen und geringer Sichttiefe im Frühling folgte eine Klarwasserphase im Sommer. Gegen den Herbst hin nahm die Sichttiefe wieder ab. In den anderen Teichen blieb die Sichttiefe trotz der periodisch auftretenden Massenvermehrungen der Fadenalgen unter dem oberflächlichen Algenteppich relativ konstant. Insgesamt gab es in den neu angelegten Teichen 1 und 4 deutlich mehr Schwebealgen und abiotische Schwebeteilchen als in den Teichen 2 und 3. Das führte zwar zu trübem Wasser, war aber wahrscheinlich einer der Gründe, warum sich die Fadenalgen auf Grund von Lichtmangel in den Teichen 1 und 4 nur sehr spärlich und nur am Teichrand entwickeln konnten und diese beiden Teiche, im Gegensatz zu den Teichen 2 und 3, von einer Fadenalgenblüte verschont blieben.

### 4.1.3 pH-Wert

Die in den vier Teichen gemessenen pH-Werte sind in der folgenden Abb. 26 dargestellt.

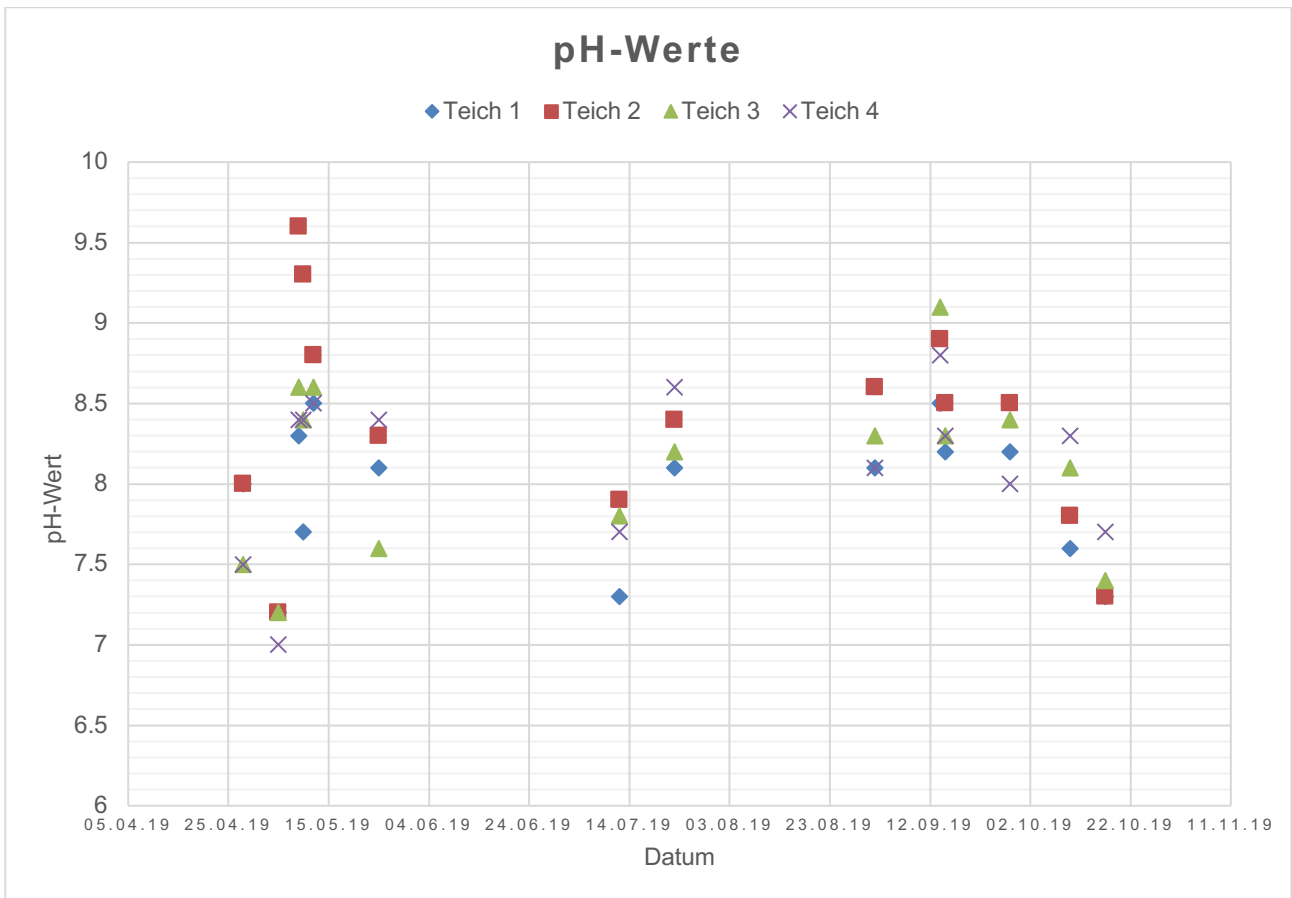


Abb. 26: pH-Werte in den vier Teichen von April bis Ende Oktober

Die gemessenen pH-Werte liegen alle zwischen 7 und 9.6. Der Durchschnittswert beträgt im Teich 1  $\overline{pH}_1 = 7.9$ , im Teich 2 ist er  $\overline{pH}_2 = 8.3$  und in den Teichen 3 und 4  $\overline{pH}_3 = \overline{pH}_4 = 8.1$ . In den beiden "jüngeren" Teichen 1 und 4 schwanken die Werte weniger stark als in den beiden Teichen 2 und 3. Die Standardabweichung der gemessenen pH-Werte liegt in den Teichen 1 und 4 unter 0.5, in den Teichen 2 und 3 über 0.5. Mit einer Standardabweichung von 0.66 sind die Schwankungen des pH-Wertes im Teich 2 am grössten.

Dies ist eine Folge des deutlich höheren Pflanzenbesatzes und des Wachstums der Fadenalgen in den Teichen 2 und 3. Wie im Abschnitt 2.1.3 beschrieben, nimmt der pH-Wert mit steigender Fotosyntheserate zu. Dies konnte vor allem im Teich 2 während der Algenblüte im Mai gemessen werden (vgl. Abb. 26). Teich 1 und 4 sind als Gewässer in ihrer ersten Vegetationsperiode noch nährstoffärmer und haben noch wenig Pflanzenbewuchs durch Makrophyten und Fadenalgen. Es kommt dadurch noch nicht zu einer stark ausgeprägten Zehrung von  $CO_2$  und die Schwankungen des pH-Wertes sind kleiner.

#### 4.1.4 Carbonathärte und Gesamthärte

Die in der Tabelle verwendeten Abkürzungen KH<sub>1</sub> bis KH<sub>4</sub> und GH<sub>1</sub> bis GH<sub>4</sub> bezeichnen die Carbonat- bzw. Gesamthärte in °dH in den Teichen 1 bis 4.

<i>Datum</i>	<b>KH<sub>1</sub></b>	<b>KH<sub>2</sub></b>	<b>KH<sub>3</sub></b>	<b>KH<sub>4</sub></b>	<b>GH<sub>1</sub></b>	<b>GH<sub>2</sub></b>	<b>GH<sub>3</sub></b>	<b>GH<sub>4</sub></b>
<b>28.04.19</b>	6	5	6	6	6	6	5	6
<b>05.05.19</b>	6	6	6	6	7	6	6	6
<b>10.05.19</b>	5	5	5	5	6	6	6	6
<b>25.05.19</b>	5	4	4	5	5	5	5	5
<b>12.07.19</b>	7	5	5	5	6	5	5	5
<b>23.07.19</b>	6	6	5	6	6	5	5	5
<b>01.09.19</b>	5	6	5	5	5	5	4	4
<b>14.09.19</b>	4	5	4	4	4	6	4	5
<b>28.09.19</b>	4	5	4	4	5	5	5	5
<b>10.10.19</b>	5	5	4	5	5	5	5	5
<b>17.10.19</b>	5	6	5	6	5	6	5	5
<b>Mittelwert</b>	5.3	5.3	4.8	5.2	5.5	5.5	5.0	5.2

Tabelle 4: Carbonat- und Gesamthärte in den vier Teichen von April bis Ende Oktober

Die gemessenen Werte bewegen sich sowohl für die Carbonat- als auch für die Gesamthärte im Bereich von 4 – 7 °dH, d.h. 7 – 13 °fH. Die Unterschiede der Messresultate für die vier Teiche sind aber zu geringfügig, um etwas Stichhaltiges daraus ableiten zu können.

Im Vergleich mit den Werten anderer natürlicher Gewässer im Kanton Zürich handelt es sich um sehr weiches Wasser (Zum Vergleich: der Zürichsee hat eine Härte von 14 – 19 °fH [22]). Ein Grund dafür liegt darin, dass die Teiche hauptsächlich durch mineralstoffarmes Regenwasser gespeist werden. In den Phasen mit starkem Pflanzenwachstum oder häufigen Regenfällen konnte ein leichtes Absinken der Carbonathärte beobachtet werden. Die Monate August und September waren innerhalb der Beobachtungsphase die Monate mit den grössten Niederschlagsmengen (vgl. Abb. 27) und der Monat September war der Monat mit den tiefsten Werten für die Wasserhärten.

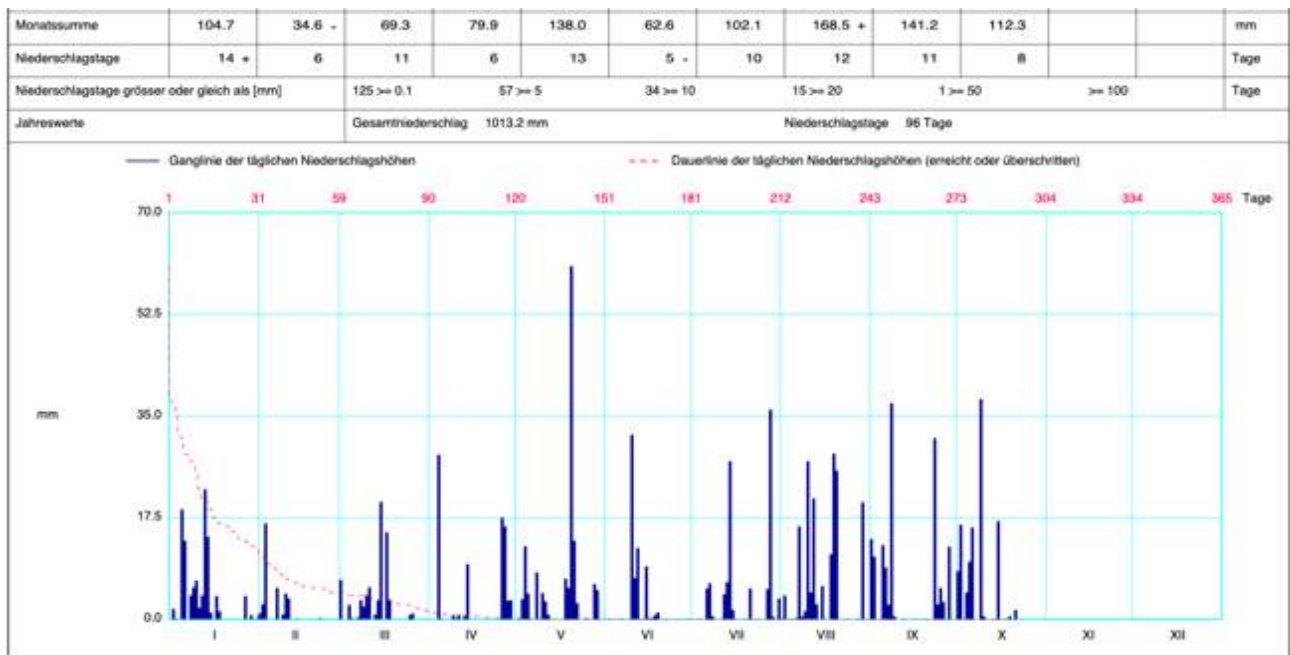


Abb. 27: Niederschlagsmengen der Messstation Rapperswil-Jona [23]

#### 4.1.5 Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff

Die folgende Tabelle enthält die von April bis Oktober gemessenen Kohlendioxidwerte, pH-Werte und die Carbonathärten.

Datum	pH	KH	CO <sub>2</sub>
28.04.	8	6	< 2 mg/l
05.05.	7.2	6	ca. 10 mg/l
10.05.	7.7	5	zwischen 2 und 10 mg/l
12.07.	7.3	7	ca. 10 mg/l
23.07.	8.1	6	< 2 mg/l
01.09.	8.1	5	< 2 mg/l
14.09.	8.5	4	< 2 mg/l
28.09.	8.2	4	< 2 mg/l
10.10.	7.6	5	zwischen 2 und 10 mg/l
17.10.	7.3	5	zwischen 2 und 10 mg/l

Tabelle 5: pH-Werte, Kohlendioxidgehalt und Carbonathärte im Teich 1

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die in der Beobachtungszeit abgelesenen Werte des CO<sub>2</sub> - Gehaltes im Teich 1 in mg/Liter im einstelligen Bereich, häufig sogar unter 2 mg/Liter, bewegten (vgl. Tabelle 2). Es wiederholt sich auch im Teich 1 die bereits gemachte Feststellung, dass vor allem in den Sommermonaten die CO<sub>2</sub> - Konzentration auf Grund der hohen Assimilationsrate und der damit verbundenen Zehrung von CO<sub>2</sub> sehr tief ist.

In der folgenden Abbildung (Abb. 28) sind die Messwerte des Sauerstoffgehaltes in mg/Liter für die vier Teiche in Abhängigkeit der Daten, an denen die Messungen durchgeführt wurden, dargestellt.

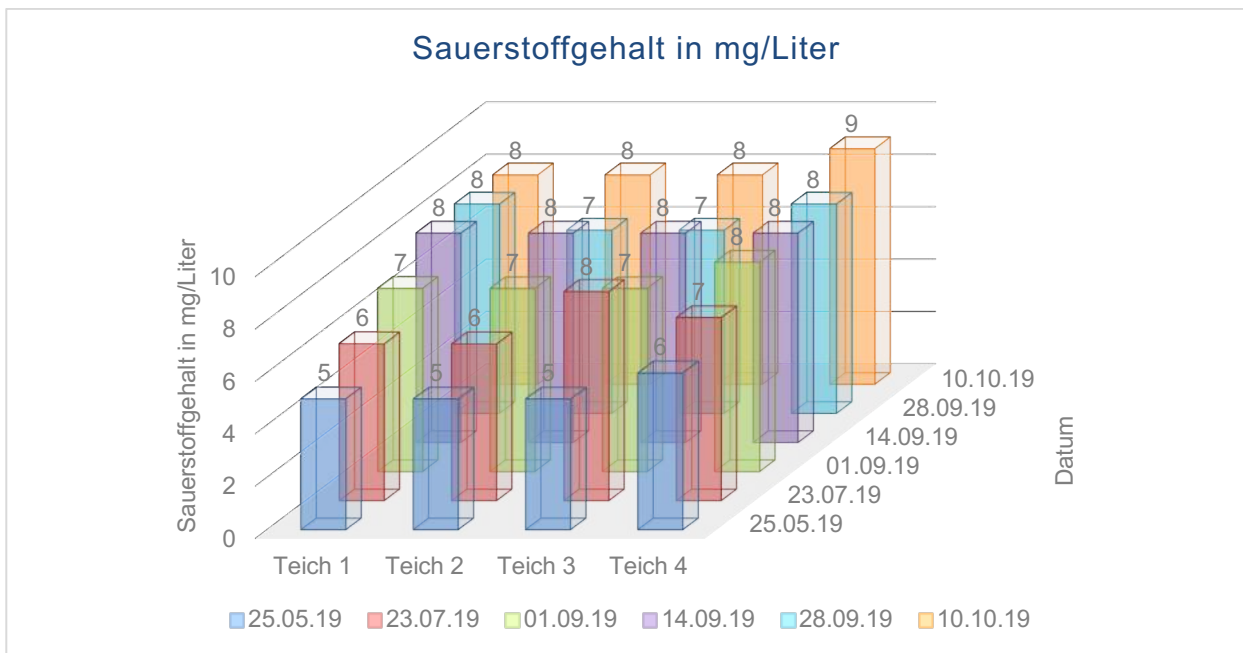


Abb. 28: Sauerstoffgehalt in mg/Liter in den vier Teichen von Mai bis Oktober

Die Messresultate für die Sauerstoffkonzentration bewegen sich alle im Bereich von 5 – 9 mg/Liter. Der Tendenz nach ist in allen vier Teichen eine Zunahme des Sauerstoffgehaltes im Lauf der Beobachtungszeit messbar. Der zunehmende Pflanzenbewuchs im Lauf der Vegetationsperiode ist eine mögliche Erklärung für diese Entwicklung. Die O<sub>2</sub>-Konzentrationen im Teich 4 sind allerdings trotz spärlichen Pflanzenbewuchses gleich oder höher als in den anderen Teichen. Eine plausible Erklärung ist die freie Lage des Teiches am Fuss eines Abhanges, welche eine gute Belüftung, das heisst einen guten Austausch mit der Umgebungsluft, fördert. Die Luftzirkulation über den Wasseroberflächen der anderen drei Teiche ist auf Grund ihrer Lage weniger intensiv.

Auch wenn es in diesen vier Teichen auf Grund der geringen Tiefe keine Schichtung des Wassers gibt, kann der Sauerstoffgehalt an der Oberfläche auf Grund der aufsteigenden Algen sehr hoch, aber in der Dunkelheit unter der Algendecke sehr tief sein (vgl. Abb. 29).



Abb. 29: Blasen während der Algenblüte an der Wasseroberfläche (Juni, Teich 2)



#### 4.1.6 Nitrat- und Phosphatgehalt

Der Nitratgehalt lag in allen vier Teichen ausnahmslos unter der Nachweisgrenze des verwendeten Tests und betrug konstant weniger als 0.5 mg/Liter. Beim Phosphatgehalt gab es eine einzige Messung im Teich 2, bei der ein Wert über der Nachweisgrenze des verwendeten Tests von 0.02 mg/Liter gemessen wurde (vgl. Tabelle 6).

Datum	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>				PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>			
	Teich1	Teich2	Teich 3	Teich 4	Teich 1	Teich 2	Teich 3	Teich1
28.04.19	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l
05.05.19	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l
10.05.19	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l
12.07.19	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l
23.07.19	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.02 mg/l	0.04 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l
01.09.19	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l
14.09.19	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l
28.09.19	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l
10.10.19	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l
17.10.19	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.5 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l	< 0.02 mg/l

Tabelle 6: Nitrat- und Phosphatgehalt in den vier Teichen von April bis Oktober

Eine mögliche Erklärung für die erhöhte Phosphatkonzentration im Juli in Teich 2 liegt im Massensterben und Absinken der Algen im Juli, welches auf die Algenblüte im Juni folgte (Abb. 30). Beim Abbau der abgestorbenen Algenmasse wird gebundener Phosphor, der deutlich schneller abgebaut wird als Stickstoff, wieder in Phosphat umgewandelt.

Da das übrige Pflanzenwachstum unter dem dicken Algent Teppich im Juni stagnierte, wurde mehr organisches Material abgebaut als Nährstoffe für den Aufbau verbaut wurden. So war es möglich, dass es zu einem vorübergehenden Überangebot von im Wasser gelöstem Phosphat kam.



Abb. 30: Abgestorbene Algen nach der Algenblüte, Teich 2, 22.7.2019

## 4.2 Biotische Faktoren

Konkurrenzbeziehungen und Räuberbeutebeziehungen konnten in allen vier Teichen zuhauf beobachtet werden. Zur Illustration werden einige Beispiele geschildert.

Im Frühling, als auf Grund der längeren Tage und des höheren Sonnenstandes wieder mehr Sonnenenergie zur Verfügung stand, es aber noch wenig Nährstoffkonkurrenten gab, kam der Stoffwechsel des Phytoplanktons auf Hochtouren. Auf das intensive Algenwachstum folgte in den Sommermonaten eine Beschattung des Gewässers durch den entstandenen Algenteppich, was die Entwicklung der anderen Wasserpflanzen hemmte. Besonders ausgeprägt war dieses Phänomen im Teich 2 (vgl. Abb. 31 und Abb. 32).



Abb. 31: Teich 1 links, Teich 2 rechts (August)



Abb. 32: Teich 2 im August, bedeckt mit einer Schicht aus abgestorbenen Algen

Bei den Libellen konnte sowohl intra- als auch interspezifische Konkurrenz beobachtet werden. Befindet sich ein Männchen der Blaugrünen Mosaikjungfer auf Paarungsflug, vertreibt es andere männliche Artgenossen vom Teich. Aber auch verschiedene Arten von Grosslibellen hielten sich selten gleichzeitig, sondern meistens nacheinander an den Teichen auf.

Anhand einer ins Wasser gestürzten Grosslibelle konnte beobachtet werden, dass es auch zwischen den Arten ausgeprägte Rangordnungen gibt, was das Fressen betrifft.

Die Leiche einer am Nachmittag in den Teich gestürzten Blaugrünen Mosaikjungfer (Abb. 33) lockte nach der Dämmerung mehrere Bergmolche an (Abb. 34). Trotz wiederholter Versuche gelang es ihnen nicht, den harten Panzer aus Chitin zu durchdringen. Nach einer Viertelstunde erschienen mehrere Gelbrandkäfer und die Bergmolche zogen sich sofort zurück (Abb. 35). Mit ihren kräftigen Beisswerkzeugen knackten sie das Aussen- und Innenskelett der Libelle und frassen gezielt das Gehirn (Abb. 36). Kaum waren sie verschwunden, erschienen mehrere Wasserläufer, um übriggebliebenes zu verwerten.



Abb. 33: Tote Grünblaue Mosaikjungfer, Weibchen (Teich 3)



Abb. 34: Bergmolchweibchen untersucht eine tote Libelle



Abb. 35: Mehrere Gelbrandkäfer fressen an der Leiche der Grosslibelle



Abb. 36: Gefressen wurde das nährstoffreiche Gehirn

### 4.3 Lebensgemeinschaft Plankton

Die Unterschiede in der Zusammensetzung der Arten in den untersuchten Wasserproben waren je nach Tageszeit, Jahreszeit und Teich enorm gross. Die Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten, nach den Organismengruppen aufgegliedert, dargelegt.

#### 4.3.1 Bakterioplankton

In allen Wasser-, Aufwuchs- und Ablagerungsproben befanden sich unzählige Bakterien. Die Einzelzellen waren zwischen 0.1 – 5  $\mu\text{m}$  gross, das heisst unter dem Lichtmikroskop zum Teil nur noch als kleine, bewegliche Punkte oder Stäbchen oder gar nicht mehr sichtbar. Abgesehen von den Cyanobakterien, die im nächsten Abschnitt beschrieben werden, konnten die Bakterien im Rahmen dieser Arbeit nicht genauer untersucht werden.



### 4.3.2 Phytoplankton

Bei keiner anderen beobachteten Organismengruppe waren der Artenreichtum und die Schwankungen in der Zusammensetzung der Arten im Verlauf der Beobachtungsperiode so gross wie beim Phytoplankton. Die folgenden beiden Abbildungen (Abb. 37 und Abb. 38) geben einen Eindruck über die Artenvielfalt.

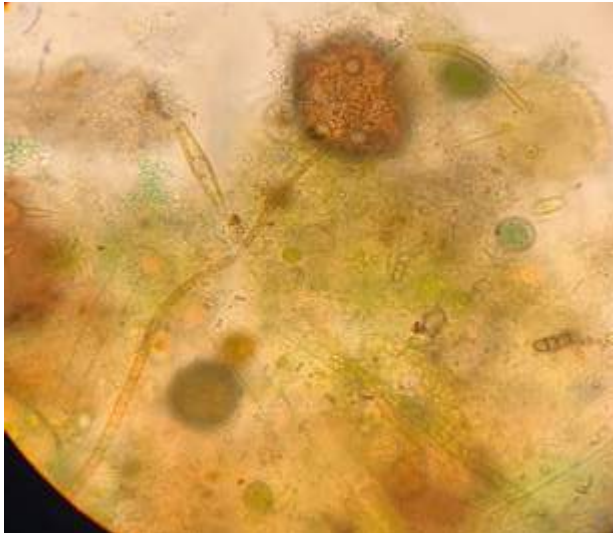


Abb. 37: Wasserprobe aus Teich 1 mit Kieselalge, Grünalgen, Cyanobakterien, 400-fache Vergrößerung, August

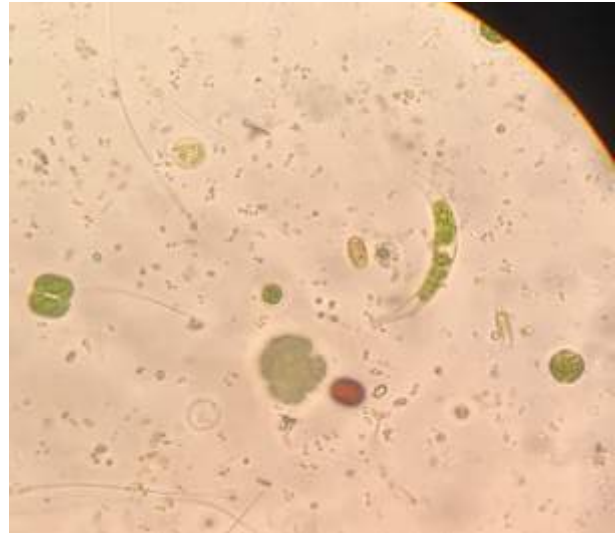


Abb. 38: Wasserprobe aus Teich 1, 400-fache Vergrößerung, November

#### 4.3.2.1 Cyanobakterien

In allen vier Teichen konnte das Vorkommen von Cyanobakterien nachgewiesen werden. Ihre Erscheinungsformen waren unterschiedlich. Es gab einzellige Blaualgen, die Kolonien in einer gemeinsamen Gallerthülle bilden (Abb. 39) und fädige Cyanobakterien, die aus perlschnurartig aufgereihten Einzelzellen bestehen, welche durch Plasmabrücken miteinander verbunden sind (Abb. 40 und Abb. 41). Auch solche Perlschnüre waren zum Teil zu Zellagregaten zusammengeschlossen und schwammen von einer festen Gallerte umhüllt an der Wasseroberfläche des Teiches (Abb. 42 und Abb. 43).



Abb. 39: Blaualgenkolonie: *Coelosphaerium*, Zellen 2–4  $\mu\text{m}$ , Kolonien 20–100  $\mu\text{m}$  (Teich 1)



Abb. 40: Zellfäden der Blaualge der Gattung *Anabaena* mit Heterocysten, (Teich 1)



Abb. 41: Cyanobakterium (Teich 1) Heterocyste ca. 8  $\mu\text{m}$  lang

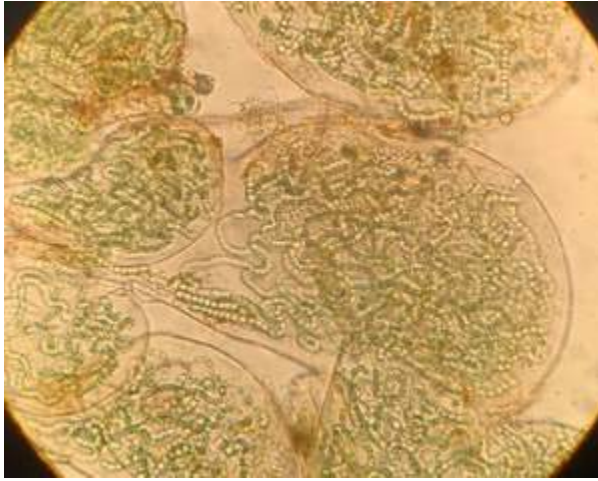


Abb. 42: Blaualge der Gattung *Nostoc*, Zellfäden in Gallertlagern (Teich 3)

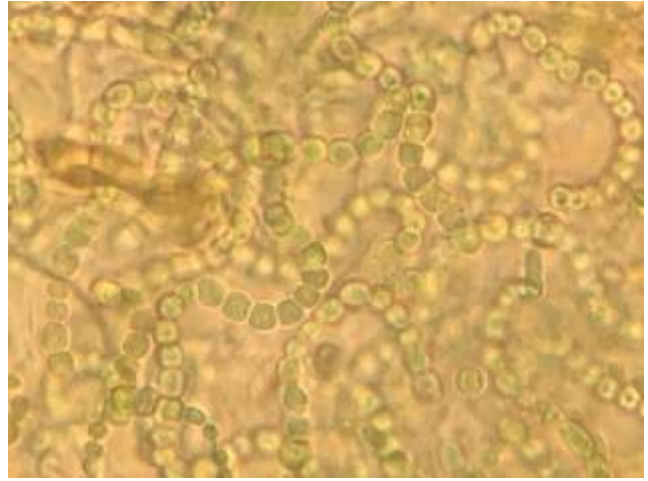


Abb. 43: Ausschnitt aus Abb. 42, Durchmesser der einzelnen Zelle 4 – 7  $\mu\text{m}$  (Teich 3)

#### 4.3.2.2 Kieselalgen (Diatomeen)

Auch Kieselalgen kamen in allen vier Teichen vor. Sie traten in den Wasserproben zwar regelmässig, aber vereinzelt auf und waren von sehr unterschiedlicher Gestalt. Die Grösse der vorkommenden Arten bewegte sich zwischen 5 und 100  $\mu\text{m}$  (vgl. Abb. 44 – Abb. 46).



Abb. 44: Pennate Kieselalge, (Teich 1), Länge ca. 30  $\mu\text{m}$



Abb. 45: Pennate Kieselalge (Teich 1), Länge ca. 60  $\mu\text{m}$



Abb. 46: Kieselalge der Ordnung Centrales, (Teich 1)

#### 4.3.2.3 Grünalgen (Chlorophyta)

Die Variationsbreite in Aussehen und Grösse der in den Teichen vorkommenden Grünalgen war sehr gross. Sie reichte von winzigen Einzellern bis zu fädigen Armleuchteralgen, die von ihrer Erscheinungsform her eher an höhere Pflanzen erinnern. Da sie mit haarförmigen, wurzeleretzenden Strukturen (Rhizoiden) am Teichboden verankert sind, gehören die Armleuchteralgen nicht wirklich zum Plankton, aber zu den Grünalgen.

Im Gegensatz zu den Blau- und den Kieselalgen wurden bei den Grünalgen zwischen den Teichen deutliche Unterschiede in der Artenverteilung festgestellt. Vor allem im Teich 1 gab es viele verschiedene Arten von einzelligen Grünalgen im Grössenbereich von 1 – 100  $\mu\text{m}$ .

Häufig vertreten waren beispielsweise Algen der Gattungen *Chlamydomonas* (Abb. 47) oder der Gattung *Closterium* (Abb. 48).

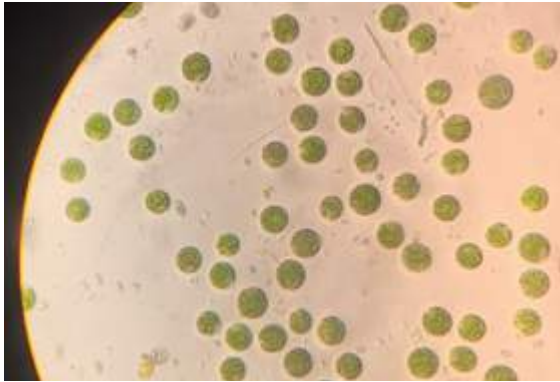


Abb. 47: Alge der Gattung *Chlamydomonas* (Teich 3), einzellige, geißelbewegliche Algen, Durchmesser 30 – 50  $\mu\text{m}$



Abb. 48: Alge der Gattung *Closterium* (Teich 1), mit aufgereihten Stärkekörnern und an den farblosen Zellenden je einer Vakuole, Länge ca. 200  $\mu\text{m}$

Weniger abundant, aber in allen Teichen zu finden, waren unbegeißelte Algen der koloniebildenden Gattungen *Scenedesmus* (Abb. 49) und *Pediastrum* (Abb. 50).



Abb. 49: Alge der Gattung *Scenedesmus* (Teich 1), meist in Verbänden von vier Zellen, einzelne Zelle etwa 10  $\mu\text{m}$  lang, unbegeißelt, die borstenartigen Fortsätze an den zwei Endzellen der Kolonie dienen dem Frassschutz



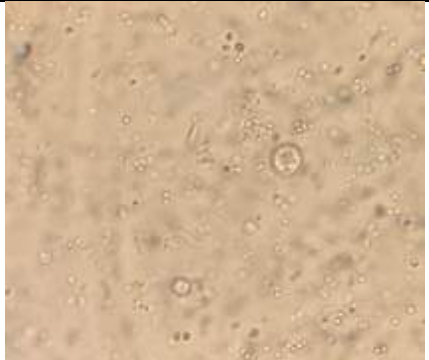
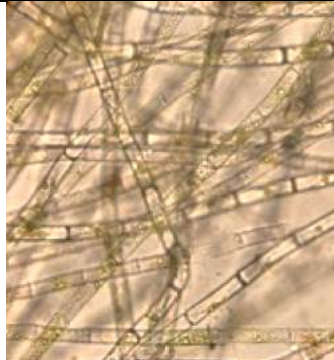




Abb. 50: Alge der Gattung *Pediastrum* (Teich 3), runde, scheibenförmige Kolonie aus 16 Zellen, Durchmesser ca. 50  $\mu\text{m}$ , unbegeißelt

Abgesehen von diesen in allen Teichen vorkommenden Arten war die Populationsdichte anderer Grünalgenarten, insbesondere der Fadenalgen in den vier Teichen sehr unterschiedlich.

Im Teich 1 gab es ausser in den Flachwasserzonen kaum fädige Algen. Es überwogen die Arten der sehr kleinen Grünalgen, die von Auge und auch unter dem Lichtmikroskop kaum zu erkennen waren (Abb. 51) und die dem Wasser eine grünliche Färbung gaben (Abb. 54).



Im Teich 2 waren es die fädigen Grünalgen, die das Erscheinungsbild des Teiches im Frühling und Sommer über Wochen prägten (Abb. 52 und Abb. 55). Auch im Teich 3 kam es im Lauf des Sommers zu Algenblüten von grünen Fadenalgen. Anders als in den anderen drei Teichen, bildete sich im Teich 3 ab September eine Unterwasserwiese aus Armleuchteralgen in einem sehr klaren Wasserkörper mit wenig Phyto- aber umso mehr Zooplankton.

Teich 1	Teich 2	Teich 3
 <p data-bbox="178 949 560 1003"><i>Abb. 51: Wasserprobe von Teich 1, 1000-fache Vergrößerung</i></p>	 <p data-bbox="630 949 965 1059"><i>Abb. 52: Fadenbildende, unverzweigte Grünalgen mit regelmässigen Querwänden aus Teich 2, Algenblüte</i></p>	 <p data-bbox="987 949 1439 1086"><i>Abb. 53: Armleuchteralge der Gattung Chara. Grosse, fädige Alge mit einer Hauptachse, deren Zellen bis 1 cm lang sind, vor allem im Teich 3, bildet zum Teil Unterwasserwiesen</i></p>
 <p data-bbox="178 1565 592 1675"><i>Abb. 54: Grünlich gefärbte Wasserprobe aus Teich 1, 10 Tage nach Entnahme. Entwicklung von mikroskopischen Grünalgenkolonien</i></p>	 <p data-bbox="630 1565 965 1758"><i>Abb. 55: Schraubenalge der Gattung Spirogyra mit unverzweigten Zellfäden und spiralförmig gewundenen Chloroplasten, massenhafte Vermehrung, Durchmesser ca. 20 µm Teich 2</i></p>	 <p data-bbox="987 1565 1428 1619"><i>Abb. 56: Vergrößerung einer Armleuchteralge aus Teich 3,</i></p>

Der Teich 4 wies im Vergleich mit den anderen drei Teichen eine relativ kleine Dichte an Grünalgen auf.

#### 4.3.2.4 Flagellaten

Neben den Grünalgen waren auch Geisselalgen der Gattung *Euglena* (Abb. 57), Augenflagellaten der Gattung *Trachelomonas* (Abb. 58) und Dinoflagellaten der Gattung *Peridinium* (Abb. 59 und Abb. 60) in allen vier Teichen nachweisbar.



Abb. 57: Alge der Gattung *Euglena* (Teich 1), ca. 25  $\mu\text{m}$  lang, mit Geissel und Augenfleck, kann die Form der Zelle stark verändern

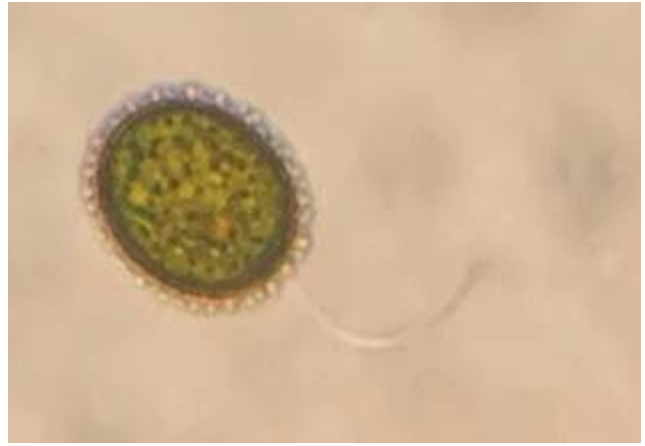


Abb. 58: Augenflagellat der Gattung *Trachelomonas* (Teich 3), Körper ca. 30  $\mu\text{m}$ , Geissel doppelt so lang wie der Körper



Abb. 59: Dinoflagellat der Gattung *Peridinium* (Teich 1) mit typischer Längsfurche und Geissel, Durchmesser ca. 50  $\mu\text{m}$



Abb. 60: Abgeworfener Panzer eines Dinoflagellaten (Teich 1)

#### 4.3.3 Zooplankton

Einzeller wie Pantoffeltierchen (Abb. 61), Amöben (Abb. 62 und Abb. 63) und Sontentierchen (Abb. 64), aber auch mehrzellige Tiere wie Rädertierchen (Abb. 65), Milben, Blattfusskrebse (Abb. 66), Muschelkrebse (Abb. 67) und Ruderfusskrebse (Abb. 68) in all ihren Entwicklungsstadien (Abb. 69) konnten während der ganzen Beobachtungszeit festgestellt werden. Diese Organismen sind je nach Tageszeit entweder in der Nähe der Wasseroberfläche oder tiefer unten im Wasserkörper zu finden.





Abb. 61: Pantoffeltierchen (Teich 1) bei beginnender Zellteilung

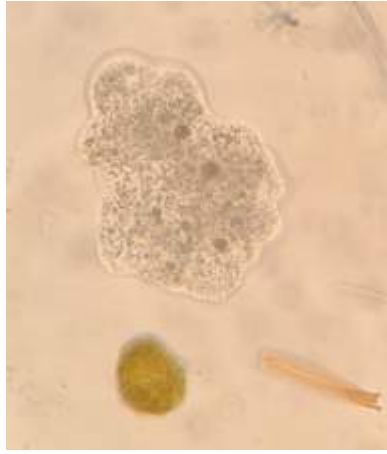


Abb. 62: Nacktamöbe (Teich 1), verändert fortwährend ihre Gestalt, ernährt sich unter anderem von Flagellaten



Abb. 63: Schalenamöbe (Teich 1), Scheinfüsschen (Pseudopodien) ragen aus der Schalenöffnung



Abb. 64: Kugelförmiges Sonnentierchen (Teich 1), Scheinfüsschen (A-xopodien) verlaufen strahlenförmig nach aussen, sind giftig und dienen der Betäubung der Beute



Abb. 65: Rädertierchen (Teich 1) mit durchsichtigem, sackförmigem Körper



Abb. 66: Blattfusskrebs der Gattung Daphnia (Teich 3) beim Filtrieren von Plankton



Abb. 67: Muschelkrebs (Teich 1), Körper ist in eine zweiklappige Schale eingeschlossen, 7 Extremitätenpaare dienen als Schwimmruder, Fresswerkzeuge oder der Fortbewegung



Abb. 68: Ruderfusskrebs (Teich 1), das grosse Antennenpaar ist ein Sinnesorgan und wird vor jedem Schwimmsprung an den Körper angelegt



Abb. 69: Naupliuslarve eines Ruderfusskrebses mit nur drei Extremitätenpaaren und ein einfach vorhandenes Auge in der Mitte der Stirn

Die zyklischen Schwankungen der Trübung in Teich 1 waren stark an die Veränderungen des Verhältnisses der Populationsdichten von Phytoplankton und Zooplankton gekoppelt. In Phasen mit geringer Sichttiefe war die Dichte des Phytoplanktons im Mikrometerbereich sehr gross. In den Klarwasserphasen hingegen war die Populationsdichte des Zooplanktons gegenüber der des Phytoplanktons erhöht. Da das Phytoplankton die Hauptnahrungsquelle des Zooplanktons darstellt, liegen die beiden Populationen als Räuber-Beute-Paar in wechselwirkendem Wettstreit miteinander. Eine grosse Räuberpopulation hatte eine sichtbar dezimierende Wirkung auf die Beutepopulation.

Im Teich 1 war die Dichte des Zooplanktons fast durchgehend kleiner als in den Teichen 2 und 3. Abb. 70 zeigt die unterschiedlichen Erscheinungsbilder zweier Wasserproben von Teich 1 (links) und Teich 3 (rechts). Das einfallende Licht wird an dem von blossen Auge unsichtbaren Phytoplankton reflektiert, so dass das Wasser von Teich 1 grünlich trüb erscheint (Abb. 70). In der Probe von Teich 3 sind von blossen Auge unzählige Wasserflöhe und Insektenlarven zu sehen, aber das Licht durchdringt das Wasser bis zum Gefässboden (Abb. 71).



*Abb. 70: Wasserproben Teich 1 (links) und Teich 3 (rechts), entnommen am 24.11.2019*



*Abb. 71: Vergrösserung (Makrofotographie) der Wasserprobe aus Teich 3 aus Abb. 70 mit zahlreichen Wasserflöhen und Insektenlarven*

## 4.4 Wirbellose Tiere

Neben den im letzten Abschnitt beschriebenen Kleinlebewesen prägen weitere Arten der wirbellosen Tiere die Teiche. Verschiedene Wasserinsekten wie Spinnentiere, Wasserkäfer, Wanzen, Insektenlarven, aber auch Wasserschnecken besiedeln die Teiche.

### 4.4.1 Wasserkäfer

In allen vier Teichen konnten während der gesamten Beobachtungszeit verschiedene Arten von Wasserkäfern beobachtet werden. Da viele Arten flugfähig sind, konnten sie den neuen Teich rasch und problemlos besiedeln. Bei den kleineren Wasserkäfern waren die Reproduktionsraten zum Teil so hoch, dass vor allem im Teich 1 im Verlauf des Sommers eine deutliche Zunahme der Populationsdichte festzustellen war.

Die beobachteten Wasserkäfer haben alle einen flachen, stromlinienförmigen Körper und sind ausgezeichnete Schwimmer. Ihre Hinterbeine sind zu grossen, mit kräftigen Schwimmborsten besetzten Rudern ausgebildet (vgl. Abb. 72 und Abb. 73).



Abb. 72: männlicher Gelbrandkäfer (Teich 3), im Gegensatz zum Weibchen ohne Rückenfurung, Schwimahaare an den Beinen



Abb. 73: Furchenschwimmer (Teich 1) mit typisch gezeichnetem Halsschild und einem sichtbar geöffneten rechten Atemloch (Stigma) am Hinterleib

Zur Sauerstoffaufnahme strecken die Käfer ihren Hinterleib aus dem Wasser. Ihr Atemorgan ist ein Röhrensystem, die Tracheen, das den Körper durchzieht, welches über verschliessbare Atemlöcher, die Stigmen, an der Wasseroberfläche mit Sauerstoff gefüllt wird (Abb. 73).

Sowohl die Larven (Abb. 74) als auch die adulten Wasserkäfer, die Imagines, sind Karnivoren und ernähren sich von lebenden (Abb. 75) und toten Tieren (Abb. 76). In den vier Teichen sind sie zusammen mit den Libellenlarven die Hauptprädatoren der Amphibien.





Abb. 74: Larve eines Gelbrandkäfers (Teich 1)



Abb. 75: Gelbrandkäferlarve frisst eine Kaulquappe (Teich 1)



Abb. 76: Furchenschwimmer (Teich 1) frisst an einer toten Bergmolchlarve

#### 4.4.2 Wasserläufer und Wasserwanzen

In allen vier Teichen übernahmen Wasserläufer und Wasserwanzen die Aufgabe, ins Wasser gefallene Insekten wie Fliegen und Heuschrecken zu fressen und den Teich dadurch sauber zu halten. Rückenschwimmer, die zu den Wasserwanzen gehören, konnten dabei beobachtet werden, wie sie sofort auf die Vibrationen, die ihre Beute an der Wasseroberfläche erzeugte, reagierten und diese, manchmal in Teamarbeit, unter Wasser zogen, ertränkten und dann aussaugten (vgl. Abb. 77 und Abb. 78).



Abb. 77: Rückenschwimmer (im Teich 4) ergreifen eine Heuschrecke und ziehen sie unter Wasser



Abb. 78: Rückenschwimmer beim Aussaugen einer Schlupfwespe (Teich 1)

Meistens befanden sich die Rückenschwimmer vollständig unter Wasser. Es wurde aber auch beobachtet, wie sie sich noch im Wasser auf den Bauch drehten, an Land kletterten und zu einem Überlandflug ins nächste Gewässer starteten.



Abb. 79: Rückenschwimmer (Teich 1) dreht sich im Wasser auf den Bauch



Abb. 80: Rückenschwimmer (Teich 1) an Land vor dem Abflug in einen anderen Teich

Die Wasserläufer waren vor allem in den Sommermonaten in allen vier Teichen sehr zahl- und artenreich vorhanden (vgl. Abb. 81 und Abb. 82).



Abb. 81: Gemeiner Teichläufer mit stark verlängertem Kopf-, Brust- und Hinterleibssegment (Teich 3)



Abb. 82: Wasserläufer (Teich 1)

Sie ernähren sich wie die Rückenschwimmer räuberisch und orten ins Wasser gefallenen Insekten mit Hilfe von Vibrationsorganen in den Beinen (vgl. Abb. 83 und Abb. 84)



Abb. 83: Zwergbachläufer beim Fressen (Teich 3).



Abb. 84: Wasserläufer (Teich 1) beim Aussaugen seiner Beute

#### 4.4.3 Insektenlarven

Neben den Larven der Wasserkäfer sind viele weitere Insektenlarven in den Teichen anzutreffen (Abb. 85 – Abb. 94). Zum Teil waren es sehr kleine Organismen, deren Körperlänge wenige Millimeter beträgt und die in der Nahrungskette ganz weit unten stehen (Abb. 85 und Abb. 88). Sie traten oft in grosser Anzahl auf und sind für andere Teichbewohner eine wichtige Nahrungsquelle. Andere Insektenlarven, wie die der Libellen, erreichten eine Körperlänge von 5 – 6 cm. Diese Exemplare stehen in der Nahrungskette des Teiches zuoberst und gehören zu den grössten Fressfeinden der Amphibienlarven (vgl. Abb. 92). Die Arten- und vor allem auch die Individuenzahl der Köcherfliegenlarven (Abb. 93 und Abb. 94) waren in den Teichen 1 und 3 vor allem in den Monaten Oktober und November beeindruckend hoch. Sehr zahlreich zu beobachten waren zur selben Zeit die Eintagsfliegenlarven (Abb. 88 und Abb. 90).



Abb. 85: Larve einer Büschelmücke, Länge ca. 12 mm (Teich 1)



Abb. 86: Larve einer Waffenfliege (aus der Ordnung der Zweiflügler), Länge ca. 40 mm (Teich 3)



Abb. 87: Larve einer Waffenfliege beim Fressen (Teich 3)



Abb. 88: Eintagsfliegenlarve mit den drei typischen Schwanzanhängen und seitlichen Tracheenkiemen (Teich 1)





Abb. 89: Eintagsfliegenlarven in verschiedenen Grössen (Teich 1)



Abb. 90: Eintagsfliegenlarve unter dem Mikroskop (Teich 1)



Abb. 91: Libellenlarve aus der Familie der Schlanklibelle (Teich 1)

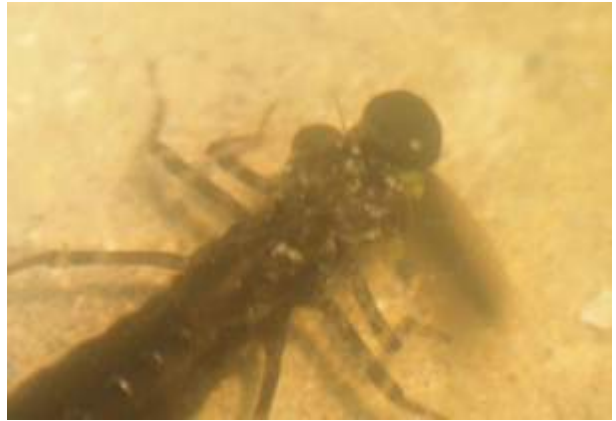


Abb. 92: Libellenlarve einer Grosslibelle beim Fressen einer Kaulquappe (Teich 1)



Abb. 93: Larve einer Köcherfliege in ihrem selbstgebauten Köcher aus Pflanzenmaterial (Teich 1)

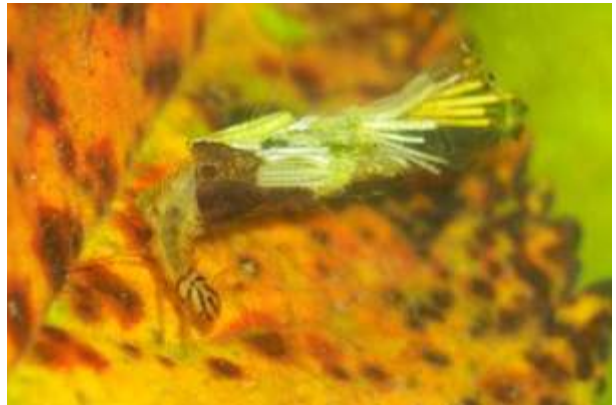


Abb. 94: Larve einer Köcherfliege (Teich 1)

#### 4.4.4 Libellen

Neben den Tieren im Wasser waren es vor allem die Libellen, die die Aufmerksamkeit auf sich zogen. In den Monaten Juni bis Oktober waren sie Dauergäste an den Teichen, meist aber nicht mehr als eine bis maximal drei Libellenarten gleichzeitig. Bei den Grosslibellen war es sogar meist nur eine Art, die zu einem bestimmten Zeitpunkt beobachtet werden konnte, und gleichartige Männchen lieferten sich teilweise heftige Revierkämpfe.



Abb. 95: *Libellula depressa*, Männchen, Körperlänge ca. 8 cm (Juni, Teich 3)



Abb. 96: *Libellula depressa*, Weibchen (Juni, Teich 1)

Die *Libellula depressa* (Plattbauch) ist eine Pionierart unter den Grosslibellen, die neue Gewässer umgehend findet (Abb. 95 und Abb. 96). Sie verschwand aber bald wieder, als sich Konkurrenz einstellte. Nach Ende Juni konnte sie an den vier Teichen nicht mehr beobachtet werden. In den darauffolgenden Wochen beherrschte eine andere Grosslibelle, die *Libellula quadrimaculata* (Vierfleck), die Teiche (Abb. 97 und Abb. 98). Sie hielt sich vorzugsweise am Teich 3 auf, der als einziger der vier Teiche einen Schilfbewuchs hat.



Abb. 97: *Libellula quadrimaculata*, Körperlänge ca. 5 cm, beide Geschlechter gleich (Juli, Teich 3)



Abb. 98: *Libellula quadrimaculata*, auffällig und namengebend sind die dunklen Flecken am Vorderrand der Flügel (Juli, Teich 3)

Für den Rest des Sommers und Herbstes dominierten unter den Grosslibellen die Blaugrünen Mosaikjungfern (*Aeshna cyanea*) (Abb. 99). Sie waren neugierig und stellten sich im



Rüttelflug interessiert vor die Kamera. Während der Paarungszeit waren sie tagsüber ständig in der Luft und kaum zu fotografieren. Gegen Abend liessen sich die Weibchen zwischen den Steinen am Teichrand oder auf morschem, mit Moos besetztem Holz nieder, um ihre Eier abzulegen (Abb. 100).



Abb. 99: Porträt eines Weibchens einer Blaugrünen Mosaikjungfer, Körperlänge ca. 7 cm, Flügelspannweite ca. 10 cm (August, Teich 1)



Abb. 100: Blaugrüne Mosaikjungfer bei der Eiablage (September, Teich 1)

In den Monaten August und September besuchten ausserdem zwei verschiedene Arten von Heidelibellen die Teiche (Abb. 101 und Abb. 102). Sie bevorzugten allerdings die frei im Gelände liegenden Teiche 3 und 4.



Abb. 101: Heidelibelle (August, Teich 3)



Abb. 102: Heidelibelle (August, Teich 4)

Vor allem in den Monaten Juni und Juli trafen sich verschiedene Kleinlibellen zum Paarungsflug und zur Eiablage an den Teichen. Ihre Ansprüche an die Grösse des Reviers sind viel kleiner als die der Grosslibellen, so dass sich oft bis zehn Paare gleichzeitig an einem Teich aufhielten. Am prominentesten vertreten waren die Hufeisen Azurjungfer (Abb. 103 und Abb. 104) und die Frühe Adonislibelle (Abb. 105 und Abb. 106).



Abb. 103: Azurjungfer (*Coenagrion puella*) Männchen (Juni, Teich 1), häufigste und am weitesten verbreitete Kleinlibelle der Schweiz (Ubiquist)



Abb. 104: Azurjungferpaar (Juni, Teich 1). Zur Eiablage setzen sich die Weibchen mit dem Männchen im Nacken auf eine Wasserpflanze.



Abb. 105: Frühe Adonislibelle (*Pyrrosoma nymphula*), Männchen (Mai, Teich 3)



Abb. 106: Paar der Frühen Adonislibelle bei der Eiablage (Teich 3)

#### 4.4.5 Wasserschnecken

Die in den vier Teichen dominante Schneckenart ist die Spitzschlammschnecke (Abb. 107). Sie hat sich im Lauf des Jahres vor allem in den Teichen 1 und 4 stark vermehrt. Sie ist Tag und Nacht aktiv, befindet sich ständig in langsamer Bewegung und konnte beim Fressen von Algen, Detritus (vgl. Abb. 108) und Laich beobachtet werden. Im Wasser hängend kann sie auf einer Schleimspur an der Wasserunterfläche entlanggleiten.



Abb. 107: Spitzschlammschnecke (*Lymnaea stagnalis*) füllt die Mantelhöhlen an der Wasseroberfläche mit Luft (Teich 1)



Abb. 108: Spitzschlammschnecke beim Fressen von abgestorbenem Pflanzenmaterial (Teich 1)

Seltener zu beobachten war die deutlich kleinere Blasenschnecke (Abb. 109). Ihr Gehäuse ist im Gegensatz zur Spitzschlammschnecke linksgewunden und sie hat lange dünne Fühler (Abb. 110). Das Gehäuse der Spitzschlammschnecke ist rechtsgewunden und deutlich grösser, die Fühler der Tiere sind kurz und dreieckig (vgl. Abb. 107).



Abb. 109: Blasenschnecke (Teich 1), Höhe ca. 12 mm, Breite ca. 7 mm



Abb. 110: Blasenschnecken (Teich 1) haben lange dünne Fühler, das Gehäuse ist linksgewunden

Blasenschnecken gelten in der Schweiz als Neobionten. Ihr natürlicher Lebensraum ist Amerika oder Südwesteuropa [24, p. 155].

## 4.5 Amphibien

Die Amphibien, die in den vier Teichen beobachtet werden konnten, werden zusammen mit den Nummern der Teiche und den Monaten, in denen sie dort beobachtet werden konnten, und nach der Häufigkeit ihres Vorkommens in der folgenden Tabelle 7 aufgelistet.

<i>Art</i>	<i>Teich</i>	<i>Monate, in denen die Tiere im Wasser beobachtet werden konnten</i>	<i>Häufigkeit</i>
<i>Erdkröte</i>	1, 3, 4	Zur Laichzeit im März und April	mehrere Paare
	1, 3	Juli – Oktober	einzelne Tiere
<i>Grasfrosch</i>	1, 3, 4,	Zur Laichzeit im März und April	mehrere Paare
	1, 2, 4	Juni – Oktober	einzelne Tiere
<i>Wassersfrosch</i>	3	Juli und Oktober	einzelne Männchen
<i>Gelbbauch- unke</i>	1, 2, 3, 4	April – September	Zahlreich
<i>Geburtshel- ferkröte</i>	2	Juni und Juli	einzelne Männchen bei der Ei- ablage
<i>Bergmolch</i>	1, 2, 3, 4	Adulte Tiere: März bis Oktober	sehr zahlreich
		Larven: Mai - Oktober	sehr zahlreich
<i>Fadenmolch</i>	1, 2, 3, 4	Adulte Tiere: April - Mai	Zahlreich
		Larven: Mai - Juli	Zahlreich
Feuersala- mander (nur Larven)	1, 3	Mai - Juli	Einzelne

Tabelle 7: Vorkommen der Amphibien in den vier Teichen

Die Amphibiensaison am Teich wurde durch die beiden frühlaichenden Arten, die Erdkröten (Abb. 111 – Abb. 116, S. 54) und die Grasfrösche (Abb. 117 – Abb. 122, S. 55), eröffnet. Sie trafen sich zur Paarung und zur Laichablage an den Teichen. Etwa zwei Wochen später



erschieden die Bergmolche (Abb. 140 – Abb. 145, S. 59) und noch etwas später die Fadenmolche (Abb. 146 – Abb. 151, S. 60). Die Männchen trugen bald ihr Balzkleid. Bei den Bergmolchen ist das ein auffälliger, hellblauer Streifen, der den orangen Bauch einrahmt, und ein prägnantes Muster von schwarzen Punkten auf den Körperseiten und dem Rücken (Abb. 140, S. 59). Die Männchen der Fadenmolche entwickeln während der Balzzeit eine deutliche Schwarzfärbung des hinteren Fusspaares (Abb. 149, S. 60). Im Gegensatz zu den Bergmolchen, von denen sich mehrere Tiere bis Anfang November in den Teichen aufhielten, verschwanden die Fadenmolche bald nach der Eiablage und waren danach in den Teichen nicht mehr zu beobachten.

Im Frühling, zur Zeit der Laichablage, konnten keine Wasserfrösche an den Teichen beobachtet oder ihre Rufe gehört werden. Erst in den Sommermonaten, im Juli und August, erschienen einzelne Männchen auf einer späten Suche nach einem Weibchen. Es gab allerdings nur einzelne Sichtungen und die Tiere verschwanden bald wieder (Abb. 135 – Abb. 137, S. 58). Im Gegensatz dazu kehrten einzelne Grasfrösche und Erdkröten bis in den Herbst zu den Teichen zurück, bis auch sie gegen Ende Oktober nicht mehr beobachtet werden konnten.

Eine Geburtshelferkröte im Teich 2 anzutreffen, war ein Glücksfall. Ein einziges Mal konnte ein Männchen bei der Eiablage beobachtet werden (Abb. 129 und Abb. 130, S. 57). Die glockenartigen Rufe einzelner Paare, die des Männchens etwas lauter als die des Weibchens, waren aber von April bis August zu hören. Während der ganzen Beobachtungszeit blieben die Paare ihren jeweiligen Landstandorten treu (Abb. 131 – Abb. 134, S. 57). Die Männchen verliessen diese nur, zum Teil sogar mehrmals, zum Absetzen der schlupffreien Larven.

Feuersalamander konnten als reine Landbewohner nur in regnerischen Nächten auf Streifzügen durchs feuchte Gras angetroffen werden. Obwohl sie ihre Larven hauptsächlich in Fliessgewässern absetzen, konnten in den Teichen mehrmals Feuersalamanderlarven beobachtet werden (Abb. 138 und Abb. 139, S. 58). Gelbbauchunken hingegen waren von April bis September in allen vier Teichen Dauergäste und auch tagsüber zu beobachten. Sie waren im Gegensatz zu allen anderen Amphibienarten nicht besonders scheu und liessen sich in entspannter Körperhaltung, im Wasser hängend langsam durch das Teichwasser treiben (Abb. 123 – Abb. 128, S. 56).

Dieses Kapitel wird mit der Fotodokumentation abgeschlossen, die die in diesem Abschnitt erwähnten Abbildungen, nach Amphibienart aufgliedert, enthält.

#### 4.5.1 Erdkröte (*Bufo bufo*)



Abb. 111: Erdkröten bei der Paarung (März, Teich 1), das Weibchen ist deutlich grösser als das Männchen.

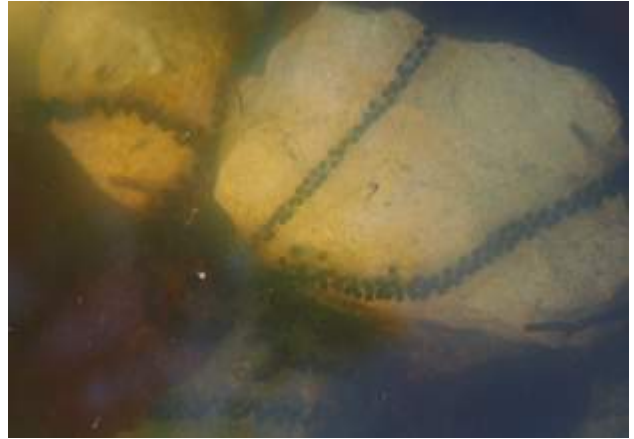


Abb. 112: Laichschnüre der Erdkröte (April, Teich 1) in denen die schwarzen Eier zweireihig angeordnet sind.



Abb. 113: Die Kaulquappen der Erdkröte (Mai, Teich 1) bewegen sich in Schwärmen und schwimmen synchron. Sie schützen sich durch unbedenkliche Substanzen vor Fressfeinden und waren für lange Zeit und in grosser Zahl in den Teichen zu beobachten.



Abb. 114: Die Pupillen der Erdkröten liegen waagrecht in der kupferfarbenen Iris, das Trommelfell ist schlecht sichtbar (September, Landstandort).



Abb. 115: Erdkröte (September, Teich 1) Die Haut ist warzig, die Grundfarbe der Oberseite ist grünlich braun und die Hinterbeine sind im Vergleich zu den Fröschen kurz.



Abb. 116: Erdkröte (Oktober, Teich 3) Die Gesamtkörperlänge beträgt bis zu 13 cm, die Bauchseite ist weisslich mit olivem Fleckenmuster.



#### 4.5.2 Grasfrosch (*Rana temporaria*)



Abb. 117: Grasfrösche bei der Paarung (März, Teich 1), die Weibchen sind nur wenig grösser als die Männchen.



Abb. 118: Grasfroschlaich (April, Teich 3), wird in Ballen an seichten Stellen abgelegt. Die Larven bleiben, bis sie schwimmen können, in der Gallerte liegen.



Abb. 119: Kaulquappe eines Grasfrosches (Mai, Teich 3), die Grundfarbe ist braun mit bronze- und kupferfarbigen Flecken.



Abb. 120: Grasfrosch (Mai, Teich 1), die Färbung der Tiere variiert stark, die Grundfarbe kann rötlich, braun, ockerfarben oder grau sein, der Schläfenfleck ist dunkler.



Abb. 121: Grasfrosch (Mai, Teich 1), Gesamtlänge ca. 11 cm, die Körperoberseite kann schwach bis sehr stark gefleckt oder marmoriert sein, die Hinterbeine sind oft quergestreift.



Abb. 122: Grasfrosch (Mai, Teich 3), besitzt keine äusseren Schallblasen. Mit inneren Schallblasen wird ein nicht sehr lauter knurrender Ruf erzeugt.

### 4.5.3 Gelbbauchunke (*Bombina variegata*)



Abb. 123: Gelbbauchunke (Mai, Teich 1), hat eine auffällig schwarzgelb gefleckte Unterseite, die in Schreckstellung als Warnfarbe gezeigt wird. Kopf und Körper sind abgeflacht, die Schnauze ist rund.



Abb. 124: Gelbbauchunke (Juni, Teich 1) bei der Paarung. Das Weibchen wird in der Lendengegend und nicht wie bei den Erdkröten und Grasfröschen an den Schultern umklammert. Der Paarungsruf des Männchens ist ein regelmässig ausgestossenes uh-uh.



Abb. 125: Gelbbauchunke (Juni, Teich 1)  
Die Körperlänge beträgt ca. 5 cm, die Oberseite ist grau-grün und mit grossen Warzen besetzt.



Abb. 126: Gelbbauchunke (Juli, Teich 4), lässt sich bewegungslos und breitbeinig an der Oberfläche treiben. Die Schwimmhäute reichen bis zu den Zehenspitzen.



Abb. 127: Gelbbauchunke (Juli, Teich 1)  
Die Augen stehen nahe zusammen, die Pupillen sind dreiecks- bis herzförmig, das Trommelfell ist äusserlich nicht sichtbar.



Abb. 128: Gelbbauchunken im Tandem (Juli, Teich 1)  
Die Paarung und das Ablachen hat sich im Lauf des Sommers mehrmals wiederholt.



#### 4.5.4 Geburtshelferkröte (*Alytes obstetricans*)



Abb. 129: Männliche Geburtshelferkröte (Juni, Teich 2)  
Erst wenn die Larven schlupfreif sind, kommt das Männchen zum Teich. Die reifen Eier sind dunkel gefärbt.



Abb. 130: Die ersten Larven schlüpfen (Juni, Teich 2), sie sind gleich nach dem Schlupf beweglich und schwimmfähig. Die Fressfeinde lauern bereits.



Abb. 131: Geburtshelferkröte (Juli, Landstandort), die Grundfarbe der Oberseite ist grau bis lehmfarbig, der Bauch ist körnig und weisslich.



Abb. 132: Männliche Geburtshelferkröte (Juli, Landstandort) mit um die Fersengelenke gewickelten Eischnüren mit frischen, noch hell gefärbten Eiern. Die Paarung erfolgte an Land.



Abb. 133: Die Pupille der Geburtshelferkröte steht senkrecht, die Iris ist von schwarzen Adern durchzogen (Juli, Landstandort).



Abb. 134: Geburtshelferkröte (September, Landstandort) Die Körperlänge beträgt ca. 4.5 cm, die Gestalt ist zierlich, flach und gedungen.

#### 4.5.5 Kleiner Wasserfrosch (*Pelophylax lessonae*) und Teichfrosch (*P. esculentus*)



Abb. 135: Teichfrosch (Juni, Teich 3)  
Wegen der dunklen Flecken auf dem Rücken, der schwarzen Pigmentierung der Iris und des hellen Längsstreifens auf dem Rücken handelt es sich wahrscheinlich um einen Teichfrosch\*.



Abb. 136: Teichfrosch (Juni, Teich 3)  
Die Pupille des Wasserfrosches liegt waagrecht im Auge, die Iris ist während der Paarungszeit goldgelb gefärbt. Später im Jahr verliert sie diese Färbung wieder.



Abb. 137: Wasserfrosch\* (Oktober, Teich 3)

\*Die Unterscheidung zwischen Kleinem Wasserfrosch und Teichfrosch ist schwierig. Der Teichfrosch ist keine eigene Art, sondern ein Hybrid und muss sich zur Fortpflanzung mit einem Kleinen Wasserfrosch paaren. Die beiden Arten kommen immer gemeinsam vor und werden oft als Wasserfroschkomplex bezeichnet. Die Individuen der beiden Arten nennt man Wasserfrösche.

#### 4.5.6 Feuersalamander (Larven) (*Salamandra salamandra*)



Abb. 138: Salamanderlarve (Mai, Teich 3) in frühem Entwicklungsstadium. Sie ist am gelben Fleck an den Ansatzstellen der Gliedmassen erkennbar.



Abb. 139: Salamanderlarve (Juli, Teich 1) in spätem Entwicklungsstadium mit bereits erkennbarem Fleckenmuster. Die Kiemenbüschel erscheinen wegen der starken Durchblutung rot.



#### 4.5.7 Bergmolch (*Ichthyosaura alpestris*)



Abb. 140: Männlicher Bergmolch in seiner Wassertracht (Mai, Teich 3), Körperlänge ca. 8 cm, Bauch leuchtend orange und fleckenlos, Rückenkamm klein und glattrandig



Abb. 141: Bergmolch Weibchen (Mai, Teich 3), kräftiger und gedrungener als das Männchen, zur Paarungszeit wohlgenährt



Abb. 142: Bergmolch Weibchen bei der Eiablage (Mai, Teich 1). Die Eier werden mit den Hinterbeinen an Wasserpflanzen oder Falllaub angeheftet.



Abb. 143: Bergmolch Weibchen (September, Teich 3), im Herbst mit schlanker Körpergestalt, Oberseite mit grünlich und graubraun marmoriertem Fleckenmuster



Abb. 144: Larve eines Bergmolches (Mai, Teich 4) in frühem Entwicklungsstadium, stärker pigmentiert als die Larve des Fadenmolches im gleichen Entwicklungsstadium (Unterscheidung schwierig!)



Abb. 145: Larve eines Bergmolches (August, Teich 1) in spätem Entwicklungsstadium

#### 4.5.8 Fadenmolch (*Lissotriton helveticus*)



Abb. 146: Männlicher Fadenmolch (Mai, Teich 3), die zwei seitlichen Drüsenleisten auf dem Rücken geben dem Körper einen rechteckigen Querschnitt



Abb. 147: Weiblicher Fadenmolch (Mai, Teich 3), dunkler gefärbt als das Männchen, Körperlänge ca. 8 cm



Abb. 148: Der stumpfe Schwanz des männlichen Fadenmolches endet scharf abgesetzt in einem ca. 8 mm langen dunklen Faden (Mai, Teich 3)



Abb. 149: Bei der Paarung fächert das Männchen dem Weibchen mit schnellen Schwanzbewegungen Sexualduftstoffe zu. Die Schwimnhäute der Hinterbeine haben während der Paarungszeit eine auffällige, dunkle Färbung.



Abb. 150: Larve eines Fadenmolches (Juli, Teich 1) in frühem Entwicklungsstadium, schwächer pigmentiert als die Larve des Bergmolches im gleichen Entwicklungsstadium (Unterscheidung schwierig!)



Abb. 151: Larve eines Fadenmolches (Juni, Teich 1) in einem späteren Entwicklungsstadium

## 5 Diskussion

Abschliessend lässt sich festhalten, dass sich die Messwerte der physikalischen Faktoren, wie Temperatur und Sichttiefe, für die vier Teiche auf Grund ihrer Lage im Gelände merklich und andauernd voneinander unterscheiden. Bei den erhobenen chemischen Daten hingegen sind, abgesehen von einzelnen Ausnahmen, die Differenzen geringer. Schwankungen im jahres- oder tageszeitlichen Verlauf sind meist durch die aktuellen Pflanzenaktivitäten erklärbar. Es ist allerdings zu vermerken, dass die getätigten Messungen der abiotischen Faktoren Momentaufnahmen, also Aussagen über die Verhältnisse zum Zeitpunkt der Messung sind. Für eine detailliertere Analyse wäre eine kontinuierlichere Datenerhebungen mit präziseren Messmethoden nötig.

Die Lebensgemeinschaft des Planktons zeigte von Teich zu Teich erhebliche Unterschiede in Zusammensetzung und Dichte, so dass es oft möglich war, eine entnommene Wasserprobe aufgrund ihres Erscheinungsbildes ihrem Herkunftsteich zuzuordnen. Diese Unterschiede schienen aber in der Besiedelung des neu angelegten Teiches durch höhere Tiere keine grosse Rolle zu spielen. Sie erfolgte mit erstaunlicher Geschwindigkeit. Insekten eroberten das neugeschaffene Kleingewässer auf Grund ihrer Flugfähigkeit bereits in der Phase seiner Entstehung. Auch die Besiedelung durch die Amphibien erfolgte rasch. Erfreulicherweise haben sechs der acht beobachteten Amphibienarten, die in der Schweiz als *stark gefährdet* eingestufte Gelbbauchunken sogar vorzugsweise, den neu geschaffenen Teich zur Fortpflanzung angenommen. Auch Feuersalamanderlarven, die hohe Ansprüche an die Wasserqualität stellen, konnten sich in dem neuen Teich erfolgreich entwickeln. Es scheint so zu sein, dass in günstiger Umgebung, das heisst insbesondere in der Nähe von anderen Biotopen, die Neubesiedelung eines Teiches durch Pionierarten und Ubiquisten umgehend erfolgt. Das Habitat der höheren Tiere hat sich einfach um einen Teich erweitert.

Durch den direkten Vergleich der Teiche hat sich deutlich gezeigt, dass deren Verlandung eine natürliche Entwicklung ist. Ein Teich ist ein Sammelbecken für Nährstoffe. Der Stoffeintrag durch Falllaub, abgestorbene Pflanzen und Exkremete von Tieren ist naturgemäss grösser als der Stoffaustrag. Abgesehen von Insekten und Amphibien, die den Teich wieder verlassen, gibt es kaum Wege, auf denen Nährstoffe wieder aus einem stehenden Kleingewässer gelangen können. Wenn Laichgewässer periodisch austrocknen und so einem Überschuss an Fressfeinden entgegengewirkt wird, bietet sich den Pionierarten unter den Amphibien die Gelegenheit, sich wieder zahlreicher zu vermehren und so die Population auf längere Sicht konstant zu halten.

Die in diesem halben Jahr gemachten Beobachtung haben ergeben, dass die Existenz von ausgedehnten und vernetzten Gebieten, in denen sich Gewässer in verschiedenen Sukzessionsstadien befinden, eine wichtige Voraussetzung zur Erhaltung der einheimischen Arten ist. Damit eine Population auch ungünstige Perioden wie zum Beispiel Wetterextreme oder einen Überschuss an Fressfeinden verkraften kann, muss sie eine gewisse Grösse haben. Die unterschiedlichen Bedürfnisse verschiedener Arten verlangen ausserdem eine gewisse Uneinheitlichkeit des Entwicklungszustandes und der Struktur des Lebensraumes. Um das zu ermöglichen, könnte und müsste der zunehmenden Verinselung von naturnahen Lebensräumen durch die Erweiterung von bestehenden Schutzgebieten entgegengewirkt werden. In diesem Zusammenhang betrachtet, sind das Gebiet, auf dem sich die vier beobachteten Teiche befinden, und die Grössen der darauf lebenden Populationen erschreckend klein.



## 6 Schlusswort

Die vielen Stunden am Teich und hinter dem Mikroskop waren interessant, meistens abwechslungsreich, in jedem Fall lehrreich und haben sehr viel Spass gemacht.

Tiere zu fotografieren ist mehr ein Zustand als eine Tätigkeit. In einer Bereitschaftshaltung, aber ohne Möglichkeit die Dinge zu forcieren oder zu beschleunigen, musste ich lernen zu warten. Im Verlauf der Beobachtungszeit hat sich die Lust am Sammeln von Daten und Bildern immer mehr gesteigert und in verschiedene Richtungen ausgedehnt. Die Herausforderung, aus der Fülle an Daten, Bildern und Beobachtungen am Schluss eine Arbeit zu machen, war gross und der Wunsch, immer noch mehr Fotos zu machen, nicht besonders hilfreich. Statt die Fragestellung zunehmend einzuschränken, hat sich durch die Beobachtungen am Teich das Feld eher ausgeweitet und die Arbeit ist etwas lang geworden.

Ich möchte trotz dieser Bedenken und Schwierigkeiten die Freude, die mir diese Arbeit bereitet hat, ins Zentrum stellen. Dass man an einem bestimmten Fleck, so viele verschiedene Formen des Lebens entdecken kann, war eine absolut bereichernde Erfahrung.

Ich bedanke mich bei meiner Betreuerin, Frau Dr. Barbara Weber, für ihre positive und ermutigende Unterstützung und die wichtigen Hinweise, die sie mir gegeben hat. Auch meiner Familie, die mich auf manchen meiner nächtlichen Ausflüge begleitet hat und sich von meiner Amphibienbegeisterung anstecken liess, möchte ich herzlich danken.



*Abb. 152: Schlussbild: Teich 1 am 31. Dezember 2019 von einer Eisschicht bedeckt*

## 7 Verzeichnisse

### 7.1 Literaturverzeichnis

- [1] L. Sigg und W. Stumm, Aquatische Chemie, eine Einführung in die Chemie wässriger Lösungen und in die Chemie natürlicher Gewässer, Zürich: Verlag der Fachvereine, 1991.
- [2] W. Lampert und U. Sommer, Limnoökologie, New York: Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1999.
- [3] W. Eisner, P. Gietz, M. Gaser und weitere, Elemente, Grundlagen der Chemie, Zug: Klett und Balmer Verlag, 2007.
- [4] W. Schönborn und U. Risse-Buhl, Lehrbuch der Limnologie, Stuttgart: Schweizerbart, 2013.
- [5] K. L. Zürich, „Wasser,“ Gesundheitsdirektion Kanton Zürich, 2019. [Online]. Available: <https://kl.zh.ch/internet/gesundheitsdirektion/klz/de/wasser.html>. [Zugriff am 25 Oktober 2019].
- [6] D. Baron, J. Braun, U. Hector und und weitere, Biologie Heute, Braunschweig: Schulbuchverlag, 2012.
- [7] W. Eisner, P. Gietz, A. Justus , K. Laitenberger und A. Glasner, Elemente, Grundlagen der Chemie für Schweizer Maturitätsschulen, Zug: Klett und Balmer Verlag, 2007.
- [8] D. Glandt, Praktische Kleingewässerkunde, Bielefeld: Laurenti-Verlag, 2006.
- [9] R. Z. H. P. Drews, Kleingewässerkunde, Wiesbaden: Quelle & Meyer Verlag, 1995.
- [10] W. Engelhardt, Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher, Stuttgart: Franckh-Kosmos Verlag, 2008.

- [11] K.-H. Linne von Berg, K. Hoef-Emden, B. Marin und M. Melkonian, Der Kosmos-Algenführer, Stuttgart: Franckh-Kosmos Verlag, 2004.
- [12] H. Strebele, D. Krauter und A. Bäuerle, Das Leben im Wassertropfen, Kosmos , 2017 (13. Auflage).
- [13] Bundesamt für Landestopografie, „geo.admin.ch,“ 2019. [Online]. Available: <https://map.geo.admin.ch>. [Zugriff am 10 Juni 2019].
- [14] K. Loeffel, C. Meier, A. Hofmann und H. Cigler, «Praxishilfe zur Auwertung und Neuschaffung von Laichgewässer für Amphibien,» Amt für Landwirtschaft und Natur, Baudirektion Kanton Zürich, Zürich, 2009.
- [15] Baudirektion, Kägi, „Dürnten\_2.3.2015.fm - SVO\_Duernten\_Loorentobel.pdf,“ März 2017. [Online]. Available: [http://maps.zh.ch/system/docs/aln\\_fns/svo\\_zh/SVO\\_Duernten\\_Loorentobel.pdf](http://maps.zh.ch/system/docs/aln_fns/svo_zh/SVO_Duernten_Loorentobel.pdf). [Zugriff am 15 Juni 2019].
- [16] AWEL Kanton Zürich, „Integrale Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet der Jona,“ Hunziker Betatech, Winterthur, 2018.
- [17] Kursch, „Secchi-Scheibe – Wikipedia,“ 10 10 2019. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Secchi-Scheibe>. [Zugriff am 10 6 2019].
- [18] H. Schwab, Süsswassertiere, ein ökologisches Bestimmungsbuch, Stuttgart: Ernst Klett Schulbuchverlag, 1995.
- [19] U. Pfändler, „Hauptseite - Libellenschutz,“ 2019. [Online]. Available: <https://libellenschutz.ch/>. [Zugriff am 10 November 2019].
- [20] A. Meyer, S. Zumbach, B. Schmidt und J.-C. Monney, Auf Schlangenspuren und Krötenpfaden, Amphibien und Reptilien der Schweiz, Bern: Haupt Verlag, 2. Auflage: 2014 .

- [21] i. f. CSCF&karch, „Koordinationsstelle für Amphibien- & Reptilienschutz in der Schweiz (karch),“ 2018. [Online]. Available: <http://www.unine.ch/karch/de/home/amphibien.html>. [Zugriff am 20 Dezember 2019].
- [22] Z. Kantonales Labor, „[https://kl.zh.ch/internet/gesundheitsdirektion/klz/de/wasser/trinkwasser/\\_jcr\\_content/contentPar/downloadlist/downloaditems/42\\_1353510160508.spooler.download.1464350601699.pdf/wasserhaerten\\_kt\\_zh.pdf](https://kl.zh.ch/internet/gesundheitsdirektion/klz/de/wasser/trinkwasser/_jcr_content/contentPar/downloadlist/downloaditems/42_1353510160508.spooler.download.1464350601699.pdf/wasserhaerten_kt_zh.pdf),“ 2016. [Online].
- [23] AWEL, „Niederschlag,“ 25 10 2019. [Online]. Available: <https://awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/wasser/messdaten/niederschlag.htm#aktuelle-daten>. [Zugriff am 25 Oktober 2019].
- [24] R. Wittenberg, M. Kenis und T. Blick, „Gebietsfremde Arten in der Schweiz, UW-0629-E,“ Bundesamt für Umwelt BAFU, 2006.



## 7.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. Titelblatt: Fotografien von Felix Baur, aufgenommen im Sommer und Herbst 2019	
Abb. 1: Lage der ehemaligen Kiesgrube auf einem Kartenausschnitt aus dem Kartenportal der Schweizerischen Eidgenossenschaft [13], die rote Markierung zeigt die ungefähre Lage des neuen Teiches. ....	15
Abb. 2: Karte aus der Verfügung über den Schutz des Waldstandortes von naturkundlicher Bedeutung [15, p. 7], Objekt Nr. 10b: Trockenstandort Loorentobel-Ballikon, Naturschutzzone I und Waldschutzzone IVA .....	16
Abb. 3: Kartenausschnitt mit Markierungen aus dem Kartenportal der Schweizerischen Eidgenossenschaft [13] .....	16
Abb. 4: Lage der stillgelegten Kiesgrube auf einem Ausschnitt aus der geologischen Karte der Schweiz [13] .....	17
Abb. 5: Sandstein und Konglomerat .....	17
Abb. 6: Die Teiche im März 2019.....	17
Abb. 7: Die Teiche im Mai 2019.....	17
Abb. 8: Die Teiche im Oktober 2019.....	17
Abb. 9: Lage der Teiche am Ende eines Abtragungshangs einer stillgelegten Kiesgrube.	18
Abb. 10: Steinhäufen als Unterschlupf für Amphibien.....	18
Abb. 11: Alte Fassung an der Oberkante der Kieswand.....	18
Abb. 12: Moosüberwachsene Austrittsstelle des Quellwassers in der Höhle unter dem Baumstrunk .....	18
Abb. 13: Teich 1, Mai 2018.....	19
Abb. 14: Tief- und Flachwasserzone in Teich 1 .....	19
Abb. 15: Teich 4, 11. März 2018.....	19
Abb. 16: Masse der Teiche .....	21
Abb. 17: Secchi-Scheibe aus einer alten CD.....	22
Abb. 18: Secchi-Scheibe wird im Wasser versenkt.....	22
Abb. 19: Secchi-Scheibe, kurz vor der Sichtbarkeitsgrenze .....	22

Abb. 20: Langzeittest für CO <sub>2</sub> .....	24
Abb. 21: Farbtabelle für den CO <sub>2</sub> -Test .....	24
Abb. 22: Sauerstofftest vom 23.7.2019.....	24
Abb. 23: Sauerstoff-Test, 25.5.19 .....	24
Abb. 24: Wassertemperatur in den vier Teichen von April bis Ende Oktober .....	27
Abb. 25: Sichttiefe in den vier Teichen von April bis Ende Oktober.....	28
Abb. 26: pH-Werte in den vier Teichen von April bis Ende Oktober .....	29
Abb. 27: Niederschlagsmengen der Messstation Rapperswil-Jona [23].....	31
Abb. 28: Sauerstoffgehalt in mg/Liter in den vier Teichen von Mai bis Oktober.....	32
Abb. 29: Blasen während der Algenblüte an der Wasseroberfläche (Juni, Teich 2) .....	32
Abb. 30: Abgestorbene Algen nach der Algenblüte, Teich 2, 22.7.2019.....	33
Abb. 31: Teich 1 links, Teich 2 rechts (August) .....	34
Abb. 32: Teich 2 im August, bedeckt mit einer Schicht aus abgestorbenen Algen .....	34
Abb. 33: Tote Grünblaue Mosaikjungfer, Weibchen (Teich 3) .....	35
Abb. 34: Bergmolchweibchen untersucht eine tote Libelle .....	35
Abb. 35: Mehrere Gelbrandkäfer fressen an der Leiche der Grosslibelle .....	35
Abb. 36: Gefressen wurde das nährstoffreiche Gehirn.....	35
Abb. 37: Wasserprobe aus Teich 1 mit Kieselalge, Grünalgen, Cyanobakterien, 400-fache Vergrößerung, August.....	36
Abb. 38: Wasserprobe aus Teich 1, 400-fache Vergrößerung, November.....	36
Abb. 39: Blaualgenkolonie: Coelosphaerium, Zellen 2-4 µm, Kolonien 20–100 µm (Teich 1) .....	36
Abb. 40: Zellfäden der Blaualge der Gattung Anabaena mit Heterocysten, (Teich 1).....	36
Abb. 41: Cyanobakterium (Teich 1) Heterocyste ca. 8 µm lang.....	36
Abb. 42: Blaualge der Gattung Nostoc, Zellfäden in Gallertlagern (Teich 3) .....	37
Abb. 43: Ausschnitt aus Abb. 42, Durchmesser der einzelnen Zelle 4 – 7 µm (Teich 3) ...	37
Abb. 44: Pennate Kieselalge, (Teich 1), Länge ca. 30 µm.....	37

Abb. 45: Pennate Kieselalge (Teich 1), Länge ca. 60 µm.....	37
Abb. 46: Kieselalge der Ordnung Centrales, (Teich 1) .....	37
Abb. 47: Alge der Gattung Chlamydomonas (Teich 3), einzellige, geisselbewegliche Algen, Durchmesser 30 – 50 µm .....	38
Abb. 48: Alge der Gattung Closterium (Teich 1), mit aufgereihten Stärkekörner und an den farblosen Zellenden je einer Vakuole, Länge ca. 200 µm .....	38
Abb. 49: Alge der Gattung Scenedesmus (Teich 1), meist in Verbänden von vier Zellen, einzelne Zelle etwa 10 µm lang, unbegeißelt, die borstenartigen Fortsätze an den zwei Endzellen der Kolonie dienen dem Frassschutz .....	38
Abb. 50: Alge der Gattung Pediastrum (Teich 3), runde, scheibenförmige Kolonie aus 16 Zellen, Durchmesser ca. 50 µm, unbegeißelt.....	38
Abb. 51: Wasserprobe von Teich 1, 1000-fache Vergrößerung .....	39
Abb. 52: Fadenbildende, unverzweigte Grünalgen mit regelmässigen Querwänden aus Teich 2, Algenblüte.....	39
Abb. 53: Armleuchteralge der Gattung Chara. Grosse, fädige Alge mit einer Hauptachse, deren Zellen bis 1 cm lang sind, vor allem im Teich 3, bildet zum Teil Unterwasserwiesen .....	39
Abb. 54: Grünlich gefärbte Wasserprobe aus Teich 1, 10 Tage nach Entnahme. Entwicklung von mikroskopischen Grünalgenkolonien .....	39
Abb. 55: Schraubenalge der Gattung Spirogyra mit unverzweigten Zellfäden und spiralförmig gewundenen Chloroplasten, massenhafte Vermehrung, Durchmesser ca. 20 µm Teich 239	
Abb. 56: Vergrößerung einer Armleuchteralge aus Teich 3, .....	39
Abb. 57: Alge der Gattung Euglena (Teich 1), ca. 25 µm lang, mit Geissel und Augenfleck, kann die Form der Zelle stark verändern .....	40
Abb. 58: Augenflagellat der Gattung Trachelomonas (Teich 3), Körper ca. 30 µm, Geissel doppelt so lang wie der Körper .....	40
Abb. 59: Dinoflagellat der Gattung Peridinium (Teich 1) mit typischer Längsfurche und Geissel, Durchmesser ca. 50 µm.....	40
Abb. 60: Abgeworfener Panzer eines Dinoflagellaten (Teich 1).....	40
Abb. 61: Pantoffeltierchen (Teich 1) bei beginnender Zellteilung.....	41

Abb. 62: Nacktamöbe (Teich 1), verändert fortwährend ihre Gestalt, ernährt sich unter anderem von Flagellaten .....	41
Abb. 63: Schalenamöbe (Teich 1), Scheinfüsschen (Pseudopodien) ragen aus der Schalenöffnung.....	41
Abb. 64: Kugelförmiges Sontentierchen (Teich 1), Scheinfüsschen (Axopodien) verlaufen strahlenförmig nach aussen, sind giftig und dienen der Betäubung der Beute .....	41
Abb. 65: Rädertierchen (Teich 1) mit durchsichtigem, sackförmigem Körper .....	41
Abb. 66: Blattfusskrebs der Gattung Daphnia (Teich 3) beim Filtrieren von Plankton .....	41
Abb. 67: Muschelkrebs (Teich 1), Körper ist in eine zweiklappige Schale eingeschlossen, 7 Extremitätenpaare dienen als Schwimmruder, Fresswerkzeuge oder der Fortbewegung.	41
Abb. 68: Ruderfusskrebs (Teich 1), das grosse Antennenpaar ist ein Sinnesorgan und wird vor jedem Schwimmsprung an den Körper angelegt .....	41
Abb. 69: Naupliuslarve eines Ruderfusskrebses mit nur drei Extremitätenpaaren und ein einfach vorhandenes Auge in der Mitte der Stirn.....	41
Abb. 70: Wasserproben Teich 1 (links) und Teich 3 (rechts), entnommen am 24.11.2019	42
Abb. 71: Vergrösserung (Makrofotographie) der Wasserprobe aus Teich 3 aus Abb. 70 mit zahlreichen Wasserflöhen und Insektenlarven .....	42
Abb. 72: männlicher Gelbrandkäfer (Teich 3), im Gegensatz zum Weibchen ohne Rückenfurung, Schwimmhaare an den Beinen.....	43
Abb. 73: Furchenschwimmer (Teich 1) mit typisch gezeichnetem Halsschild und einem sichtbar geöffneten rechten Atemloch (Stigma) am Hinterleib.....	43
Abb. 74: Larve eines Gelbrandkäfers (Teich 1) .....	44
Abb. 75: Gelbrandkäferlarve frisst eine Kaulquappe (Teich 1) .....	44
Abb. 76: Furchenschwimmer (Teich 1) frisst an einer toten Bergmolchlarve.....	44
Abb. 77: Rückenschwimmer (im Teich 4) ergreifen eine Heuschrecke und ziehen sie unter Wasser .....	44
Abb. 78: Rückenschwimmer beim Aussaugen einer Schlupfwespe (Teich 1) .....	44
Abb. 79: Rückenschwimmer (Teich 1) dreht sich im Wasser auf den Bauch.....	45
Abb. 80: Rückenschwimmer (Teich 1) an Land vor dem Abflug in einen anderen Teich...	45



Abb. 81: Gemeiner Teichläufer mit stark verlängertem Kopf-, Brust- und Hinterleibssegment (Teich 3) .....	45
Abb. 82: Wasserläufer (Teich 1) .....	45
Abb. 83: Zwergbachläufer beim Fressen (Teich 3).....	45
Abb. 84: Wasserläufer (Teich 1) beim Aussagen seiner Beute .....	45
Abb. 85: Larve einer Büschelmücke, Länge ca. 12 mm (Teich 1).....	46
Abb. 86: Larve einer Waffenfliege (aus der Ordnung der Zweiflügler), Länge ca. 40 mm (Teich 3) .....	46
Abb. 87: Larve einer Waffenfliege beim Fressen (Teich 3).....	46
Abb. 88: Eintagsfliegenlarve mit den drei typischen Schwanzanhängen und seitlichen Tracheenkiemen (Teich 1).....	46
Abb. 89: Eintagsfliegenlarven in verschiedenen Grössen (Teich 1).....	47
Abb. 90: Eintagsfliegenlarve unter dem Mikroskop (Teich 1).....	47
Abb. 91: Libellenlarve aus der Familie der Schlanklibelle (Teich 1).....	47
Abb. 92: Libellenlarve einer Grosslibelle beim Fressen einer Kaulquappe (Teich 1).....	47
Abb. 93: Larve einer Köcherfliege in ihrem selbstgebauten Köcher aus Pflanzenmaterial (Teich 1) .....	47
Abb. 94: Larve einer Köcherfliege (Teich 1) .....	47
Abb. 95: <i>Libellula depressa</i> , Männchen, Körperlänge ca. 8 cm (Juni, Teich 3) .....	48
Abb. 96: <i>Libellula depressa</i> , Weibchen (Juni, Teich 1).....	48
Abb. 97: <i>Libellula quadrimaculata</i> , Körperlänge ca. 5 cm, beide Geschlechter gleich (Juli, Teich 3).....	48
Abb. 98: <i>Libellula quadrimaculata</i> , auffällig und namengebend sind die dunklen Flecken am Vorderrand der Flügel (Juli, Teich 3) .....	48
Abb. 99: Porträt eines Weibchens einer Blaugrünen Mosaikjungfer, Körperlänge ca. 7 cm, Flügelspannweite ca. 10 cm (August, Teich 1).....	49
Abb. 100: Blaugrüne Mosaikjungfer bei der Eiablage (September, Teich 1) .....	49
Abb. 101: Heidelibelle (August, Teich 3).....	49

Abb. 102: Heidelibelle (August, Teich 4).....	49
Abb. 103: Azurjungfer (Coengarion puella) Männchen (Juni, Teich 1), häufigste und am weitesten verbreitete Kleinlibelle der Schweiz (Ubiquist).....	50
Abb. 104: Azurjungferpaar (Juni, Teich 1). Zur Eiablage setzten sich die Weibchen mit dem Männchen im Nacken auf eine Wasserpflanze.....	50
Abb. 105: Frühe Adonislibelle (Pyrrhosoma nymphula), Männchen (Mai, Teich 3) .....	50
Abb. 106: Paar der Frühen Adonislibelle bei der Eiablage (Teich 3) .....	50
Abb. 107: Spitzschlammschnecke (Lymnaea stagnalis) füllt die Mantelhöhlen an der Wasseroberfläche mit Luft (Teich 1).....	51
Abb. 108: Spitzschlammschnecke beim Fressen von abgestorbenem Pflanzenmaterial (Teich 1) .....	51
Abb. 109: Blasenschnecke (Teich 1), Höhe ca. 12 mm, Breite ca. 7 mm.....	51
Abb. 110: Blasenschnecken (Teich 1) haben lange dünne Fühler, das Gehäuse ist linksgewunden.....	51
Abb. 111: Erdkröten bei der Paarung (März, Teich 1), das Weibchen ist deutlich grösser als das Männchen. ....	54
Abb. 112: Laichschnüre der Erdkröte (April, Teich 1) in denen die schwarzen Eier zweireihig angeordnet sind. ....	54
Abb. 113: Die Kaulquappen der Erdkröte (Mai, Teich 1) bewegen sich in Schwärmen und schwimmen synchron. Sie schützen sich durch unbekömmliche Substanzen vor Fressfeinden und waren für lange Zeit und in grosser Zahl in den Teichen zu beobachten. ....	54
Abb. 114: Die Pupillen der Erdkröten liegen waagrecht in der kupferfarbenen Iris, das Trommelfell ist schlecht sichtbar (September, Landstandort). ....	54
Abb. 115: Erdkröte (September, Teich 1) Die Haut ist warzig, die Grundfarbe der Oberseite ist grünlich braun und die Hinterbeine sind im Vergleich zu den Fröschen kurz. ....	54
Abb. 116: Erdkröte (Oktober, Teich 3) Die Gesamtkörperlänge beträgt bis zu 13 cm, die Bauchseite ist weisslich mit olivem Fleckenmuster.....	54
Abb. 117: Grasfrösche bei der Paarung (März, Teich 1), die Weibchen sind nur wenig grösser als die Männchen.....	55

Abb. 118: Grasfroschlaich (April, Teich 3), wird in Ballen an seichten Stellen abgelegt. Die Larven bleiben, bis sie schwimmen können, in der Gallerte liegen.....	55
Abb. 119: Kaulquappe eines Grasfrosches (Mai, Teich 3), die Grundfarbe ist braun mit bronze- und kupferfarbigen Flecken. ....	55
Abb. 120: Grasfrosch (Mai, Teich 1), die Färbung der Tiere variiert stark, die Grundfarbe kann rötlich, braun, ockerfarben oder grau sein, der Schläfenfleck ist dunkler.....	55
Abb. 121: Grasfrosch (Mai, Teich 1), Gesamtlänge ca. 11 cm, die Körperoberseite kann schwach bis sehr stark gefleckt oder marmoriert sein, die Hinterbeine sind oft quergestreift. ....	55
Abb. 122: Grasfrosch (Mai, Teich 3), besitzt keine äusseren Schallblasen. Mit inneren Schallblasen wird ein nicht sehr lauter knurrender Ruf erzeugt.....	55
Abb. 123: Gelbbauchunke (Mai, Teich 1), hat eine auffällig schwarzgelb gefleckte Unterseite, die in Schreckstellung als Warnfarbe gezeigt wird. Kopf und Körper sind abgeflacht, die Schnauze ist rund.....	56
Abb. 124: Gelbbauchunke (Juni, Teich 1) bei der Paarung. Das Weibchen wird in der Lendengegend und nicht wie bei den Erdkröten und Grasfröschen an den Schultern umklammert. Der Paarungsruf des Männchens ist ein regelmässig ausgestossenes uh-uh. ....	56
Abb. 125: Gelbbauchunke (Juni, Teich 1) Die Körperlänge beträgt ca. 5 cm, die Oberseite ist graugrün und mit grossen Warzen besetzt. ....	56
Abb. 126: Gelbbauchunke (Juli, Teich 4), lässt sich bewegungslos und breitbeinig an der Oberfläche treiben. Die Schwimmhäute reichen bis zu den Zehenspitzen.....	56
Abb. 127: Gelbbauchunke (Juli, Teich 1) Die Augen stehen nahe zusammen, die Pupillen sind dreiecks- bis herzförmig, das Trommelfell ist äusserlich nicht sichtbar.....	56
Abb. 128: Gelbbauchunken im Tandem (Juli, Teich 1) Die Paarung und das Ablachen hat sich im Lauf des Sommers mehrmals wiederholt.....	56
Abb. 129: Männliche Geburtshelferkröte (Juni, Teich 2) Erst wenn die Larven schlupffrei sind, kommt das Männchen zum Teich. Die reifen Eier sind dunkel gefärbt.....	57
Abb. 130: Die ersten Larven schlüpfen (Juni, Teich 2), sie sind gleich nach dem Schlupf beweglich und schwimmfähig. Die Fressfeinde lauern bereits.....	57

Abb. 131: Geburtshelferkröte (Juli, Landstandort), die Grundfarbe der Oberseite ist grau bis lehmfarbig, der Bauch ist körnig und weisslich. ....	57
Abb. 132: Männliche Geburtshelferkröte (Juli, Landstandort) mit um die Fersengelenke gewickelten Eischnüren mit frischen, noch hell gefärbten Eiern. Die Paarung erfolgte an Land.....	57
Abb. 133: Die Pupille der Geburtshelferkröte steht senkrecht, die Iris ist von schwarzen Adern durchzogen (Juli, Landstandort).....	57
Abb. 134: Geburtshelferkröte (September, Landstandort) Die Körperlänge beträgt ca. 4.5 cm, die Gestalt ist zierlich, flach und gedrunge.....	57
Abb. 135: Teichfrosch (Juni, Teich 3) Wegen der dunklen Flecken auf dem Rücken, der schwarzen Pigmentierung der Iris und des hellen Längsstreifens auf dem Rücken handelt es sich wahrscheinlich um einen Teichfrosch* . ....	58
Abb. 136: Teichfrosch (Juni, Teich 3) Die Pupille des Wasserfrosches liegt waagrecht im Auge, die Iris ist während der Paarungszeit goldgelb gefärbt. Später im Jahr verliert sie diese Färbung wieder.....	58
Abb. 137: Wasserfrosch* (Oktober, Teich 3).....	58
Abb. 138: Salamanderlarve (Mai, Teich 3) in frühem Entwicklungsstadium. Sie ist am gelben Fleck an den Ansatzstellen der Gliedmassen erkennbar.....	58
Abb. 139: Salamanderlarve (Juli, Teich 1) in spätem Entwicklungsstadium mit bereits erkennbarem Fleckenmuster. Die Kiemenbüschel erscheinen wegen der starken Durchblutung rot. ....	58
Abb. 140: Männlicher Bergmolch in seiner Wassertracht (Mai, Teich 3), Körperlänge ca. 8 cm, Bauch leuchtend orange und fleckenlos, Rückenkehl klein und glattrandig .....	59
Abb. 141: Bergmolch Weibchen (Mai, Teich 3), kräftiger und gedrungener als das Männchen, zur Paarungszeit wohlgenährt.....	59
Abb. 142. Bergmolch Weibchen bei der Eiablage (Mai, Teich 1). Die Eier werden mit den Hinterbeinen an Wasserpflanzen oder Falllaub angeheftet. ....	59
Abb. 143: Bergmolch Weibchen (September, Teich 3), im Herbst mit schlanker Körpergestalt, Oberseite mit grünlich und graubraun marmoriertem Fleckenmuster.....	59



Abb. 144: Larve eines Bergmolches (Mai, Teich 4) in frühem Entwicklungsstadium, stärker pigmentiert als die Larve des Fadenmolches im gleichen Entwicklungsstadium (Unterscheidung schwierig!)	59
Abb. 145: Larve eines Bergmolches (August, Teich 1) in spätem Entwicklungsstadium	59
Abb. 146: Männlicher Fadenmolch (Mai, Teich 3), die zwei seitlichen Drüsenleisten auf dem Rücken geben dem Körper einen rechteckigen Querschnitt	60
Abb. 147: Weiblicher Fadenmolch (Mai, Teich 3), dunkler gefärbt als das Männchen, Körperlänge ca. 8 cm	60
Abb. 148: Der stumpfe Schwanz des männlichen Fadenmolches endet scharf abgesetzt in einem ca. 8 mm langen dunklen Faden	60
Abb. 149: Bei der Paarung fächert das Männchen dem Weibchen mit schnellen Schwanzbewegungen Sexualduftstoffe zu. Die Schwimmhäute der Hinterbeine haben während der Paarungszeit eine auffällige, dunkle Färbung	60
Abb. 150: Larve eines Fadenmolches (Juli, Teich 1) in frühem Entwicklungsstadium, schwächer pigmentiert als die Larve des Bergmolches im gleichen Entwicklungsstadium (Unterscheidung schwierig!)	60
Abb. 151: Larve eines Fadenmolches (Juni, Teich 1) in einem späteren Entwicklungsstadium	60
Abb. 152: Schlussbild: Teich 1 am 31. Dezember 2019 von einer Eisschicht bedeckt	63

## **8 Eigenständigkeitserklärung**

Der Unterzeichnende bestätigt mit Unterschrift, dass die Arbeit selbständig verfasst und in schriftliche Form gebracht worden ist, dass sich die Mitwirkung anderer Personen auf Beratung und Korrekturlesen beschränkt hat und dass alle verwendeten Unterlagen und Gewährspersonen aufgeführt sind.

.....

Felix Baur