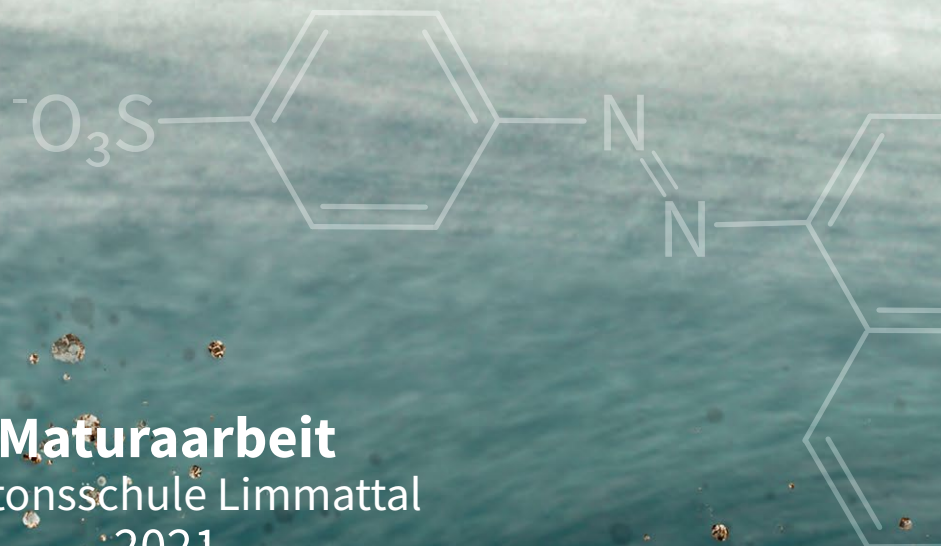
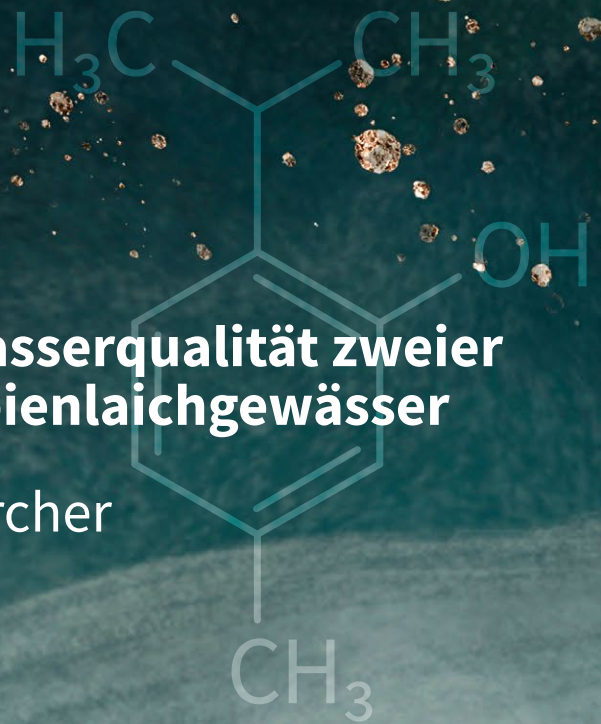
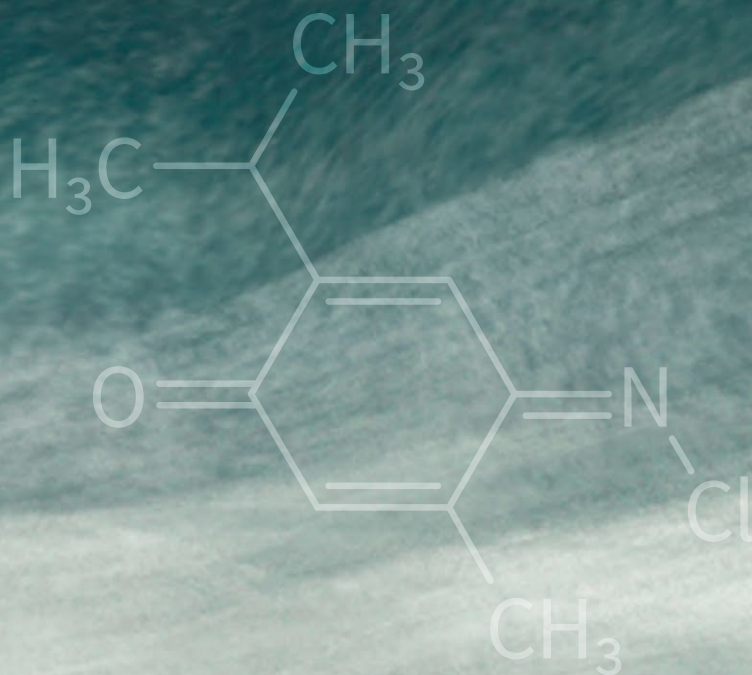


# Untersuchungen der Wasserqualität zweier neu sanierter Amphibienlaichgewässer

Anina Bircher



**Maturaarbeit**  
Kantonsschule Limmattal  
2021

Foto Titelseite: rawpixel, Freepik.com.

Diese Arbeit wird unter folgender Lizenz veröffentlicht: CC BY-NC-SA 4.0.

**UNTERSUCHUNGEN DER WASSERQUALITÄT ZWEIER  
NEU SANIERTER AMPHIBIENLAICHGEWÄSSER**

**Eine Maturitätsarbeit an der  
KANTONSSCHULE LIMMATTAL**

**vorgelegt von  
ANINA BIRCHER  
Klasse A6  
im Fach Chemie**

**betreut von  
Julian Brunner, MSc ETH**

## **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>5</b>
1.1 Gerhauweiher .....	5
1.2 Fragestellung und Hypothesen .....	6
<b>2. MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>6</b>
2.1 Sauerstoff und Wassertemperatur .....	6
2.2 Phosphat, Ammonium und Nitrat .....	7
2.3 Nitrit .....	10
2.4 Wasserhärte .....	10
2.5 pH-Wert .....	11
2.6 Transparenz .....	11
<b>3. RESULTATE .....</b>	<b>12</b>
3.1 Untersuchte Gewässer .....	12
3.2 Messwerte .....	12
3.3 Transparenz .....	12
3.4 Wassertemperatur.....	12
3.5 pH-Wert .....	13
3.6 Wasserhärte .....	14
3.7 Sauerstoffgehalt .....	14
3.8 Düngestoffe Ammonium, Nitrit und Nitrat .....	15
3.9 Phosphatgehalt .....	17
3.10. Vergleichsweiher in Obfelden .....	17
<b>4. DISKUSSION .....</b>	<b>18</b>
4.1 Beantwortung der Hypothesen .....	18
4.2 Charakterisierung der Gerhauweiher .....	20
4.3 Eignung als Laichgewässer .....	20
4.4 Fazit und Ausblick .....	21
<b>5. DANKSAGUNG .....</b>	<b>21</b>
<b>6. QUELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>22</b>
<b>ANHANG .....</b>	<b>24</b>
<b>EINHALTUNG RECHTLICHER VORGABEN .....</b>	<b>30</b>

## ABSTRACT

In der vorliegenden Arbeit wurde die Wasserqualität dreier Teiche eines Amphibienlaichgebiets von nationaler Bedeutung oberhalb der Gemeinde Hedingen untersucht (Gerhauweiher). Zwei der Teiche wurden im Herbst 2020 am Grund mit einer Folie abgedichtet, um sie vor dem Austrocknen zu bewahren. Gemessen wurden die Parameter Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Transparenz, Phosphat-, Ammonium-, Nitrit- und Ammoniumgehalt. Dies mit dem Ziel mögliche Probleme für die dort lebenden Amphibien festzustellen und um zu schauen, ob die Sanierung erfolgreich war. Als Vergleichsweiher dienten einerseits der dritte, nicht sanierte Gerhauweiher und andererseits zwei Weiher in Obfelden, welche vor sechzehn Jahren saniert wurden. Die Untersuchungen zeigten, dass die Gerhauweiher mesotroph bis eutroph sind und die Parameter bei den sanierten Gerhauweiher nicht wesentlich von den Daten der Vergleichsweiher abwichen. Allerdings waren noch grössere Schwankungen zu beobachten, wie dies bei sich entwickelnden Ökosystemen zu erwarten ist. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Sanierung erfolgreich war und die Amphibienpopulation der Gerhauweiher ihr Laichgebiet weiterhin nutzen kann.

## 1. EINLEITUNG

Amphibien leben, wie ihr wissenschaftlicher Name schon sagt, an Land und im Wasser. Ein wichtiger Teil ihres Lebens findet im Wasser statt, nämlich ihre Fortpflanzung. In der sogenannten Laichzeit wandern die Tiere zu ihrem Laichgewässer. Dort paaren sie sich, legen ihre Eier (Abb. 1) und wandern zurück an ihren Übersommerungsort. Später wandern sie weiter zum Überwinterungsort. Die Jungtiere verbringen einige Wochen bis Monate als Kaulquappen im Laichgewässer, bis die Metamorphose beendet ist. Die Jungtiere verlassen nun ebenfalls das Gewässer und kehren nach ein bis drei Jahren als ausgewachsene und somit geschlechtsreife Tiere zum Teich zurück [1]. Es entsteht ein ewiger Kreislauf [2].

Viele Ökosysteme sind in einem schlechten Zustand, was sich auch am Artenschwund bemerkbar macht. 71 Prozent der Gewässertypen sind stark gefährdet, darunter sämtliche Stillgewässer wie Weiher und Teiche. Zudem sind drei von vier Amphibienarten bedroht und stehen auf der roten Liste [3].

Teiche sind für den Fortbestand der Amphibien also essenziell. Die Gründe für den Verlust der Gewässer sind vielfältig: die Hauptrolle spielen dabei der Klimawandel, die Intensivierung der Landwirtschaft und die Zersiedlung der Landschaft. Deshalb muss für einen langfristigen Artenschutz sichergestellt werden, dass genügend Laichgewässer vorhanden sind und diese eine gute Qualität aufweisen [4]. Dabei sollte einerseits das Laichgewässer nahe beim Sommer- und Winterquartier der Amphibien liegen. Andererseits muss ein Laichgewässer vorhanden sein, welches nicht austrocknet und bei welchem die Wasserqualität für die Jungtiere stimmt.

Aufwertungs- und Renaturierungsmassnahmen zielen demnach darauf ab, dass die Laichgewässer ganzjährig nicht austrocknen und eine angemessene Wasserqualität aufweisen. Diese Massnahmen sind mit hohen Kosten

und Aufwand verbunden. Deshalb ist es im Interesse aller Beteiligten, dass das Laichgewässer auch tatsächlich nutzbar ist, und so der Rückgang der Amphibienpopulation bekämpft werden kann. Die Erhaltung und Verbesserung von bestehenden Laichgewässern ist umso wichtiger, da sogar bei Fachleuten der Erfolg einer Umsiedlung einer gefährdeten Population in ein anderes Laichgewässer umstritten ist [5].

### 1.1 Gerhauweiher

Bereits seit einigen Jahren gibt es das «Amphibienprojekt Hedingen» (siehe Anhang, S. 24, [6]). Es unterstützt die Wanderung der in der Umgebung vorkommenden Amphibien zu den Gerhauweiher, einem Laichgewässer nationaler Bedeutung (Objektnummer ZH 358, [7]). Mit einem Zaun entlang der Strasse werden die aus dem Wald zu den Teichen wandernden Amphibien abgefangen, damit sie auf der Strasse nicht überfahren werden (Abb. 5, S. 8). In den letzten Jahren war das Naturschutzgebiet im Frühling und im Sommer starker Hitze ausgesetzt und zwei Weiher trockneten aus. Diese Trockenheit schadete dem Ökosystem und vernichtete viel Laich, Jungtiere und andere Wasserlebewesen. Im letzten September bis November (am Ende der Vegetationszeit) wurden deshalb zwei der drei Weiher am Grund mit einer wasserdichten Folie abgedichtet, um das Versickern des Wassers zu stoppen. Der kleinere Teich wurde Anfang September neu saniert, der grössere Teich zwei Monate später.

Die Sanierung fand in Absprache mit der Gemeinde Hedingen statt. Unter der Leitung des Amphibienexperten Harald Cigler sanierten erfahrene Fachleute die beiden Teiche. Zusätzlich zur Folie wurde ein Abfluss eingerichtet, damit man den Teich im Falle von Verschlammung oder sonstigen Problemen (z.B. ausgesetzten Fischen) trockenlegen kann. Auf die Folie wurden Kies und grössere Steine geschüttet, Pflanzen wurden keine eingesetzt. Die Teiche werden seit der Sanierung ausschliesslich durch Niederschläge gespiesen (vorher: Zufluss aus Landwirtschaftsgebiet).

Eine erfolgreiche Sanierung der zwei Gerhauweiher ist im Interesse der Amphibien, der Mitglieder des Amphibienprojekts, der Gemeinde und der Steuerzahler. Mit den in dieser Arbeit vorgenommenen Messungen der Wasserqualität über einen längeren Zeitraum hinweg wird der Erfolg der Sanierungen überprüft. Die Ergebnisse der Arbeit sollen auch dazu dienen, allenfalls notwendige Korrekturen vornehmen zu können, um die Wasserqualität für die Amphibien zu optimieren.



Abb. 1: Grasfroschlaich und Erdkröten (Foto: Anina Bircher)

## 1.2 Fragestellung und Hypothesen

Die neu sanierten Gerhauweiher (Teiche 1 und 2) erschienen dem Laien als kahl und unwirtlich. Es stellte sich deshalb die Frage, ob diese Teiche für die Amphibien nach der Sanierung als Laichgebiete taugten. In der Literatur waren nur wenige und teilweise widersprüchliche Angaben zur idealen Wasserqualität zu finden. So konnte die Studie von Stumpel und van der Voet in etablierten Teichen einen negativen Zusammenhang zwischen der Menge an Düngestoffe im Wasser und dem Vorkommen von Grasfroschlarchen zeigen. Bei neu angelegten Teichen war dieser Zusammenhang nicht nachweisbar [8]. Für Molchlarven scheint dagegen ein höherer pH-Wert und eine grössere Ionenmenge vorteilhaft für die Entwicklung der Larven zu sein [9].

In dieser Arbeit wurden deshalb folgende Fragen bearbeitet und die unten stehenden Hypothesen aufgestellt.

### Fragen zu Hypothesen 1 bis 5

Wie verändern sich verschiedene Parameter während der Laichzeit 2021 in den neu angelegten Teichen (Teiche 1 und 2)? Welche grundlegenden Unterschiede bestehen zwischen den zwei sanierten Teichen und dem nicht sanierten Teich (Teich 3)?

**Hypothese 1:** Die sanierten Teiche weisen geringere Phosphat-, Ammonium-, Nitrit- und Nitratkonzentrationen auf als der nicht sanierte Teich.

**Begründung:** Der nicht sanierte Teich wird von Wasser aus der Landwirtschaftszone gespiesen.

**Hypothese 2:** Die sanierten Teiche weisen einen tieferen pH-Wert und eine geringere Wasserhärte auf als der nicht sanierte Teich.

**Begründung:** Der nicht sanierte Teich wird von Wasser aus kalkhaltigem Untergrund gespiesen, die sanierten Teiche mit Regenwasser.

**Hypothese 3:** Die sanierten Teiche weisen eine höhere Wassertemperatur auf als der nicht sanierte Teich.

**Begründung:** Der nicht sanierte Teich wird von kühlem Wasser gespiesen und ist stark bewachsen.

**Hypothese 4:** Die sanierten Teiche weisen einen tieferen Sauerstoffgehalt auf als der nicht sanierte Teich.

**Begründung:** Der nicht sanierte Teich enthält viele Wasserpflanzen.

**Hypothese 5:** Die Werte der sanierten Teiche schwanken stark.

**Begründung:** Der nicht sanierte Teich ist ein funktionierendes Ökosystem mit vielen Wasserorganismen, die sanierten Teiche nicht.

### Fragen zur Hypothese 6

Weichen die Parameterwerte der Gerhauweiher von den Werten zweier schon länger sanierter Teiche ab (Vergleichsteiche: Teiche 4 und 5)? Ist die Wasserqualität der neu angelegten Teiche für die Entwicklung der Amphibienlarven geeignet?

**Hypothese 6:** Die Werte der sanierten Gerhauweiher sind vergleichbar mit den vor sechzehn Jahren sanierten Vergleichsteichen in Obfelden.

**Begründung:** Die Vergleichsteiche wurden auf die gleiche Weise saniert wie die Teiche 1 und 2 in Hedingen und liegen in ähnlicher Umgebung.

## 2. MATERIAL UND METHODEN

Die untersuchten Weiher liegen oberhalb von Hedingen nahe des Weilers Frohmoos (Abb. 5 und 6, S. 8, [10]). Sie sind im Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung (2017) als «ortsfestes Objekt» unter der Objekt Nummer ZH358 aufgeführt [7].

Die Messungen an den drei Gerhauweiher (Teiche 1–3, Abb. 5–13, S. 8 und 9) wurden jede zweite Woche jeweils zur Mittagszeit durchgeführt. Die Wasserhärte, die Transparenz, der pH-Wert, der Sauerstoffgehalt, die Wassertemperatur und die Menge an Nitrit wurden vor Ort am Teich gemessen; die Nährstoffkonzentrationen im Labor. Insgesamt wurde achtmal gemessen, vom 13. März 2021 bis zum 19. Juni 2021.

Für die Messungen im Labor wurden Wasserproben aus den drei Teichen entnommen. Mit einem Messbecher (1 Liter, IKEA) oder einer Spritze (120 ml, Exelmed) hat man dazu einen Liter Wasser aus dem jeweiligen Teich geschöpft und durch ein Sieb (Migros) in eine beschriftete Schraubflasche (Schott Duran Schraubflaschen, 1000 ml) aus Glas geschüttet (Abb. 2). Das Teichwasser wurde in jedem Teich immer an der gleichen Stelle entnommen. Am 25. April 2021 und am 2. Juli 2021 wurden auch Messungen an zwei Teichen in Obfelden durchgeführt (Teiche 4 und 5, Abb. 14, S. 9). Beide sind seit sechzehn Jahren saniert und weisen eine ähnliche Umgebung mit Wald und Landwirtschaft wie die Gerhauweiher auf. Sie dienen neben dem nicht sanierten Teich 3 in Hedingen als Vergleichsteiche. Der Ablauf der Messungen war identisch wie bei den Gerhauweiher.

### 2.1 Sauerstoff und Wassertemperatur

Der Sauerstoffgehalt und die Wassertemperatur wurden mit einem speziellen Messgerät (VWR International, Modell DO 200, Abb. 37, S. 25) bestimmt. Man musste dabei das Messgerät einschalten und einen Sensor, der durch ein



Abb. 2: Probenahme am Teich 1. Das entnommene Wasser wird in eine Schraubflasche abgefüllt. (Foto: Regula Schmidt)

Kabel mit dem Gerät verbunden war, in das Wasser halten. Die Messung erfolgte stets in der gleichen Wassertiefe und an derselben Stelle im Teich. Dabei wurde der Sensor leicht hin und her bewegt. Es wurde so lange gemessen, bis die beiden Messwerte konstant blieben. Dies war nach einigen Minuten der Fall.

### Chemische Grundlagen

Das Messgerät enthält eine sogenannte Clark-Elektrode mit eingebautem Thermometer. Durch eine sauerstoffdurchlässige Membran gelangt der gelöste Sauerstoff aus dem Wasser in die mit Elektrolyt gefüllte Messzelle. Dort reagiert der Sauerstoff an der Kathode zu  $\text{OH}^-$ , indem diese Elektronen abgibt. Die Anode wird gleichzeitig oxidiert. Die entstehende Spannung wird dann gemessen [11, 12]. Das Gerät erlaubt das Ablesen des Sauerstoffgehalts in ppm (Parts per Million) und in Prozent Sättigung.

## 2.2 Phosphat, Ammonium und Nitrat

Für die Nährstoffbestimmung wurden HACH Lange Küvettentests verwendet [13]. Dazu wurden die entnommenen Wasserproben gemäss Anleitung verarbeitet. Die einzelnen Konzentrationen wurden mit einem Photometer (HACH Lange Photometer DR 5000) bestimmt.

### Phosphat (LCK 049 Orthophosphat)

Der Test beinhaltet eine Farbreaktion, bei welcher Phosphationen mit Vanadat-Molybdat-Reagenz einen gelben Farbkomplex bilden [14]. Dazu muss dem Testfläschchen 5 ml Teichwasser zugefügt und leicht geschüttelt werden. Nach 10 Minuten Wartezeit kann das Testfläschchen ins Photometer gestellt werden, wo die Messung automatisch abläuft.

### Chemische Grundlagen

In sauren wässrigen Lösungen bilden Molybdate und Vanadate Polymolybdate und Polyvanadate (Abb. 4). Polymolybdate und Polyvanadate sind Polyanionen, da sie negativ geladen sind. Wird nun in diese ein Fremdion (im benutzten Test das Phosphation) eingebaut, entstehen Heteropolymolybdate oder Heteropolyvanadate, welche eine Farbe aufweisen. Je mehr Phosphat vorhanden ist, desto mehr Heteropolyverbindungen werden gebildet und die Farbe der Lösung wird intensiver. Mit dem Photometer kann die Farbintensität der Vanadate-Molybdate bestimmt werden und somit die Phosphatkonzentration in der Lösung gemessen werden [15].

### Ammonium (LCK 304)

Der eingesetzte Test basiert auf einer Farbreaktion, bei welcher die Ammoniumionen aus der Wasserprobe bei pH 12.6 mit Hypochloritionen und Salicylationen zu Indophenolblau reagieren. Diese Reaktion braucht einen Katalysator, hier Nitroprussid-Natrium [16]. Dazu muss dem Testfläschchen einerseits 5 ml Teichwasser

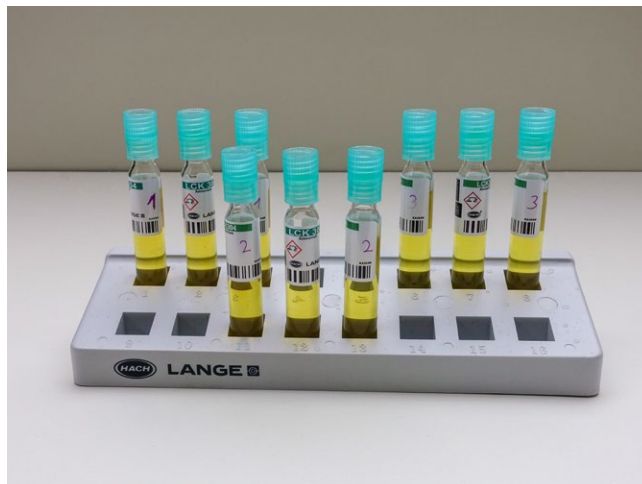


Abb. 3: HACH Lange Küvettentest LCK 304 für die Ammoniumbestimmung (Foto: Anina Bircher)

zugefügt werden und andererseits auch das im Deckel integrierte Pulver. Der Deckel wird verschlossen, es wird leicht geschüttelt und nach 15 Minuten Wartezeit kann das Testfläschchen ins Photometer gestellt werden, wo die Messung automatisch stattfindet (Abb. 3).

### Chemische Grundlagen

Die Methode wurde im Jahre 1859 vom französischen Chemiker Marcel Berthelot (1827–1907) beschrieben [17]. Dabei kann die Menge an Ammonium bestimmt werden, indem dieses in mehreren Schritten zu einem blauen Farbstoff umgewandelt wird, dessen Konzentration dann im Photometer gemessen wird. Zuerst muss sichergestellt werden, dass der pH-Wert der Lösung basisch ist, was dazu führt, dass Ammonium in Ammoniak umgewandelt wird (Gleichgewicht der Reaktion ist links [17], Abb. 15, S. 10: Punkt 1).

Im nächsten Schritt reagiert Ammoniak mit Hypochlorit zu Monochloramin [17]. Hypochlorit ist im Testreagens enthalten (Abb. 15, S. 10: Punkt 2).

Im dritten Schritt reagiert das Monochloramin mit Thymol (ebenfalls im Testreagens enthalten) zu N-Chlor-2-isopropyl-5-methylchinon-monoimin [17]. Für diese Reaktion ist der Katalysator Nitroprussid nötig (auch im Testreagens enthalten; Abb. 15, S. 10: Punkt 3).

Im letzten Schritt reagiert ein weiteres Thymolmolekül aus der Testlösung mit N-Chlor-2-isopropyl-5-methylchinon-monoimin zu Indophenol [17]. Da die Umgebung basisch ist, liegt das entstandene Indophenolmolekül in der blauen Basenform vor (Abb. 15, S. 10: Punkt 4).

Bei Abwesenheit von Ammonium in der Probe oder nur geringen Mengen an Ammonium laufen die Reaktionen nur vereinzelt ab. Somit wird nur wenig blauer Farbstoff gebildet und die Lösung bleibt farblos oder gelb. Die Konzentration des Farbstoffes kann nun im Photometer gemessen werden. Die Bestimmungsgrenzen für dieses Verfahren liegen bei 0.01 mg/l und 3.5 mg/l Ammonium.

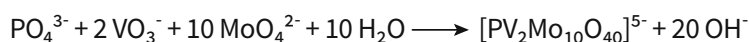


Abb. 4: Reaktionsgleichung [15] des LCK 049 Tests für die Orthophosphat-Bestimmung

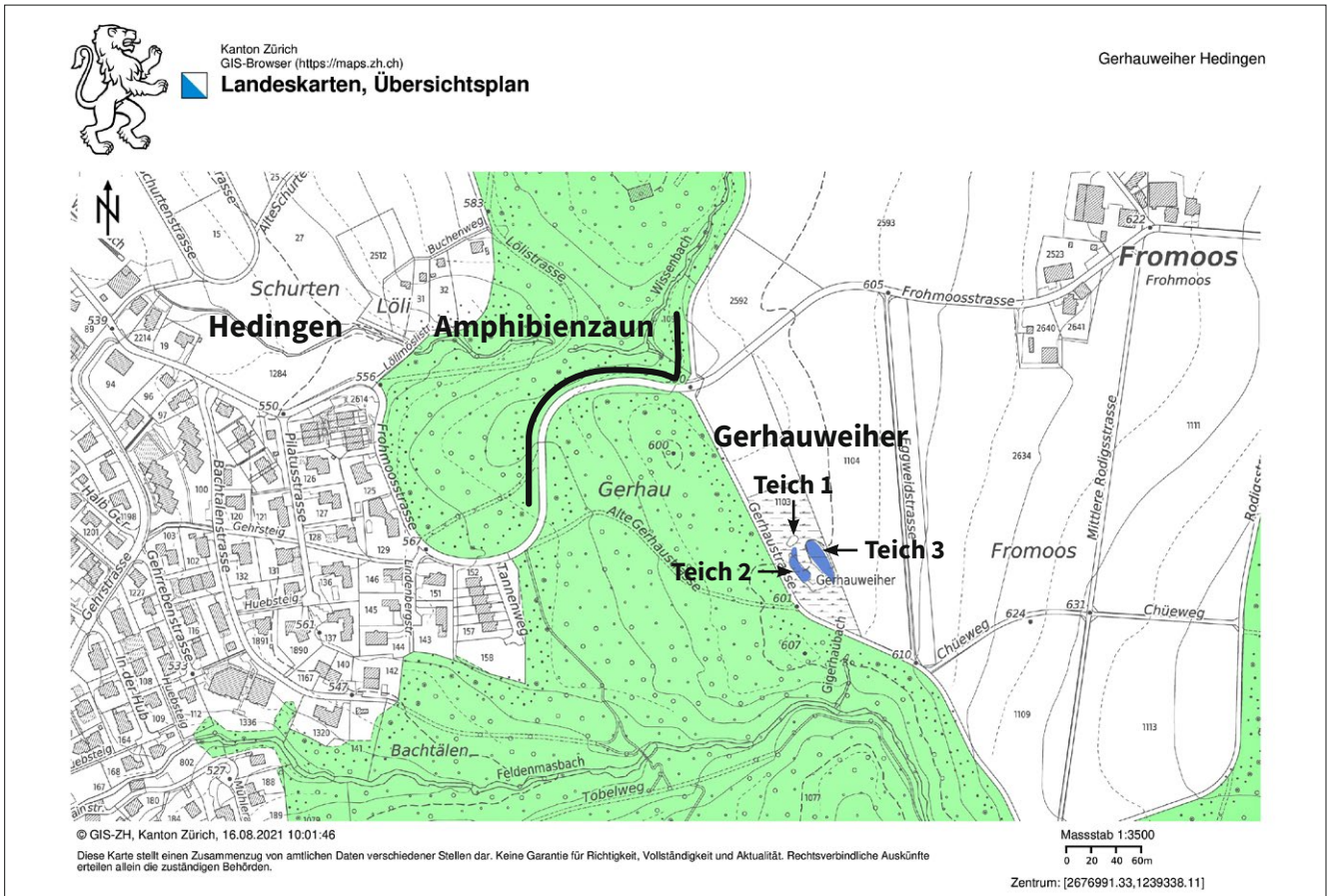


Abb. 5: Lage der Teiche 1 bis 3 in Hedingen (Karte: GIS Kanton Zürich [18])

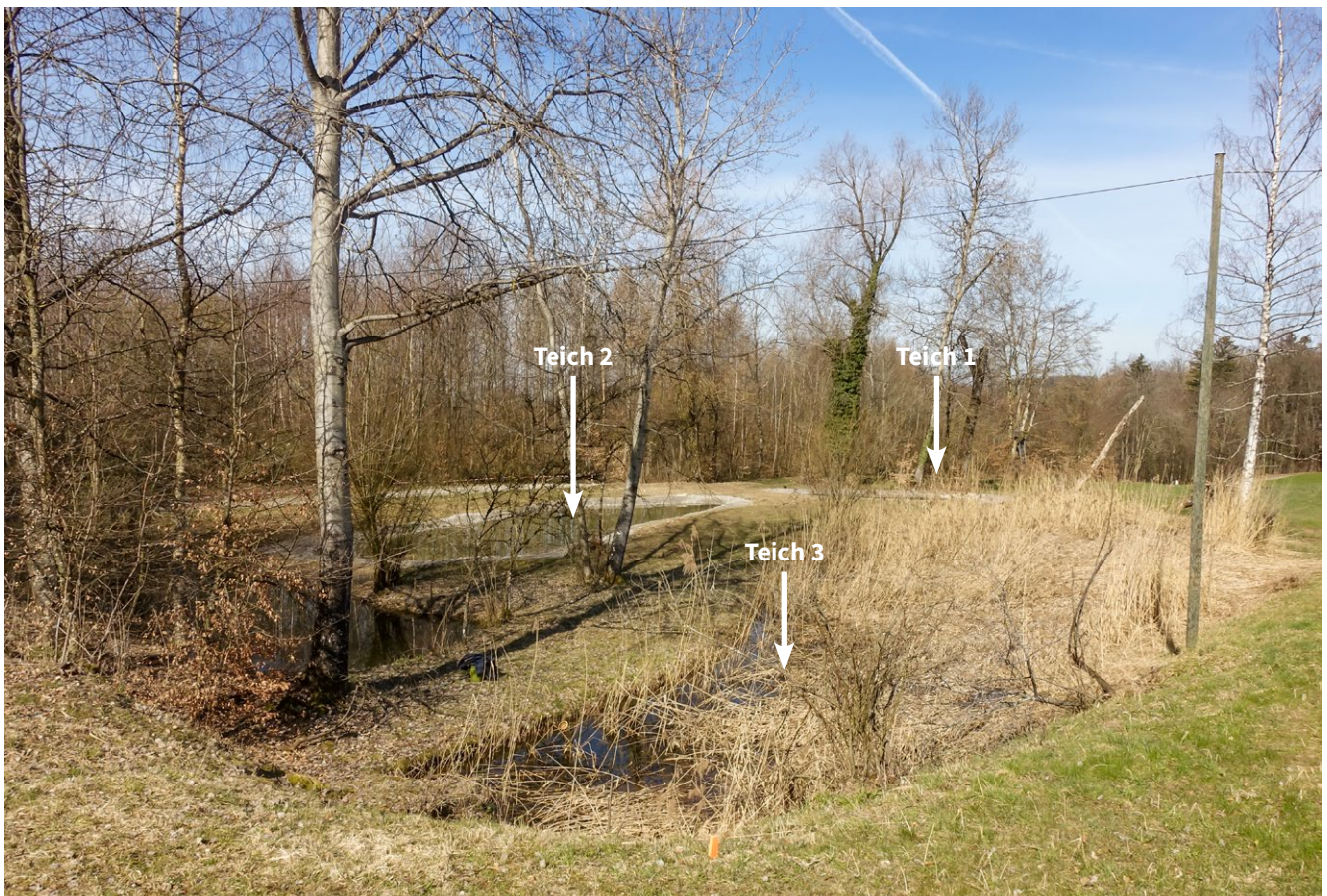


Abb. 6: Teiche 1 bis 3 am 25. März 2021 (Foto: Anina Bircher)



Abb. 7: Teich 1 am 25. März 2021 (alle Fotos: Anina Bircher)



Abb. 8: Teich 1 am 6. Juni 2021



Abb. 9: Teich 2 am 25. März 2021



Abb. 10: Teich 2 am 6. Juni 2021



Abb. 11: Teich 3 am 25. März 2021



Abb. 12: Teich 3 am 6. Juni 2021



Abb. 13: Zufluss in den Teich 3 am 25. April 2021

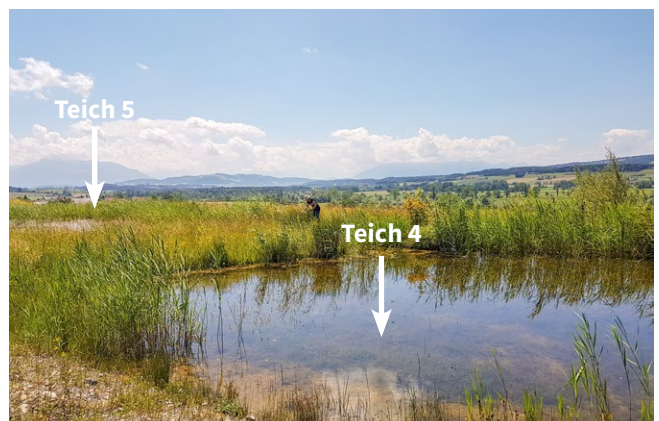


Abb. 14: Teiche 4 und 5 in Obfelden am 2. Juli 2021

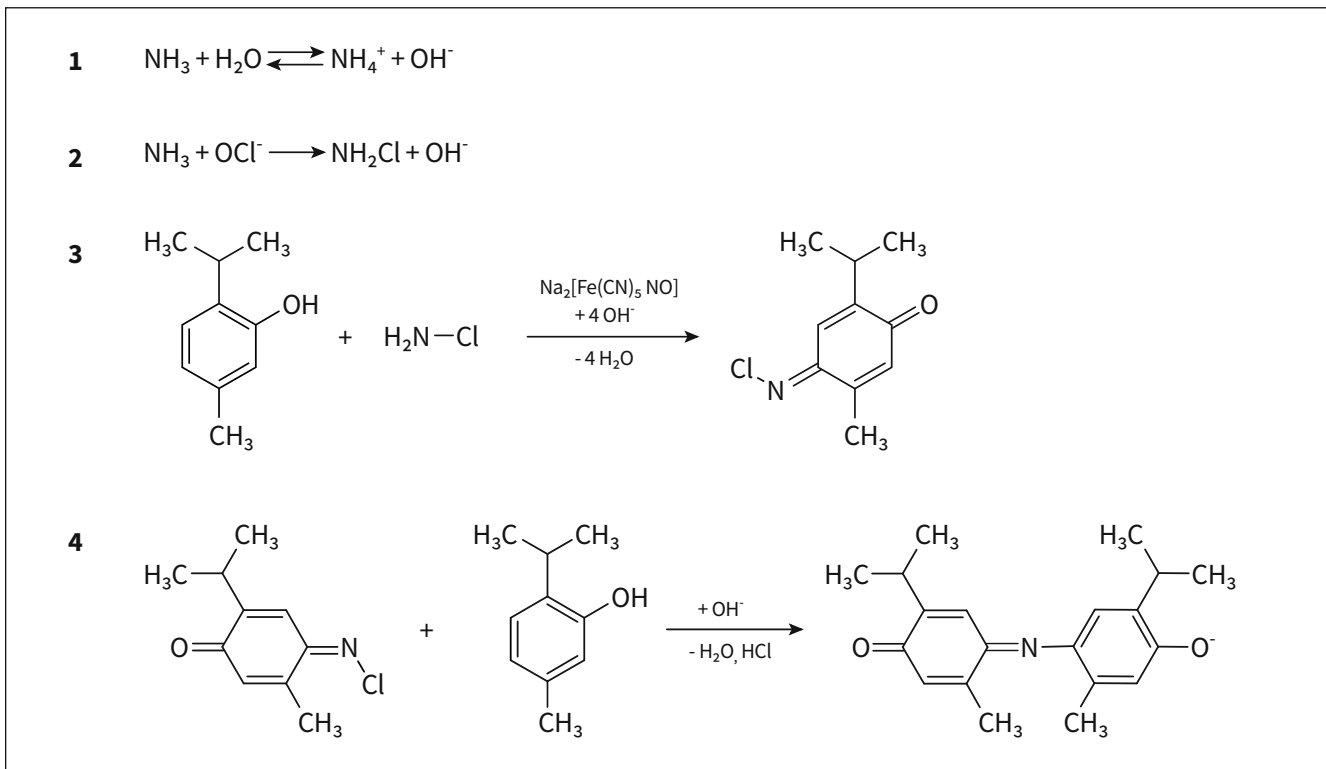


Abb. 15: Reaktionsverlauf bei der Bestimmung von Ammonium (LCK 304) [17]

**Nitrat (LCK 339)**

Auch dieser Test basiert auf einer Farbreaktion [19]: Nitrationen reagieren (in schwefel- und phosphorsaurer Lösung) mit 2,6-Dimethylphenol zu 4-Nitro-2,6-dimethylphenol, welches gelb ist. Dazu muss dem Testfläschchen (enthält Testlösung) 1 ml Teichwasser und 0.2 ml 2-Propanol zugefügt werden. Nach kurzem Schütteln und 15 Minuten Wartezeit kann die Messung mit dem Photometer gestartet werden.

**Chemische Grundlagen**

Es handelt sich hier um einen Standardtest (DIN 38-405-D9) zur Bestimmung des Nitrats in Gewässern. Zur Wasserprobe wird eine Säuremischung aus konzentrierter Schwefel- und Phosphorsäure (85 %) gegeben. Dann wird 2,6-Dimethylphenol dazugegeben und gemischt. Je mehr Nitrat vorhanden ist, desto mehr gelb gefärbtes 4-Nitro-2,6-dimethylphenol entsteht bei der Reaktion (Abb. 16) [20].

**2.3 Nitrit**

Nitrit lässt sich ebenfalls mittels einer Farbreaktion nachweisen, der Test muss allerdings sofort nach Entnahme

der Probe durchgeführt werden, da Nitrit instabil ist. Die Nitritbestimmung wurde mit einem Test (Aquamal Fishwater Lab, Fluka Artikelnr. 37566, Sigma-Aldrich Laborchemikalien GmbH, Seelze, Germany) des «Wasserkoffers» (Abb. 38 und 39, S. 25) durchgeführt. Das Testfläschchen wurde bis zur Markierung mit Wasser gefüllt. Es wurden jeweils zwei gestrichene Löffel Testreagenz hinzugefügt, kurz geschüttelt, drei Minuten gewartet und dann die Nitritkonzentration mit dem Photometer (Photometer LF 2400 WinLab, Windaus Labortechnik, D-38678 Clausthal-Zellerfeld) gemessen.

**Chemische Grundlagen**

Als Testreagenz wird das sogenannte Lunges Reagenz verwendet. Dies ist ein Gemisch aus Sulfanilsäure und 1-Naphthylamin, welches mit Nitrit in mehreren Schritten zu einem Azofarbstoff reagiert (Abb. 17, S. 11).

**2.4 Wasserhärte**

Für den Test wurden Teststäbchen des Typs Merckoquant 10025 (Total Hardness test, Merck, Darmstadt) benutzt (Abb. 40, S. 25, [21]). Dazu wurde ein Teststäbchen für drei Sekunden ins Wasser getaucht, abgeschüttelt, eine Minute gewartet und abgelesen.

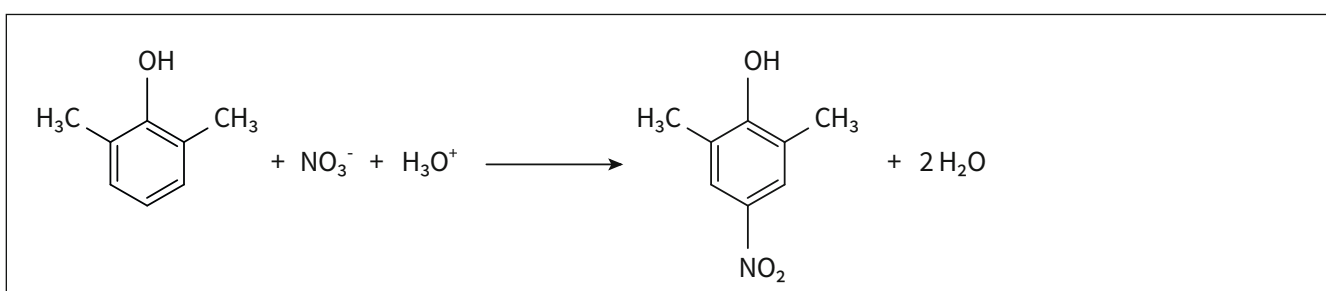


Abb. 16: Farbreaktion bei der Bestimmung von Nitrat (LCK 339) [22]

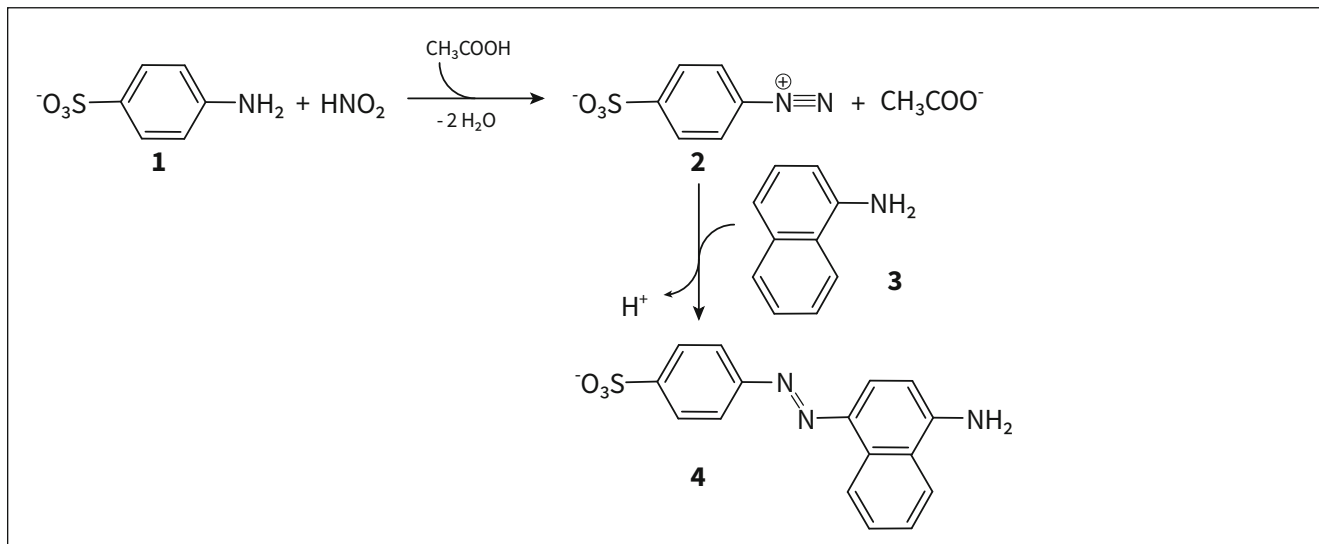


Abb. 17: Reaktionsschema der Reaktion des Lunges Reagenz mit Nitrit [23]. Durch Zugabe des Reagens bildet sich zuerst aus der Sulfanilsäure (1) ein Diazoniumsalz (2), das mit 1-Naphthylamin (3) weiter zu einem Azofarbstoff (4) reagiert und die Lösung sehr schnell rosa färbt [verändert nach 23].

### Chemische Grundlagen

Der Test weist die Gesamthärte des Wassers nach [24], also die Summe der  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  Ionen im Wasser. Dazu ist auf dem Teststäbchen Ethylendiamin-tetraacetat (Abkürzung: EDTA) aufgetragen. Dieser Stoff ist ein Ligand, der stark an alle Erdalkalimetallionen bindet (vorwiegend an  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$ ). Somit kann durch ein kurzes Eintauchen des Teststäbchens in das Wasser die Menge an  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  ermittelt werden. Dies geschieht, indem man die Anzahl farbiger Felder auf dem Streifen abliest, da die obige Reaktion mit einer Farbreaktion gekoppelt ist. Mit Hilfe der zum Test gehörenden Skala wird dann der Härtegrad bestimmt.



Abb. 18: Bestimmung der Transparenz durch Sichttiefen-Messröhre mit Secchi-Scheibe. Eine fachliche Erklärung ist in Abb. 19 auf Seite 12 zu finden. (Foto: Regula Schmidt)

### 2.5 pH-Wert

Die Messung des pH-Wertes [25] wurde mit Hilfe eines pH-Meters (Orion Research, Modell SA 250, Müller-Krempel AG, Bülach) durchgeführt (Abb. 41, S. 25). Dabei wird der Spannungsunterschied gemessen, welcher an der kugelförmigen Spitze des Messgerätes entsteht. Dies passiert, weil sich  $\text{H}^+$ -Ionen an den Silikatgruppen der Glaswand der Kugel ansammeln und somit eine Spannung erzeugt wird zwischen dem Innern und dem Äusseren der Kugel. Die Spannung wird mit Hilfe zweier Bezugselektroden gemessen, von denen sich eine innerhalb der Glaskugel, die andere in einem Referenzelektrolyten befindet [26].

### 2.6 Transparenz

Bei der Messung der Transparenz wird die Menge ungelöster Schwebstoffe im Wasser festgestellt. Dies geschieht mit Hilfe einer Sichttiefen-Messröhre (Abb. 18). Darunter muss man sich ein mit einem Gummistopfen (Durchmesser 49 mm, Konisch, Plastic-Haus AG, Artikelnummer 9121) verschlossenes Plastikrohr (Acrylglas-Röhre, 130 mm lang, Innendurchmesser: 46 mm, Plastic-Haus AG, Artikelnummer. 1224) vorstellen, welches mit Wasser gefüllt wird. Auf dem Gummistopfen wurde eine sogenannte Secchi-Scheibe (selbst angefertigt) angebracht. Bei trübem Wasser ist die Secchi-Scheibe nur bis zu einer geringen Wasserhöhe sichtbar. Bei klarem Wasser jedoch auch bei grösserer Wasserhöhe (Abb. 19, S. 12, [27]).

Um nun die Transparenz bestimmen zu können, wurde Teichwasser in das Rohr gegossen (Abb. 18). Dabei stand das Rohr in der Sonne. Das Wasser wurde immer von der gleichen Stelle im Teich mit einem Messbecher (1 Liter, IKEA) entnommen. Zwischen den Wasserzugaben wurde immer wieder von oben hineingeschaut. Solange die Secchi-Scheibe immer noch sichtbar war, wurde mehr Wasser hinzugefügt. Verschwand sie, wurde wieder Wasser entfernt. Der Prozess wurde so lange wiederholt, bis man den idealen Punkt erreicht hatte zwischen Sehen und Nicht-Sehen der Secchi-Scheibe. Dann wurde mit Hilfe der Zentimeterangaben auf dem Rohr (0–120 cm-Skala) der Wert der Transparenz bestimmt.

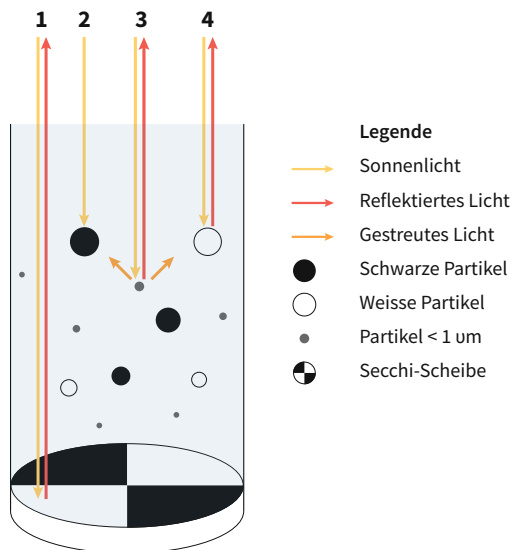


Abb. 19: Sichttiefen-Messröhre mit Secchi-Scheibe zur Messung der Wassertransparenz. Sonnenlicht wird in Richtung des Auges (nach oben) reflektiert, wenn Sonnenlicht auf die Secchi-Scheibe trifft (1) oder auf ein weisses Partikel (4). Bei Partikeln < 1 µm wird viel Sonnenlicht gestreut (3). Schwarze Partikel absorbieren das Licht (2). Bei trübem Wasser mit vielen dunkeln Partikeln ist die Secchi-Scheibe nur bis zu einer geringen Wasserhöhe sichtbar (geringe Transparenz). Bei Wasser mit nur wenigen Partikeln ist die Secchi-Scheibe auch bei grösserer Wasserhöhe noch sichtbar (hohe Transparenz). (Grafik: verändert nach [27])

### 3. RESULTATE

#### 3.1 Untersuchte Gewässer

In dieser Arbeit wurden drei Teiche oberhalb der Gemeinde Hedingen untersucht (Gerhauweiher: Abb. 5–13, S. 8 und 9). Direkt angrenzend befinden sich landwirtschaftlich aktiv genutzte Felder und Wald. Vom Wald aus gesehen findet man den kleinsten Teich (Teich 1) auf der linken Seite (Abb. 7 und 8, S. 9). Rechts liegen länglich parallel zur Waldgrenze die anderen Beiden (Teiche 2 und 3, Abb. 9–13, S. 9).

Der stark mit Schilf und anderen Wasserpflanzen bewachsene Teich 3 (Abb. 11 und 12, S. 9) ist ungefähr gleich gross wie Teich 2 (Abb. 9 und 10, S. 9) und hat einen direkten Zufluss aus dem Landwirtschaftsgebiet (Abb. 13, S. 9). Er speist über eine Röhre einen kleinen Teich, der hier nicht untersucht wurde.

Teich 1 und 2 (Abb. 7–10, S. 9) wurden im Herbst 2020 saniert, da sie Wasser verloren und mehrfach ausgetrocknet waren. Deshalb wurde am Grund eine Folie eingelegt und diese mit Kies und Steinen bedeckt. Pflanzen wurden nicht hinzugefügt und das Wasser der Teiche stammt von Niederschlägen. Abbildungen 7–12 auf Seite 9 zeigen die Teiche am Anfang und am Schluss des Untersuchungszeitraums.

Zwei Weiher in Obfelden dienten als Vergleichsweiher (Teiche 4 und 5). Sie liegen in ähnlicher Umgebung wie die Gerhauweiher, wurden aber bereits vor sechzehn Jahren saniert (Abb. 14, S. 9).

#### 3.2 Messwerte

Nachfolgend werden die Werte der einzelnen Parameter dargestellt. In den Grafiken 20–29 erscheinen immer die Mittelwerte der Messungen in den Teichen 1 bis 3 zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die Messwerte der Vergleichsteiche (Teiche 4 und 5) sind in Tabelle 1 (S. 18) zu finden. Die Einzelmessungen sind in den Tabellen 2 bis 14 im Anhang (ab S. 26) aufgeführt.

#### 3.3 Transparenz

Wasserpflanzen brauchen Sonnenlicht, um Photosynthese zu machen. Dabei entsteht neben Traubenzucker auch Sauerstoff. Ist das Wasser trübe, fehlt das Sonnenlicht, was zu weniger Photosynthese und deren Produkte führt. Dieser Mangel an Sauerstoff und Traubenzucker kann Wasserorganismen beeinträchtigen. Solange eine Trübung des Wassers nur kurzfristig auftritt, ist dies kein Problem.

Die Menge ungelöster Feststoffe bestimmt also unter anderem, wie viele und an welchen Stellen im Gewässer Pflanzen wachsen können. Sie beeinflusst somit auch indirekt (über die Photosynthese) den Sauerstoffgehalt [27]. Die Teiche 1 und 3 waren zu Beginn der Messungen etwas trüber als Teich 2, hatten also einen tieferen Transparenzwert (Abb. 20, S. 13). Teich 1 wurde aber rasch transparenter und blieb auf dem Maximalwert von 120 cm. Die Transparenz von Teich 2 nahm hingegen noch bis am 25. April 2021 ab, stieg dann aber rasch an und blieb hoch. In Teich 3 wurde das Wasser langsam immer transparenter, die Messwerte blieben bis am Schluss hoch (Ausnahme 9. Mai 2021).

#### 3.4 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Gründe für Schwankungen oder Veränderungen können Wetterumschwünge, die Menge an zugeführtem Wasser, die Wassertiefe und die Menge des Pflanzenbewuchses sein [28]. Andererseits beeinflusst die Wassertemperatur die Geschwindigkeit der chemischen Stoffumwandlungen im Wasser und bei Pflanzen und Tieren. Sie ist somit ein wichtiger Faktor für das Ökosystem Teich [29]. Auch innerhalb eines Stillgewässers gibt es Temperaturunterschiede. Je weiter oben an der Wasseroberfläche gemessen wird, desto wärmer ist das Wasser [30].

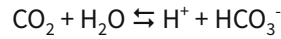
Der Startpunkt der Wassertemperaturwerte war der Jahreszeit entsprechend bei allen drei Teichen tief (Abb. 21). Bis am 9. Mai 2021 stiegen die Werte kontinuierlich an, gefolgt von einem leichten Abfall zwei Wochen später. Anschliessend stieg die Wassertemperatur rasch an. Die Kurven verliefen parallel zueinander, wobei Teich 1 die höchsten Werte aufwies, Teich 2 nur wenig darunter lag und Teich 3 mit einem etwas grösserem Abstand die tiefsten Werte zeigte.

### 3.5 pH-Wert

Der pH-Wert gibt an, ob ein Gewässer sauer oder alkalisch (basisch) ist. Er kann von verschiedenen äusseren Faktoren beeinflusst werden, wie zum Beispiel dem Regen oder Zuflüssen. Regen hat im Normalfall einen pH-Wert von 5.3–5.8 [31], es kommt wegen der grossen Luftverschmutzung jedoch öfters auch zu noch tieferen Werten [32].

Die Wassertemperatur beeinflusst ebenfalls den pH-Wert. Temperaturerhöhungen führen zu alkalischeren Werten, Temperaturerniedrigungen zu einem tieferen pH-Wert [33]. Entsprechend gibt es deshalb auch Tagesschwankungen, da die Stärke der Sonneneinstrahlung im Verlaufe des Tages variiert.

Wenn die Sonne scheint, betreiben die Pflanzen Photosynthese. Dabei wird Kohlenstoffdioxid verbraucht. Dadurch steigt der pH-Wert, da im Wasser ein Gleichgewicht herrscht zwischen Kohlenstoffdioxid, Wasser und Hydrogencarbonat:



Wird nun dem Wasser durch die Photosynthese  $\text{CO}_2$  entzogen, steht weniger dieses Substrats zur Verfügung und es entsteht weniger  $\text{H}^+$ , womit der pH-Wert steigt. Die Photosynthese verstärkt also die Alkalisierung auf Grund

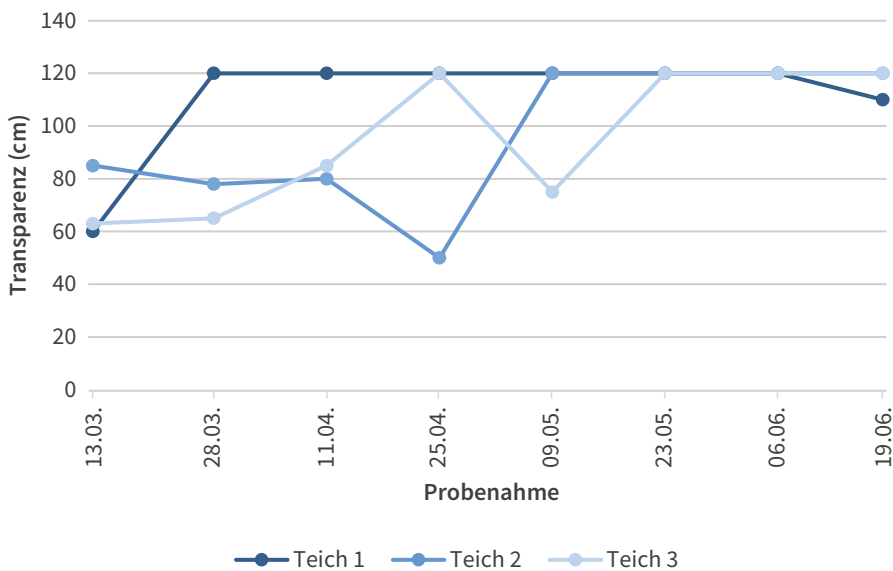


Abb. 20: Transparenz der drei untersuchten Teiche in cm

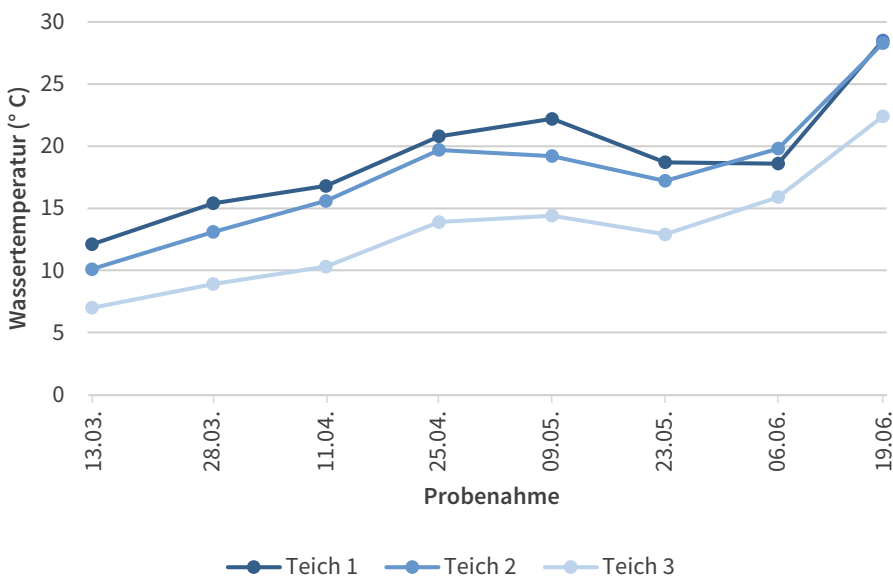


Abb. 21: Wassertemperatur der drei untersuchten Teiche in °C

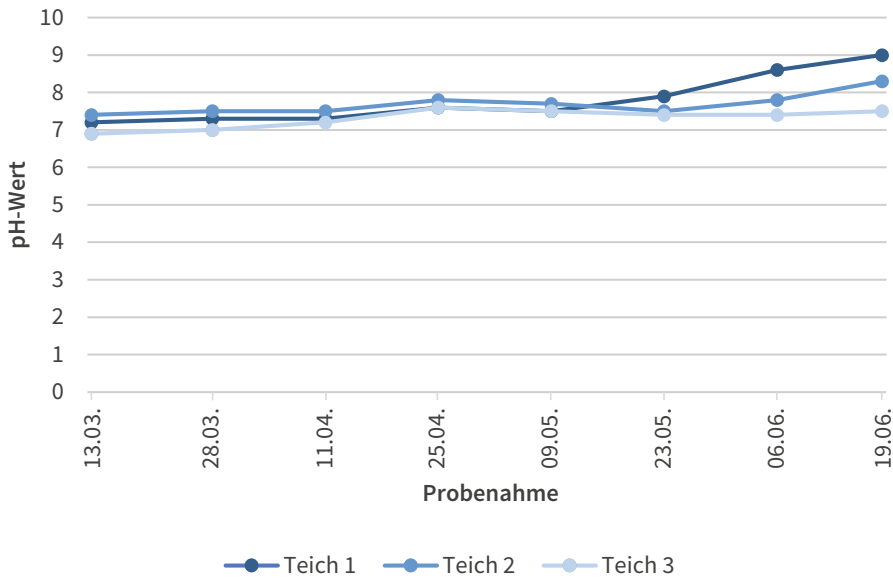


Abb. 22: pH-Werte der drei untersuchten Teiche

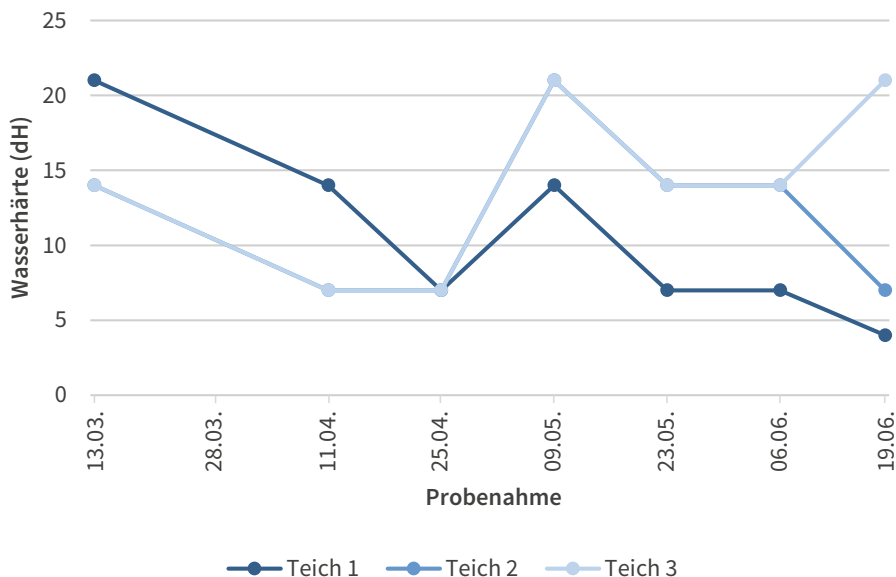


Abb. 23: Wasserhärte der drei untersuchten Teiche in dH

der Temperaturerhöhung [34, 35]. Deshalb wurden alle Messungen immer zur gleichen Zeit durchgeführt, nämlich am Mittag zwischen 12:00 und 14:00 Uhr. Die pH-Werte der drei Teiche schwankten zwischen den Werten 6.9 und 9.0 (Abb. 22). Generell blieben sie jedoch konstant und stiegen nur zum Schluss in den höheren Bereich. Im Durchschnitt hatten die Teiche 1 und 2 einen höheren pH-Wert, 7.8 für Teich 1 und 7.7 für Teich 2. Mit dem Durchschnittswert von 7.3 lag Teich 3 deutlich tiefer.

### 3.6 Wasserhärte

Die Wasserhärte (Karbonathärte) wird durch die Menge an gelöstem  $\text{CO}_2$  bestimmt, also der Menge Kohlensäure und der Lösung bzw. Fällung von Kalziumkarbonat [35]. Demnach ist die Wasserhärte abhängig vom Untergrund, der Herkunft des Wassers (Regenwasser, kalkhaltiges Quellwasser etc.) und von der Temperatur. Gleichzeitig beeinflusst sie aber auch den pH-Wert. Kalkhaltige

Gesteinsuntergründe, wie sie im Schweizer Mittelland vorkommen, führen zu alkalischen pH-Werten [36]. Saure Gewässer und Gewässer mit einer tiefen Härte sind leicht beeinflussbar von inneren und äusseren Faktoren, weil ihnen die Pufferwirkung des Kalziumkarbonats fehlt. Härtere Gewässer sind stabiler bezüglich des pH-Wertes [37].

Teiche 2 und 3 wiesen abgesehen von der letzten Messung identische Wasserhärtegrade auf (Abb. 23). In den letzten zwei Wochen stiegen die Werte des nicht sanierten Teiches 3 an, wogegen sie bei Teich 2 sanken. Die Werte von Teich 1 waren zu Beginn höher und ab dem 25. April 2021 tiefer als bei den Teichen 2 und 3.

### 3.7 Sauerstoffgehalt

Bei der Photosynthese reagieren Kohlenstoffdioxid und Wasser zusammen zu Sauerstoff und Traubenzucker. Da die Wasserpflanzen Photosynthese betreiben, gelangt

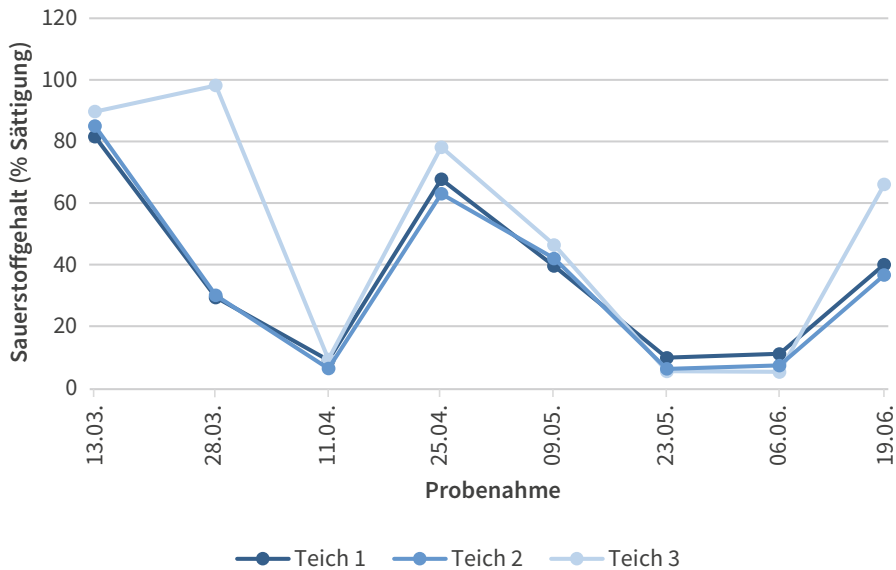


Abb. 24: Sauerstoffgehalt (% Sättigung) der drei untersuchten Teiche

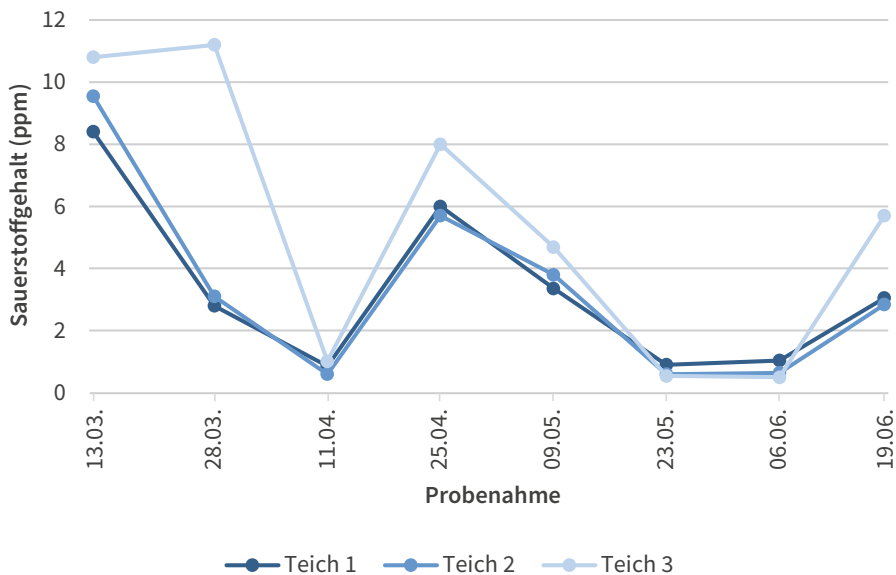
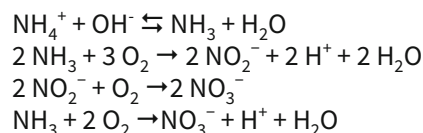


Abb. 25: Sauerstoffgehalt (ppm = mg/l) der drei untersuchten Teiche

Sauerstoff ins Wasser. Wenig Sauerstoff gelangt auch über den Gasaustausch zwischen dem Gewässer und der Luft ins Wasser. Der Sauerstoffgehalt ist folglich vor allem von der Pflanzenaktivität abhängig, welche wiederum vom pH-Wert und der Wassertemperatur beeinflusst wird. Je nachdem ob die Wasserpflanzen und Tiere zu einem bestimmten Zeitpunkt viel Sauerstoff konsumieren (Zellatmung) bzw. produzieren (Photosynthese), hat es mehr oder weniger Sauerstoff im Wasser [38]. Alle drei Teiche starteten mit einem hohen Sauerstoffgehalt. Dies galt für beide Messreihen (% Sättigung und ppm, Abb. 24 und 25). Im Verlauf der ersten vier Wochen sanken die Werte stark, die Werte von Teich 3 verzögert nach den ersten zwei Wochen. Zwischen dem 11. April und dem 25. April 2021 stiegen alle Werte wieder stark an, sanken danach aber bis zum 6. Juni 2021 wieder. In den letzten zwei Wochen konnte erneut ein Anstieg beobachtet werden.

### 3.8 Düngestoffe Ammonium, Nitrit und Nitrat

Bakterien im Teichwasser sind verantwortlich für die Umwandlung von Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) in Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), von Ammoniak in Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) und von Nitrit in Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Diesen Vorgang nennt man Nitrifikation [39, 40]:



Der umgekehrte Prozess findet statt, wenn der Sauerstoffgehalt im Wasser sehr klein ist. Man nennt dies Denitrifikation [41].

Ammonium und Nitrat sind Düngestoffe für Pflanzen, fördern also das Algenwachstum. Ammonium wird durch Dünger, Abwässer und tierische Abfälle in die Natur eingebracht. Durch sauren Regen gelangt Nitrat ins

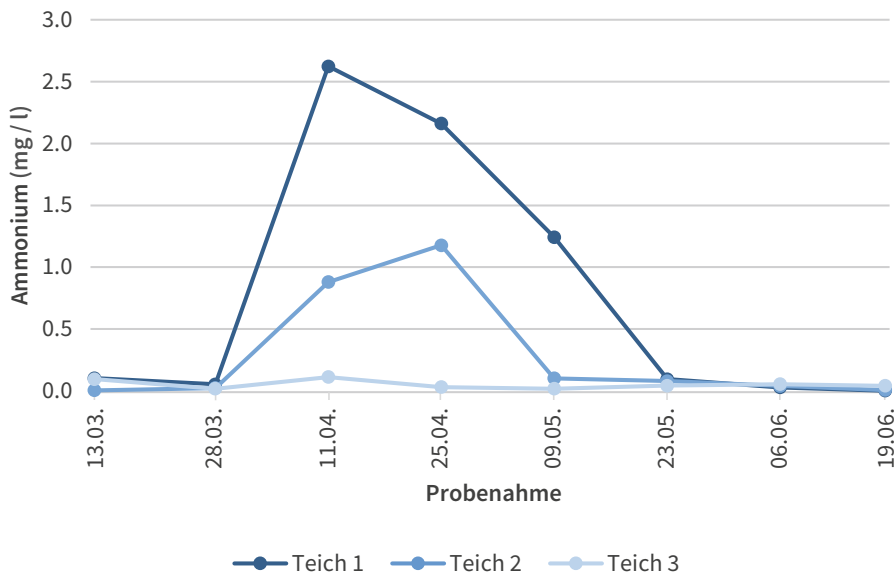


Abb. 26: Ammoniumgehalt der drei untersuchten Teiche in mg/l

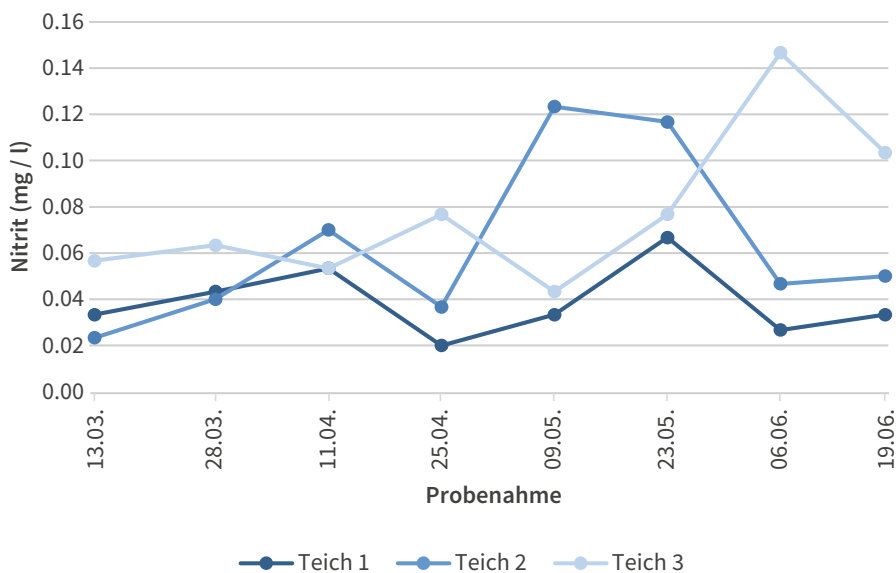


Abb. 27: Nitritgehalt der drei untersuchten Teiche in mg/l

Gewässer [42]. Nitrit und Ammoniak sind hochgiftig für Fische und andere Wasserorganismen [43]. In den folgenden Abschnitten werden die gemessenen Konzentrationen dieser Parameter dargestellt.

### Ammoniumgehalt

Die Werte von Teich 3 hatten über die ganze Messperiode keine bemerkenswerten Schwankungen und gingen nie über den Wert von 0.113 mg/l hinaus. Die Teiche 1 und 2 hingegen zeigten ab dem 28. März 2021 einen grossen Anstieg ihrer Werte (Abb. 26). Dieser endete Mitte Mai. Teich 1 hatte einen doppelt so hohen Anstieg der Werte wie Teich 2. In den letzten vier bis sechs Wochen waren die Werte beider Teiche so tief wie bei Teich 3.

### Nitritgehalt

Der Kurvenverlauf der Werte der drei Teiche war bis zum 25. April sehr ähnlich (Abb. 27). Teich 2 zeigte im Mai deutlich höhere Werte, die im Juni wieder absanken. Die Werte von Teich 3 stiegen erst im Juni stark an und blieben erhöht. Die Werte der sanierten Teiche 1 und 2 gingen wieder auf das Anfangsniveau zurück.

### Nitratgehalt

Zuerst lagen alle Nitratwerte beim Wert Null (Abb. 28, S. 17). Erst nach vier Wochen gab es einen leichten Anstieg. Die Werte von Teich 1 blieben tief. In Teich 2 gab es Anfang Mai einen Anstieg, kurz darauf sanken die Werte wieder. Im dritten Teich konnte im April ein auffällig starker Anstieg des Nitratgehaltes gemessen werden. Innerhalb von vier Wochen schossen die Werte in die Höhe und sackten wieder ab. Am 6. Juni 2021 gab es noch einmal einen kleinen Ausschlag.

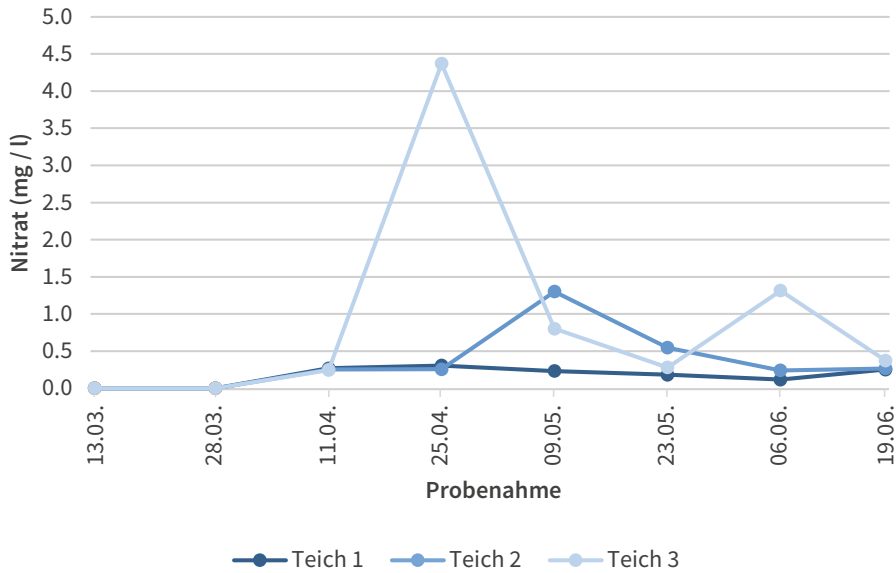


Abb. 28: Nitratgehalt der drei untersuchten Teiche in mg/l

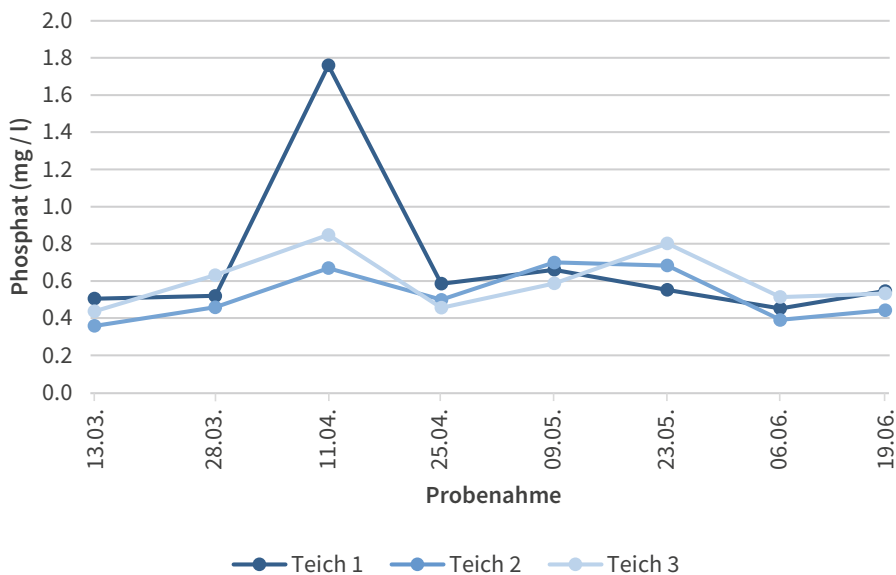


Abb. 29: ortho-Phosphatgehalt der drei untersuchten Teiche in mg/l

### 3.9 Phosphatgehalt

Phosphat kommt im Wasser in verschiedenen Formen vor. Gelöst als  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  /  $\text{HPO}_4^{2-}$  /  $\text{PO}_4^{3-}$  oder gebunden in organischen Molekülen und in Gesteinen. Gelöstes Phosphat ist der wichtigste Düngestoff für Pflanzen und trägt zur Eutrophierung von Seen bei. Düngemittel der Landwirtschaft sind phosphathaltig. Das Phosphat im Wasser stammt also mehrheitlich von dort [44]. Gemessen wurde der ortho-Phosphatgehalt in mg/l.

Von Anfang bis Ende der Messperiode schwankten die Werte leicht zwischen 0.4 und 0.8 mg/l (Abb. 29). Teich 1 zeigte als einziger einen starken Ausschlag seiner Werte um den 11. April 2021.

### 3.10. Vergleichsweiher in Obfelden

Als Vergleichsweiher wurden zwei Weiher in Obfelden beigezogen (Teiche 4 und 5, Abb. 14, S. 9), welche vor sechzehn Jahren auf dieselbe Art wie die Teich 1 und 2

in Hedingen (Abb. 7–10, S. 9) saniert worden waren. Sie liegen wie die Gerhauweiher zwischen Wald und landwirtschaftlich genutzten Flächen, jedoch etwas erhöht. Sie weisen viele Wasserpflanzen und eine grosse Vielfalt anderer Wasserlebewesen auf. Dadurch stellen sie ein etabliertes Ökosystem dar, welches von verschiedenen Amphibienarten als Laichgewässer und Lebensraum genutzt wird. Die Teiche werden vom Amphibienexperten Harald Cigler betreut.

Tabelle 1 auf Seite 18 zeigt die Messwerte vom 25. April und 2. Juli 2021. Da aus Kostengründen die Anzahl Tests limitiert war oder Teststreifen fehlten, konnten nicht alle Werte bestimmt werden beziehungsweise konnten die Werte nur einmal gemessen werden (Anhang, Tabelle 14, S. 30).

Tabelle 1: Messwerte der Vergleichsweiher 4 und 5 in Obfelden

Messung	Teich 4		Teich 5	
	24.5.2021	2.7.2021	24.5.2021	2.7.2021
Transparenz (cm)	120	120	120	120
Wassertemperatur (° C)	18.3	25.2	17.8	25.2
pH-Wert	8.5	8.7	7.6	8.0
Wasserhärte (dH)	nicht bestimmt	4–7	nicht bestimmt	7–14
Sauerstoff (% Sättigung)	19.000	41.400	37.000	40.600
Sauerstoff (ppm)	1.569	3.420	2.961	3.250
Ammonium (mg/l)	nicht bestimmt	0.001	nicht bestimmt	0
Nitrit (mg/l)	0.04	0.05	0.02	0.07
Nitrat (mg/l)	0.167	0.140	0.333	0.160
ortho-Phosphat (mg/l)	0.133	0.425	0	0.494

#### 4. DISKUSSION

In der vorliegenden Arbeit wurde die Wasserqualität dreier Teiche oberhalb von Hedingen untersucht, welche ein Amphibienlaichgewässer nationaler Bedeutung sind (Gerhauweiher, [7]). Zwei dieser Teiche wurden im Herbst 2020 saniert, da sie immer wieder austrockneten. Es stellte sich die Frage, ob es Unterschiede in der Wasserqualität zwischen den sanierten Teichen und dem nicht sanierten Teich gibt, und ob diese Werte von den Werten zweier bereits früher sanierten Teichen in Obfelden abweichen. Im ersten Teil der Diskussion werden die im Kapitel 1.2 (siehe S. 6) aufgestellten Hypothesen beantwortet und anschliessend wird diskutiert, ob die gemessenen Parameter geeignet sind für ein Amphibienlaichgewässer.

##### 4.1 Beantwortung der Hypothesen

###### 1. Die sanierten Teiche weisen geringere Phosphat-, Ammonium-, Nitrit- und Nitratkonzentrationen auf als der nicht sanierte Teich.

Die biochemischen Vorgänge in einem Gewässer sind hauptsächlich durch den Auf- beziehungsweise Abbau von Biomasse bestimmt. Durch Photosynthese wachsen beispielsweise Algen, welche als Nahrung für weitere Wasserlebewesen dienen. Mit der Zeit sterben sowohl die Algen als auch andere Wasserlebewesen wieder ab und Bakterien und Pilze zerlegen die organische Masse dieser wieder in anorganische Stoffe. Damit der Vorgang der Photosynthese funktioniert, braucht es Phosphat, Nitrat, Ammonium, CO<sub>2</sub> und Sonnenlicht. Von den drei erstgenannten braucht es allerdings nur kleinste Mengen, so zum Beispiel 0.01–0.1 mg/l ortho-Phosphat [44].

Ein Überschuss an Düngestoffen führt zu einer Eutrophierung des Teichs. Dabei ist das Algenwachstum sehr stark und beim Abbau ihrer Überreste wird viel Sauerstoff verbraucht, welcher anderen Lebewesen dann fehlt [45]. Zu viele Düngestoffe haben also einen negativen Einfluss auf das Ökosystem. Sie stammen mehrheitlich aus der Landwirtschaft oder im Fall von Nitrat auch noch von saurem Regen [46]. Da die Gerhauweiher an einem landwirtschaftlich aktiv genutzten Hügel liegen, wurde vermutet,

dass der mit unterirdischem Wasser dieses Hügels gespeisene Teich 3 mehr solche Düngestoffe beinhaltet als die Teiche 1 und 2. Diese werden von Regenwasser gespeisen. Wie Abbildungen 28 und 29 auf Seite 17 zeigen, weist Teich 3 einen deutlich höheren Nitratwert und einen leicht höheren Phosphatwert auf. Dies bestätigt die Hypothese, abgesehen vom hohen Phosphatwert bei Teich 1 am 11. April (Abb. 29, S. 17), welcher eine unbekannte Ursache hat. Die Ammoniumwerte zeigen hingegen ein anderes Bild. Teiche 1 und 2 haben ab der Woche vom 11. April 2021 viel höhere Werte als Teich 3. Dies liegt wohl daran, dass aus den grossen Mengen an Laich dank des warmen Wetters unzählige Kaulquappen geschlüpft waren und nun über ihren Kot sehr viel Ammonium ausgeschieden haben. Dieses Ammonium wurde von speziellen Bakterien umgewandelt zu Nitrit und später zu Nitrat. An den zeitversetzten Anstiegen der Nitrit- und Nitratwerte ist dies klar erkennbar (Abbildungen 27 und 28, S. 16 und 17). Der anschliessende Rückgang der Werte lässt sich gut erklären durch den Temperaturanstieg und die grössere Sonneneinstrahlung, welche das Algenwachstum förderte. Die Pflanzen brauchten dafür die im Wasser vorhandenen Düngestoffe. Wie Abbildung 30 (S. 19) zeigt, konnte man die Grünfärbung des Wassers gut erkennen. Bei Teich 3 war kein solcher Anstieg bemerkbar, da dieser nicht sanierte Teich schon von Beginn an viele Wasserpflanzen enthielt, eine tiefere Wassertemperatur aufwies und darin weniger Kaulquappen aufwuchsen.

Phosphat ist der wichtigste Nährstoff für das Algenwachstum. Ein Wert von über 0.5 mg/l Phosphat führt bereits zur Eutrophierung [43]. Die Phosphatwerte bewegten sich bei den Gerhauweiher (Abb. 29, S. 17) bei durchschnittlich 0.6 mg/l. Bei den zwei Vergleichsweiher waren die Phosphatwerte tiefer (Tabelle 1, S. 18). Dies ist erklärbar durch die Lage der anliegenden landwirtschaftlich genutzten Felder: Die Gerhauweiher befinden sich unterhalb eines landwirtschaftlich betriebenen Hügels, wohingegen die Teiche in Obfelden höher liegen als die sie umgebenden Felder. Somit ist die Wahrscheinlichkeit bei den Gerhauweiher höher, dass phosphathaltiges

Wasser ins Gewässer gelangt. Zum Schluss muss jedoch angemerkt werden, dass der verwendete Test meist zu wenig sensitiv war für die in den Teichen vorkommenden Kleinstmengen an Phosphat.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die Hypothese nicht für alle Düngestoffe stimmt und somit verworfen werden muss.

## **2. Die sanierten Teiche weisen einen tieferen pH-Wert und eine geringere Wasserhärte auf als der nicht sanierte Teich.**

Hedingen liegt in der Agglomeration von Zürich, weshalb durch den Abgasausstoss der Stadt, saurer Regen zu erwarten ist. Aus diesem Grund wurde angenommen, dass die sanierten Teiche (Teiche 1 und 2), welche nur durch Regenwasser aufgefüllt wurden, einen tieferen pH-Wert aufweisen als der nicht sanierte Teich (Teich 3). Abbildung 22 (S. 14) zeigt jedoch, dass die pH-Werte aller drei Teiche sehr nahe beieinander liegen und stets über dem Wert 7 waren. Gegen Ende lagen sie sogar im deutlich basischen Bereich. Der konstant tiefere pH-Wert des nicht sanierten Teiches 3 lässt sich einerseits dadurch erklären, dass Teich 3 mehr Sauerstoff enthielt und andererseits wahrscheinlich direkt von der Landwirtschaft Ammonium einfluss. Die im Teich vorhandenen Mikroorganismen wandeln dieses nach der Gleichung  $\text{NH}_4^+ + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$  um, was zu einem Anstieg der  $\text{H}^+$ -Ionen, also einer Erniedrigung des pH-Wertes führt [47]. Bei den sanierten Teichen war erstens die Wassertemperatur höher, was zu einer Alkalisierung beiträgt [33]. Zweitens liegen die beiden Teiche voll in der Sonne, sodass die vorhandenen Grünalgen optimale Bedingungen für die Photosynthese haben. Durch den Verbrauch des  $\text{CO}_2$  steigt der pH-Wert ebenfalls [34, 35]. Drittens gelang durch die Ausscheidungen der Kaulquappen in kurzer Zeit eine grosse Menge an Ammonium ins Wasser. Dieses konnte nur verzögert abgebaut werden, da in den neu angelegten Teichen die Bakterienzusammensetzung noch nicht etabliert war. Dies führte wiederum zu einer Erhöhung des pH-Wertes. Die Schwankungen der pH-Werte waren aber im Allgemeinen gering, da die Pufferkapazität dank des harten Wassers hoch war [48]. Die Teststreifen der Wasserhärte liessen keine genauen Messungen zu. Somit kann nur



Abb. 30: Teich 1 mit starkem Grünalgenbewuchs am 23. Mai 2021 (Foto: Anina Bircher)

gesagt werden, dass alle Teiche eher hartes Wasser, also viele Karbonate enthielten. Zusammenfassend muss die Hypothese verworfen werden.

## **3. Die sanierten Teiche weisen eine höhere Wassertemperatur auf als der nicht sanierte Teich.**

Wie zu erwarten war, gab es einen allgemeinen Temperaturanstieg mit dem Einsetzen der wärmeren Hälfte des Jahres (Abb. 21, S. 13). Der nicht sanierte Teich war durchwegs kühler als die sanierten Teiche. Dies kann mit der höheren Beschattung des dritten Teiches durch den starken Schilfbewuchs erklärt werden und mit dem ständig neu hinzukommenden, kühlen Grundwasser des Zuflusses. Die Hypothese kann deshalb bestätigt werden.

## **4. Die sanierten Teiche weisen einen tieferen Sauerstoffgehalt auf als der nicht sanierte Teich.**

Der Sauerstoffgehalt eines Teiches ist abhängig vom Sauerstoffeintrag aus der Luft, von der Photosyntheseaktivität der Algen, vom Verbrauch durch den Stoffwechsel aller Organismen und der Wassertemperatur. In kälterem Wasser löst sich mehr Sauerstoff als in wärmerem, aber trotzdem kann in der obersten Schicht bei hoher Sonneneinstrahlung durch die Photosynthese der Grünalgen eine Übersättigung mit Sauerstoff vorkommen [49]. Die Abbildungen 21, 24 und 25 (S. 13 und S. 15) zeigen klar, dass bei den ersten Messungen das Wasser kalt war und demnach mehr Sauerstoff enthielt. Mit zunehmender Wassertemperatur nahm der Sauerstoffgehalt ab. Zum Zeitpunkt als das Algenwachstum stark angestiegen war (11. April 2021), erhöhte sich anschliessend auch der Sauerstoffgehalt. In Kombination mit den sich entwickelnden Kaulquappen und dem Absterben der Algen im Mai wurde viel Sauerstoff verbraucht und der Sauerstoffgehalt sank. Abgesehen von den zwei Werten am 28. März und am 19. Juni 2021 zeigen die Grafiken 24 und 25 (S. 15) keinen deutlichen Unterschied zwischen den sanierten und dem nicht sanierten Teich bezüglich des Sauerstoffgehaltes. Die Hypothese muss deshalb verworfen werden.

## **5. Die Werte der sanierten Teiche schwanken stark.**

In einem etablierten Ökosystem sind alle Stoffabläufe regelmässig und im Gleichgewicht. Dieses Gleichgewicht muss sich in einem gestörten Ökosystem über einen gewissen Zeitraum hinweg erst wieder einpendeln. Je nach Umwelteinflüssen dauert das länger oder kürzer, ein oder mehrere Jahre [50]. Da der dritte Teich bereits mehrere Jahre alt ist, wurde angenommen, dass sich sein Ökosystem im Gleichgewicht befindet. Erwartet wurden also nur leichte oder regelmässige Schwankungen der Werte. Bei den kleineren Teichen wurde genau das Gegenteil erwartet auf Grund ihres jungen Alters. Bei sämtlichen Grafiken, vor allem aber bei Abbildung 22 (S. 14), sind bei den sanierten Teichen nur leichte oder gleich viele Schwankungen wie bei Teich 3 erkennbar. Die Hypothese konnte somit für den beobachteten Zeitraum nicht bestätigt werden. Dies kann daran liegen, dass der Beobachtungszeitraum zu kurz war, Teich 3 doch noch nicht eingependelt ist oder der Einfluss aus der Landwirtschaft gravierende Veränderungen im Gleichgewicht bewirkt.

### **6. Die Werte der sanierten Gerhauweiher sind vergleichbar mit den vor sechzehn Jahren sanierten Vergleichsweiher in Obfelden.**

Um die Eignung der Gerhauweiher als Laichgewässer zu bestätigen, wurde zusätzlich zweimal die Wasserqualität bei zwei Teichen in Obfelden gemessen (Teiche 4 und 5, Abb. 14, S. 9). Die erste Messung fand zu Beginn der Beobachtungszeit statt, die Zweite gegen Ende. Die untersuchten Teiche wurden vor sechzehn Jahren auf die gleiche Weise wie die Gerhauweiher saniert. Im Gegensatz zu diesen enthalten die Vergleichsweiher bereits sehr viele unterschiedliche Wasserpflanzen und Kleinlebewesen, wie Schnecken oder Insektenlarven. Die Teiche sind Teil einer grösseren Teichgruppe und sind von grosser Wichtigkeit für die lokale Amphibienpopulation.

Die Messwerte für die Wassertemperatur, Ammonium, Nitrit, Nitrat und den pH-Wert waren sehr ähnlich zwischen den Vergleichsweiher (Tabelle 1, S. 18) und den Gerhauweiher. Ein deutlicher Unterschied war beim Phosphat- und beim Sauerstoffgehalt bei der Messung vom 25. April 2021 zu erkennen. Zu diesem Zeitpunkt war bei den Vergleichsweiher kein Phosphat vorhanden (Abb. 29, S. 17), da diese Teiche bereits stark mit vielen Wasserpflanzen bewachsen sind, welche das Phosphat für ihr starkes Wachstum verwendeten. Der Sauerstoffgehalt war ebenfalls tiefer bei den Vergleichsweiher, da die zahlreichen Kleinlebewesen viel Sauerstoff verbrauchten, obwohl gleichzeitig die Wasserpflanzen Sauerstoff produzierten. Bei der Messung vom 2. Juli 2021 wiesen die Vergleichsweiher ähnliche Werte auf wie die Gerhauweiher. Die Hypothese kann somit angenommen werden. Bis auf die erklärbaren Abweichungen auf Grund der Wasserpflanzen und Tiere ist die Wasserqualität der Gerhauweiher und der Vergleichsweiher vergleichbar. Es wird damit gerechnet, dass in einigen Jahren die Gerhauweiher ähnliche Wasserorganismen aufweisen werden wie die Vergleichsweiher.

### **4.2 Charakterisierung der Gerhauweiher**

Man teilt die verschiedenen Stillgewässer in unterschiedliche Trophiestufen ein [51, 52]. Je nach Einteilungsvariante werden unterschiedliche Parameter beachtet: der pH-Wert, der Gesamt-N-Gehalt, der Gesamt-P-Gehalt, der Sauerstoffgehalt, die Leitfähigkeit, die Seevegetation und die Ufervegetation. Vereinfacht beurteilt man also, wie nährstoffreich bzw. nährstoffarm ein Teich ist. Die Gerhauweiher können als mesotroph bis eutroph bezeichnet werden, sind also eher nährstoffreich. Von den Nitratwerten her gesehen sind die Teiche eher mesotroph, von den Phosphatwerten her eher eutroph [52]. Die Transparenz liegt bei mesotrophen Teichen bei mehr als 120 cm [53], bei eutrophen und polytrophen Teichen bei unter 120 cm. Die gemessenen Transparenzwerte sprechen ebenfalls für die Einteilung mesotroph-eutroph. Eutrophe Gewässer haben zweimal im Jahr, genauer gesagt im Frühjahr und im Sommer, einen deutlichen Anstieg der Menge an Phytoplankton (pflanzliches Plankton). Dazwischen liegt ein Klarwasserstadium (hohe Transparenzwerte), wo das Zooplankton (tierisches Plankton) das Phytoplankton frisst [54]. Zu erkennen war dieser Wechsel vor allem bei den sanierten Weihern

(Teiche 1 und 2), da grössere Wasserpflanzen fehlten, welche die Sicht versperren konnten.

Die Artenvielfalt ist bei nährstoffreichen Weiher höher als bei nährstoffarmen. Seltene Arten bevorzugen aber nährstoffarme Gewässer. Um diese zu fördern, müsste bei den Gerhauweiher der Nährstoffeintrag reduziert werden. Dies könnte durch eine Vergrösserung der vorhandenen Pufferzone zwischen dem Landwirtschaftsgebiet und den Teichen sowie durch regelmässiges Entfernen des Schilfbestands erreicht werden.

Bei der Wasserführung kann man die Gerhauweiher als permanent bis semi-permanent bezeichnen [55]. Das heisst, sie trocken nicht aus, ihr Wasserstand kann aber schwanken. Der kleinste Teich kann auf Grund seiner Grösse durchaus auch einmal austrocknen, was aber nur selten und nur kurz vorkommen sollte.

Bei den Gerhauweiher handelt es sich also um typische Kleingewässer des Mittellands. Positiv ist, dass es sich um einen Weiherkomplex handelt, der die Biodiversität mehr unterstützt als ein einzelner grosser Teich [56].

### **4.3 Eignung als Laichgewässer**

Teiche wie die Gerhauweiher stellen für Amphibien als ihr Laichgewässer den Lebensmittelpunkt dar [4]. Das Vorhandensein eines geeigneten Laichgewässers ist die Grundvoraussetzung für den Fortbestand der Amphibien. Die Abnahme der Amphibienbestände lässt sich durch den starken Rückgang solcher Stillgewässer erklären, welche auf Grund des Klimawandels und wegen der industriellen Landwirtschaft verschwinden. Somit werden solche Teiche immer wichtiger. Expertinnen und Experten schätzen, «dass eine fünffache Zunahme von Kleinstgewässern nötig ist. Für die Erhaltung der weierbewohnenden Amphibienarten der Schweiz werden unterhalb von 1000 m ü. M. vier Kleingewässer pro km<sup>2</sup> als notwendig erachtet, (oberhalb von 1000 m ü. M. ein Gewässer pro km<sup>2</sup>) inklusive ihrer Landlebensräume. Dies macht für die gesamte Schweiz rund 97 000 Gewässer. Zusammen mit den angrenzenden Landlebensräumen sind dies 244 265 Hektaren oder 5.9 Prozent der Fläche der Schweiz.» [Zitat aus: 56].

Die Gerhauweiher sind Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung (2017) mit der Objekt Nummer ZH358 [10]. Sie weisen eine vielfältige Uferlinie, unterschiedliche Wassertiefen und Flachwasserzonen auf. Die flachen Zonen erwärmen sich im Frühjahr am Tag sehr schnell und es wachsen viele Algen. Die Weiher sind deshalb geeignet für die Entwicklung der Kaulquappen, da es reichlich Futter hat.

Die untersuchten Weiher können aus all diesen Gründen als geeignete Laichgewässer für die Amphibien angesehen werden. An Teichen in Holland konnten Stumpel und van der Voet zeigen, dass in drei bis vierjährigen Teichen am meisten Grasfroschlarven vorkommen, während in alten Teichen viel weniger Larven zu beobachten sind [8]. Dies deckt sich mit den Beobachtungen dieser Arbeit, wo in Teich 3 weniger Larven auftraten.

In der Literatur konnten nur wenige Angaben zur idealen Wasserqualität von Amphibiengewässer gefunden werden. Bekannt ist, dass für Amphibien ein pH-Wert von 6.5–8 am besten geeignet ist. Zu saure oder alkalische Gewässer

können mit Ionen im Untergrund reagieren und somit toxische Stoffe freisetzen wie Eisen oder Ammoniak. Diese schaden nicht nur den Amphibien selbst, sondern auch ihrem Laich und anderen Wasserlebewesen [34].

Für die Wasserqualität ebenso entscheidend ist die Menge an Düngestoffen. So ist in etablierten Teichen eine hohe Düngestoffkonzentration für das Vorkommen von Grasfroschlarven hinderlich, nicht jedoch in frisch angelegten Teichen [8]. Eine grosse Menge an Düngestoffen ist auch für die Entwicklung der Molchlarven vorteilhaft [9]. Für Fische sind die empfohlenen Werte für Düngestoffe allerdings sehr tief [34]. Da Amphibien ebenfalls Kiemen beziehungsweise eine empfindliche Haut haben, wird angenommen, dass im Allgemeinen auch für Amphibien niedrigere Düngestoffkonzentrationen besser sind. Die Gerhauweiher werden mehrheitlich von Regenwasser gespiesen, was den Nährstoffeintrag stark reduziert. Dies kann als positiver Faktor für die Amphibien gewertet werden. Die etablierten Teiche in Obfelden zeigen ähnliche Wasserwerte, woraus sich ebenfalls eine Eignung der Gerhauweiher als Laichgewässer ableiten lässt.

Ein wichtiger Punkt für ein Amphibienlaichgewässer ist zudem, dass das Gewässer keine Fische enthält. Diese würden Laich und Jungtiere fressen [56]. Bislang trifft dies für die Gerhauweiher zu.

#### **4.4 Fazit und Ausblick**

Die Gerhauweiher sind nach den vorliegenden Messungen typische Stillgewässer des Schweizer Mittellands. Auf Grund der Daten kann die Sanierung als erfolgreich be-

zeichnet werden. Zwar wurden für die meisten Parameter Mehrfachmessungen mit genauen Testverfahren durchgeführt, aber die Messungen bezogen sich nur auf chemisch-physikalische Parameter. Für eine vollständige Beurteilung müsste zusätzlich noch die Artenzusammensetzung der Wasserlebewesen und die Umgebung miteinbezogen werden. Zudem wurden die Messwerte der Vergleichsteiche aus Kostengründen teilweise mit anderen Messmethoden und als Einzelmessungen erhoben.

Da sich die Werte der Teiche bereits einigermassen eingependelt haben, sind keine Probleme für die Larvenentwicklung zu erwarten. Trotzdem wäre es interessant, wenn weiterhin regelmässige Messungen stattfinden würden. Dies insbesondere, weil ein genereller Forschungsbedarf über die idealen Wasserbedingungen für Amphibien besteht.

#### **5. DANKSAGUNG**

Als Erstes möchte ich meinem Chemielehrer und Betreuer Herrn Julian Brunner herzlich danken für die Unterstützung meiner Maturaarbeit. Ebenso danke ich dem Chemielaboranten Herrn Portmann für die Einführung in die Welt der Wassertests und das Vorbereiten der Materialien. Auch der PH Luzern möchte ich meinen Dank aussprechen für die Bereitstellung des Photometers und die vielen Küvettentests, welche ich gratis übernehmen durfte. Ein grosses Dankeschön geht auch an den Amphibienexperten Harald Cigler und die Fachstelle KARCH. Zum Schluss bedanke ich mich bei meinen Eltern für die Beratung und Unterstützung während meiner ganzen Maturaarbeit.

## 6. QUELLENVERZEICHNIS

- 1: Froschnet, [https://www.froschnet.ch/biologie/von\\_kaulquappe\\_zum\\_frosch.php](https://www.froschnet.ch/biologie/von_kaulquappe_zum_frosch.php), 10. September 2021.
- 2: E. Jedicke, «Amphibien: Ökologie, Gefährdung, Schutz», 1. Auflage 1990, Ravensburger Buchverlag Otto Meier GmbH, Ravensburg, Deutschland, S. 11 ff, S. 18, ISBN 3-473-460083-4.
- 3: Bundesamt für Umwelt BAFU, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/publikationen-studien/publikationen/rote-listen-gefaehrdete-arten.html>, 10. September 2021.
- 4: E. Jedicke, «Amphibien: Ökologie, Gefährdung, Schutz», 1. Auflage 1990, Ravensburger Buchverlag Otto Meier GmbH, Ravensburg, Deutschland, S. 94 ff, ISBN 3-473-460083-4.
- 5: E. Jedicke, «Amphibien: Ökologie, Gefährdung, Schutz», 1. Auflage 1990, Ravensburger Buchverlag Otto Meier GmbH, Ravensburg, Deutschland, S. 119, ISBN 3-473-460083-4.
- 6: Amphibienprojekt Hedingen, <https://aphedingen.webflow.io>, 10. September 2021.
- 7: Bundesamt für Umwelt BAFU, <https://data.geo.admin.ch/ch.bafu.bundesinventare-amphibien/objects-heets/2017revision/zh358.pdf>, 10. September 2021.
- 8: A. H. P. Stumpel, H. van der Voet, «Characterizing the suitability of new ponds for amphibians», *Amphibia-Reptilia*, 1998, 19, 125-142.
- 9: J. K. Skei, D. Dolmen, L. Rønning, T. H. Ringsby, «Habitat use during the aquatic phase of the newts *Triturus vulgaris* (L.) and *T. cristatus* (Laurenti) in central Norway: proposition for a conservation and monitoring area», *Amphibia-Reptilia*, 2006, 27, 309-324.
- 10: Schweizerische Eidgenossenschaft, [https://map.geo.admin.ch/?zoom=9&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&layers=ch.bafu.bundesinventare-amphibien&layers\\_opacity=0.7&lang=de&topic=bafu&E=2677357.44&N=1239351.78](https://map.geo.admin.ch/?zoom=9&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&layers=ch.bafu.bundesinventare-amphibien&layers_opacity=0.7&lang=de&topic=bafu&E=2677357.44&N=1239351.78), 10. September 2021.
- 11: Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Oxymetrie>, 10. September 2021.
- 12: Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Clark-Elektrode>, 10. September 2021.
- 13: HACH, <https://de.hach.com/lck>, 10. September 2021.
- 14: HACH, <https://ch.hach.com/asset-get.download.jsa?id=56169868106>, 10. September 2021.
- 15: ZUM-Unterrichten, [https://unterrichten.zum.de/wiki/Wir\\_erforschen\\_den\\_Boden/Phosphatbestimmung\\_nach\\_der\\_Molybdat-Vanadat-Methode](https://unterrichten.zum.de/wiki/Wir_erforschen_den_Boden/Phosphatbestimmung_nach_der_Molybdat-Vanadat-Methode), 10. September 2021.
- 16: HACH, <https://ch.hach.com/asset-get.download.jsa?id=57895528167>, 10. September 2021.
- 17: Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Berthelot-Reaktion>, 10. September 2021.
- 18: GIS Kanton Zürich, <https://maps.zh.ch/s/picots4q>, 10. September 2021.
- 19: HACH, <https://de.hach.com/asset-get.download.jsa?id=57901052316>, 10. September 2021.
- 20: BS-Wiki.de, <http://bs-wiki.de/mediawiki/index.php/2,6-Dimethylphenol>, 10. September 2021.
- 21: [www.merz-im-web.de](https://www.merz-im-web.de), <https://www.merz-im-web.de/merckoquant-gesamthaerte-teststaebchen-100-stueck>, 10. September 2021.
- 22: Institut für Energie- und Umwelttechnik, Universität Mannheim, [http://www.eut-kohl.de/pdf/UPU/UMU\\_Wasser2\\_Einzelionen\\_HPkurz.pdf](http://www.eut-kohl.de/pdf/UPU/UMU_Wasser2_Einzelionen_HPkurz.pdf), 2. Oktober 2021
- 23: Wikipedia, [https://de.wikipedia.org/wiki/Lunges\\_Reagenz](https://de.wikipedia.org/wiki/Lunges_Reagenz), 10. September 2021.
- 24: ETH Zürich, [https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/chab/chab-dept/research/documents/ICB/ICB-Practica/Skripte\\_USYS\\_HS2018/Gesamthaerte\\_HS2018.pdf](https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/chab/chab-dept/research/documents/ICB/ICB-Practica/Skripte_USYS_HS2018/Gesamthaerte_HS2018.pdf), 10. September 2021.
- 25: Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/PH-Wert>, 10. September 2021.
- 26: Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/PH-Elektrode>, 10. September 2021.
- 27: GLOBE Schweiz, <https://globe-swiss.ch/files/Downloads/1646/Download/Wissen%20zum%20Thema%20Transparenz%20SekII.pdf>, 10. September 2021.
- 28: biodivers, [https://www.biodivers.ch/de/index.php/Stillgew%C3%A4sser/Praxisrelevante\\_%C3%96kologie](https://www.biodivers.ch/de/index.php/Stillgew%C3%A4sser/Praxisrelevante_%C3%96kologie), 10. September 2021.
- 29: L. A. Hütter, «Wasser und Wasseruntersuchungen», 3. Auflage 1988, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt am Main, Deutschland und Verlag Sauerländer, Aarau, Schweiz, S. 54, ISBN 3-425-05075-3 und ISBN 3-7941-2615-7.
- 30: J. Kollmann, A. Kirmer, S. Tischew, N. Hölzel, K. Kiehl, «Renaturierungsökologie», 1. Auflage 2019, Springer-Verlag, Berlin, Deutschland, S.154, ISBN 978-3-662-54912-4.
- 31: lernort MINT, <https://www.lernort-mint.de/chemie/anorganische-chemie/saeure-base-reaktionen/der-ph-wert-von-regenwasser/>, 10. September 2021.
- 32: L. Sigg, W. Stumm, «Aquatische Chemie: Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer», 6. Auflage 2016, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich, Schweiz, S.83, ISBN 978-3-7281-3767-8.
- 33: Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/PH-Wert#Temperaturabh%C3%A4ngigkeit>, 10. September 2021.
- 34: L. A. Hütter, «Wasser und Wasseruntersuchungen», 3. Auflage 1988, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt am Main, Deutschland und Verlag Sauerländer, Aarau, Schweiz, S. 154, ISBN 3-425-05075-3 und ISBN 3-7941-2615-7.
- 35: L. Sigg, W. Stumm, «Aquatische Chemie: Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer», 6. Auflage 2016, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich, Schweiz, S. 92, S. 109, ISBN 978-3-7281-3767-8.
- 36: L. Sigg, W. Stumm, «Aquatische Chemie: Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer», 6. Auflage 2016, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich, Schweiz, S. 102, ISBN 978-3-7281-3767-8.
- 37: L. A. Hütter, «Wasser und Wasseruntersuchungen», 3. Auflage 1988, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt am Main, Deutschland und Verlag Sauerländer, Aarau, Schweiz, S. 73, ISBN 3-425-05075-3 und ISBN 3-7941-2615-7.

- 38: LENNTECH, <https://www.lenntech.de/sauerstoff-im-wasser.htm#:~:text=Sauerstoff%20im%20Wasser.%20Der%20gel%C3%B6ste%20Sauerstoff%20im%20Wasser,somit%20verf%C3%BCgbar%20f%C3%BCr%20Lebewesen%2C%20in%20dem%20Gew%C3%A4sser%20befindet>, 10. September 2021.
- 39: CHEMIE.DE, <https://www.chemie.de/lexikon/Nitrifikation.html>, 10. September 2021.
- 40: DIE CHEMIE-SCHULE, <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Ammonifikation>, 10. September 2021.
- 41: L. Sigg, W. Stumm, «Aquatiscche Chemie: Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer», 6. Auflage 2016, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich, Schweiz, S. 294, ISBN 978-3-7281-3767-8.
- 42: L. Sigg, W. Stumm, «Aquatiscche Chemie: Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer», 6. Auflage 2016, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich, Schweiz, S. 417, S. 421, ISBN 978-3-7281-3767-8.
- 43: L. A. Hütter, «Wasser und Wasseruntersuchungen», 3. Auflage 1988, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt am Main, Deutschland und Verlag Sauerländer, Aarau, Schweiz, S. 155, ISBN 3-425-05075-3 und ISBN 3-7941-2615-7.
- 44: L. Sigg, W. Stumm, «Aquatiscche Chemie: Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer», 6. Auflage 2016, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich, Schweiz, S. 434, ISBN 978-3-7281-3767-8.
- 45: L. Sigg, W. Stumm, «Aquatiscche Chemie: Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer», 6. Auflage 2016, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich, Schweiz, S. 433, ISBN 978-3-7281-3767-8.
- 46: J. Kollmann, A. Kirmer, S. Tischew, N. Hölzel, K. Kiehl, «Renaturierungsökologie», 1. Auflage 2019, Springer-Verlag, Berlin, Deutschland, S.159, ISBN 978-3-662-54912-4.
- 47: L. A. Hütter, «Wasser und Wasseruntersuchungen», 3. Auflage 1988, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt am Main, Deutschland und Verlag Sauerländer, Aarau, Schweiz, S. 35, ISBN 3-425-05075-3 und ISBN 3-7941-2615-7.
- 48: L. Sigg, W. Stumm, «Aquatiscche Chemie: Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer», 6. Auflage 2016, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich, Schweiz, S. 108, ISBN 978-3-7281-3767-8.
- 49: L. A. Hütter, «Wasser und Wasseruntersuchungen», 3. Auflage 1988, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt am Main, Deutschland und Verlag Sauerländer, Aarau, Schweiz, S. 74, ISBN 3-425-05075-3 und ISBN 3-7941-2615-7.
- 50: M. Bütikofer, O. Lüde, G. Rutz, F. Zürcher, A. Grigoleit, «Ökologie», 3., überarbeitete Auflage 2015, Compendio Bildungsmedien AG, Zürich, S.102, S. 103, ISBN 978-3-7155-7069-3
- 51: H. Schwab, «Süsswassertiere: Ein ökologisches Bestimmungsbuch», 1. Auflage 1995, Ernst Klett Schulbuchverlag, Stuttgart, Düsseldorf, Berlin, Leipzig, Deutschland, S. 304, ISBN 3-12-125530-4.
- 52: J. Kollmann, A. Kirmer, S. Tischew, N. Hölzel, K. Kiehl, «Renaturierungsökologie», 1. Auflage 2019, Springer-Verlag, Berlin, Deutschland, S.155, ISBN 978-3-662-54912-4.
- 53: H. Schwab, «Süsswassertiere: Ein ökologisches Bestimmungsbuch», 1. Auflage 1995, Ernst Klett Schulbuchverlag, Stuttgart, Düsseldorf, Berlin, Leipzig, Deutschland, S. 305, ISBN 3-12-125530-4.
- 54: M. Schagerl, I. Bloch, A. Vietauer, «Naturinseln im Siedlungsgebiet: Ziegelteiche in Wien und Niederösterreich», 1. Auflage 2007, Verlag der Zoologischen Gesellschaft in Österreich, Wien, Österreich, S. 54, ISBN 978-3-901294-13-6.
- 55: biodivers, [www.biodivers.ch/de/index.php/Stillgewaesser/Praxisrelevante\\_Oekologie#Hydrologie](http://www.biodivers.ch/de/index.php/Stillgewaesser/Praxisrelevante_Oekologie#Hydrologie), 10. September 2021.
- 56: biodivers, <https://www.biodivers.ch/de/index.php/Stillgew%C3%A4sser/Grundlagen>, 10. September 2021.

## ANHANG

### Amphibienprojekt Hedingen

Im Jahr 2016 startete eine Gruppe aus Hedingen das «Amphibienprojekt Hedingen» [6]. Seither tragen rund 30 Freiwillige jedes Jahr im Frühjahr mehrere Tausend Grasfrösche, Erdkröten, Faden- und Bergmolche von einem Amphibienzaun zu den hier untersuchten Gerhauweihern



Abb. 31: Amphibienzaun (alle Fotos: Urs Bircher)

(Abb. 5, S. 8 und Abb. 31–36). Die Teams sind in drei Schichten unterwegs: abends, nachts und morgens. Am Abend öffnet das erste Team die Fangkübel (Abb. 32 und 33). Das Nachtteam sammelt die gefangenen Tiere ein und transportiert sie zu den Gerhauweiern (Abb. 34 und 35). Das Morgenteam transportiert die restlichen Tiere aus den Fangkübeln zu den Weiern und schliesst die Fangkübel wieder, damit am Tag keine Mäuse usw. hineinfallen.



Abb. 32: Öffnen der Fangkübel am Abend



Abb. 33: In der Nacht wandern Amphibien dem Zaun entlang und werden in Fangkübeln gefangen.



Abb. 34: Transportkübel mit am Amphibienzaun gefangenen Erdkröten



Abb. 35: In der Nacht in den Gerhauweiern freigelassene Erdkröten (rechts) und Grasfrosch (links).



Abb. 36: Der Fadenmolch ist die kleinste Molchart der Schweiz.

## Auswahl verwendeter Messgeräte und Hilfsmittel

In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Geräte und Hilfsmittel verwendet. Dazu gehörten unter anderem ein Messgerät für Sauerstoffgehalt und Wassertemperatur (Abb. 37), der «Wasserkoffer» (Abb. 38 und 39), Teststäbchen für den Gesamthärtetest (Abb. 40) sowie ein pH-Meter

(Abb. 41) und Messpipetten (Abb. 42). Für die HACH-Tests kamen ein Photometer und verschiedene Reagenzien zum Einsatz (Abb. 3, S. 7). Zur Bestimmung der Transparenz kam eine Sichttiefen-Messröhre mit Secchi-Scheibe zum Einsatz (Abb. 18, S. 11).



Abb. 37: Messgerät für Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur (VWR International, Modell DO 200; alle Fotos: Anina Bircher)



Abb. 38: Oberer Teil des «Wasserkoffers» mit Betriebsanleitungen



Abb. 39: Unterer Teil des «Wasserkoffers» mit Photometer, destilliertem Wasser und Chemikalien



Abb. 40: Behälter der Teststäbchen für den Gesamthärtetest (Merckoquant 10025)



Abb. 41: pH-Meter (Orion Research, Modell SA 250)



Abb. 42: Messpipetten

### Rohdaten

In den Tabellen 2 bis 14 sind die Rohdaten zusammengefasst.

Tabelle 2: Klimatische Bedingungen an den Messtagen

<b>Datum</b>	<b>Klimatische Bedingungen</b>	<b>Temperatur</b>
13.03.2021	bewölkt, windig	nicht bestimmt
28.03.2021	sonnig, klar	14 ° C
11.04.2021	sonnig klar	18 ° C
25.04.2021	sonnig	18 ° C
09.05.2021	sonnig, einzelne Wolken, leichter Wind	22 ° C
23.05.2021	bewölkt, kurz vorher geregnet	eher kühl
06.06.2021	bewölkt, kein Wind, feucht	eher kühl
19.06.2021	feucht, warm, stark bewölkt	nicht bestimmt

Tabelle 3: pH-Werte der Teiche 1 bis 3

<b>Datum</b>	<b>Teich 1</b>	<b>Teich 2</b>	<b>Teich 3</b>
13.03.2021	7.2	7.4	6.9
28.03.2021	7.3	7.5	7.0
11.04.2021	7.3	7.5	7.2
25.04.2021	7.6	7.8	7.6
09.05.2021	7.5	7.7	7.5
23.05.2021	7.9	7.5	7.4
06.06.2021	8.6	7.8	7.4
19.06.2021	9.0	8.3	7.5

Tabelle 4: Wasserhärte (dH) der Teiche 1 bis 3

<b>Datum</b>	<b>Teich 1</b>	<b>Teich 2</b>	<b>Teich 3</b>
13.03.2021	über 21	14-21	14-21
28.03.2021	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt
11.04.2021	14-21	7-14	7-14
25.04.2021	7-14	7-14	7-14
09.05.2021	14-21	über 21	über 21
23.05.2021	7-14	14-21	14-21
06.06.2021	7-14	14-21	14-21
19.06.2021	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt

Tabelle 5: Sauerstoffgehalt der Teiche 1 bis 3 (% Sättigung und ppm)

Datum	Teich 1		Teich 2		Teich 2	
	% Sättigung	ppm	% Sättigung	ppm	% Sättigung	ppm
13.03.2021	81.5	8.40	85.0	9.55	89.7	10.80
28.03.2021	29.3	2.80	30.0	3.10	98.2	11.20
11.04.2021	8.9	0.86	6.2	0.60	9.2	1.01
25.04.2021	67.7	6.00	63.0	5.70	78.1	8.00
09.05.2021	39.5	3.36	42.0	3.80	46.4	4.69
23.05.2021	9.7	0.90	6.1	0.60	5.3	0.54
06.06.2021	11.0	1.04	7.2	0.64	5.1	0.50
19.06.2021	40.0	3.05	36.6	2.84	66.0	5.70

Tabelle 6: Wassertemperatur (° C) der Teiche 1 bis 3

Datum	Teich 1	Teich 2	Teich 3
13.03.2021	12.1	10.1	7.0
28.03.2021	15.4	13.1	8.9
11.04.2021	16.8	15.6	10.3
25.04.2021	20.8	19.7	13.9
09.05.2021	22.2	19.2	14.4
23.05.2021	18.7	17.2	12.9
06.06.2021	18.6	19.8	15.9
19.06.2021	28.5	28.3	22.4

Tabelle 7: Transparenz (Sichtbarkeit einer Secchi-Scheibe in Zentimeter Tiefe der Messröhre; Maximale Höhe: 120 cm) der Teiche 1 bis 3

Datum	Teich 1	Teich 2	Teich 3
13.03.2021	60	85	63
28.03.2021	120	78	65
11.04.2021	120	80	85
25.04.2021	120	50	120
09.05.2021	120	120	75*
23.05.2021	120	120	120
06.06.2021	120	120	120
19.06.2021	110	120	120

\* viele Wasserpflanzen

Tabelle 8: Nitritgehalt (mg/l) der Teiche 1 bis 3 (3 Messungen: M1, M2, M3)

Datum	Teich 1			Teich 2			Teich 3		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
13.03.2021	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.06	0.06	0.05
28.03.2021	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.06	0.07	0.06
11.04.2021	0.06	0.05	0.05	0.08	0.06	0.07	0.06	0.05	0.05
25.04.2021	0	0.02	0.04	0.04	0.03	0.04	0.08	0.08	0.07
09.05.2021	0.03	0.03	0.04	0.11	0.14	0.12	0.05	0.04	0.04
23.05.2021	0.07	0.07	0.06	0.12	0.12	0.11	0.08	0.08	0.07
06.06.2021	0.03	0.03	0.02	0.05	0.05	0.04	0.14	0.15	0.15
19.06.2021	0.04	0.03	0.03	0.05	0.07	0.03	0.08	0.11	0.12

Tabelle 9: Nitratgehalt (mg/l) der Teiche 1 bis 3 (3 Messungen: M1, M2, M3)

Datum	Teich 1			Teich 2			Teich 3		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
13.03.2021	0.323	0.369	0.498	0.275	0.335	0.365	0.371	0.398	0.411
28.03.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.04.2021	0.253	0.273	0.278	0.248	0.260	0.255	0.234	0.257	0.246
25.04.2021	0.329	0.325	0.266	0.270	0.253	0.246	4.220	4.420	4.470
09.05.2021	0.218	0.258	0.220	1.290	1.290	1.320	0.782	0.811	0.810
23.05.2021	0.212	0.173	0.159	0.542	0.555	0.543	0.282	0.281	0.277
06.06.2021	0.124	0.119	0.104	0.243	0.243	0.237	1.330	1.290	1.320
19.06.2021	0.264	0.293	0.200	0.282	0.334	0.183	0.356	0.368	0.397

Tabelle 10: Phosphatgehalt (mg/l) der Teiche 1 bis 3 (3 Messungen: M1, M2, M3)

Datum	Teich 1			Teich 2			Teich 3		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
13.03.2021	0.566	0.571	0.378	0.363	0.359	0.353	0.453	0.434	0.422
28.03.2021	0.658	0.456	0.444	0.484	0.415	0.476	0.728	0.531	0.634
11.04.2021	0.995	1.070	2.450	0.699	0.649	0.657	0.897	0.841	0.806
25.04.2021	0.586	0.586	0.584	0.495	0.511	0.489	0.457	0.497	0.414
09.05.2021	0.597	0.707	0.677	0.689	0.741	0.669	0.607	0.560	0.592
23.05.2021	0.548	0.557	0.551	0.709	0.638	0.701	0.787	0.786	0.832
06.06.2021	0.450	0.449	0.458	0.388	0.389	0.394	0.539	0.505	0.495
19.06.2021	0.585	0.511	0.540	0.471	0.429	0.428	0.543	0.520	0.536

Tabelle 11: Ammoniumgehalt (mg/l) der Teiche 1 bis 3 (3 Messungen: M1, M2, M3)

Datum	Teich 1			Teich 2			Teich 3		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
13.03.2021	0.104	0.100	0.109	0.006	0.007	0.004	0.096	0.096	0.094
28.03.2021	0.055	0.055	0.052	0.023	0.026	0.023	0.018	0.022	0.016
11.04.2021	2.710	2.720	2.440	0.877	0.888	0.877	0.098	0.096	0.129
25.04.2021	2.180	2.180	2.120	1.170	1.180	1.180	0.025	0.038	0.032
09.05.2021	1.250	1.240	1.240	0.109	0.100	0.100	0.017	0.019	0.018
23.05.2021	0.094	0.096	0.097	0.080	0.081	0.081	0.044	0.044	0.044
06.06.2021	0.026	0.031	0.031	0.039	0.043	0.042	0.054	0.053	0.057
19.06.2021	0.003	0.002	0.004	0.008	0.006	0.010	0.041	0.043	0.043

Tabelle 12: Durchschnittswerte der Nitritgehalte (mg/l) und der Nitratgehalte (mg/l)

Datum	Nitritgehalte (mg/l)			Nitratgehalte (mg/l)		
	Teich 1	Teich 2	Teich 3	Teich 1	Teich 2	Teich 3
13.03.2021	0.505	0.358	0.436	0.104	0.006	0.095
28.03.2021	0.519	0.458	0.631	0.054	0.024	0.019
11.04.2021	1.760	0.668	0.848	2.623	0.881	0.113
25.04.2021	0.585	0.498	0.456	2.160	1.177	0.032
09.05.2021	0.660	0.700	0.586	1.243	0.103	0.018
23.05.2021	0.552	0.683	0.802	0.096	0.081	0.044
06.06.2021	0.452	0.390	0.513	0.029	0.041	0.055
19.06.2021	0.545	0.443	0.533	0.003	0.008	0.042

Tabelle 13: Durchschnittswerte der Phosphatgehalte (mg/l) und der der Ammoniumgehalte (mg/l)

Datum	Phosphatgehalte (mg/l)			Ammoniumgehalte (mg/l)		
	Teich 1	Teich 2	Teich 3	Teich 1	Teich 2	Teich 3
13.03.2021	0.505	0.358	0.436	0.104	0.006	0.095
28.03.2021	0.519	0.458	0.631	0.054	0.024	0.019
11.04.2021	1.760	0.668	0.848	2.623	0.881	0.113
25.04.2021	0.585	0.498	0.456	2.160	1.177	0.032
09.05.2021	0.660	0.700	0.586	1.243	0.103	0.018
23.05.2021	0.552	0.683	0.802	0.096	0.081	0.044
06.06.2021	0.452	0.390	0.513	0.029	0.041	0.055
19.06.2021	0.545	0.443	0.533	0.003	0.008	0.042

Tabelle 14: Messwerte der Vergleichsteiche 4 und 5 in Obfelden

Messung	Teich 4		Teich 5	
	24.5.2021	2.7.2021	24.5.2021	2.7.2021
Transparenz (cm)	120	120	120	120
Wassertemperatur (° C)	18.3	25.2	17.8	25.2
pH-Wert	8.5	8.7	7.6	8.0
Wasserhärte (dH)	nicht bestimmt	4–7	nicht bestimmt	7–14
Sauerstoff (% Sättigung)	19.0	41.4	37.0	40.6
Sauerstoff (ppm)	3.42	3.42	2.96	3.25
Ammonium (mg/l)	nicht bestimmt	0.001	nicht bestimmt	0
Nitrit (mg/l)	0.03, 0.04, 0.05	0.06, 0.05, 0.05	0.02, 0.02, 0.02	0.06, 0.07, 0.07
Nitrat (mg/l)	0.500, 0, 0	0.145, 0.140, 0.136	0.05, 0, 0	0.168, 0.163, 0.149
ortho-Phosphat (mg/l)	0.200, 0.200, 0	0.428, 0.421	0, 0, 0	0.494

**EINHALTUNG RECHTLICHER VORGABEN**

Ich habe die Arbeit selbstständig und unter Aufsicht meines Betreuers verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet.

Ich nehme zur Kenntnis, dass meine Arbeit zur Überprüfung der korrekten und vollständigen Angabe der Quellen mit Hilfe einer Software (eines Plagiaterkennungstools) geprüft wird. Zu meinem eigenen Schutz wird die Software auch dazu verwendet, später eingereichte Arbeiten mit meiner Arbeit elektronisch zu vergleichen und damit Abschriften und eine Verletzung meines Urheberrechts zu verhindern.

Falls Verdacht besteht, dass mein Urheberrecht verletzt wurde, erkläre ich mich damit einverstanden, dass die Schulleitung meine Arbeit zu Prüfzwecken herausgibt.

17. Oktober 2021, *A. Bircher*