

# Modulare Betonelemente als Mittel zur Förderung der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*)

**Bachelor Thesis**

**Author(s):**

Müller, Thomas

**Publication date:**

2018-08

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000289200>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

# **Modulare Betonelemente als Mittel zur Förderung der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*)**



Bachelorarbeit von  
**Thomas Müller**

Bachelorstudiengang Umweltnaturwissenschaften  
Departement Umweltsystemwissenschaften

Betreuungsperson: Florian Knaus

8. August 2018

**Autor:**

Thomas Müller

Rückimattweg 3

3312 Fraubrunnen

thomasmu@student.ethz.ch

**Betreuungsperson:**

Florian Knaus

Institut für terrestrische Ökologie

Departement Umweltsystemwissenschaften, ETH Zürich

florian.knaus@env.ethz.ch

## Zusammenfassung

Die Nutzung der Natur durch den Menschen führt zu nachhaltigen Veränderungen in dynamischen Systemen und zur Fragmentierung von Habitaten. Durch die Begradigung vieler Fließgewässer gehen zum Beispiel wichtige Lebensräume verloren. Die Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) ist von temporären Gewässern abhängig, welche in der Natur immer seltener geworden sind. Der Verlust dieser Gewässer hat zum Rückgang und Verlust vieler Populationen geführt und die Gelbbauchunke ist mittlerweile in der Schweiz, wie auch in vielen anderen europäischen Ländern, stark bedroht. Gelbbauchunken pflanzen sich bevorzugt in kleinen, temporär wasserführenden Tümpeln fort. Neben natürlichen Gewässern werden zunehmend auch künstliche Gewässer als Laichgewässer genutzt, wobei vor allem Gewässer aus Beton bevorzugt werden. Auf diesem Prinzip basieren auch sogenannte Ökomodule, welche aus einem kleinen Tümpel in der Mitte und mehreren übereinandergeschichteten Betonplatten mit Hohlräumen dazwischen bestehen. Dadurch soll den Unken auf kleinem Raum ein passender Lebensraum geboten werden. Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, zu untersuchen, ob die Ökomodule von den Gelbbauchunken als Lebensraum angenommen werden. Weiter soll auch untersucht werden, ob in den Ökomodulen Fortpflanzung stattfindet. Im Frühjahr 2018 wurden dazu 33 Gewässer in der Seemerrüti, einer Talebene im Tösstal, untersucht. Aufgrund einer langen Trockenphase, waren viele dieser Gewässer ausgetrocknet und nur 17 Gewässer haben im Untersuchungszeitraum überhaupt Wasser geführt, wovon sechs mithilfe eines Ökomoduls geschaffen worden sind. Insgesamt konnten bei vier Ökomodulen und acht anderen Gewässern Gelbbauchunken gesichtet werden. Die Ökomodule wurden also besiedelt und es konnte ein signifikanter Einfluss auf die Anwesenheit von adulten Unken nachgewiesen werden. Auch auf die Anzahl der adulten Unken in einem Gewässer scheinen die Ökomodule einen signifikanten Einfluss zu haben. Dieser Einfluss nimmt allerdings mit zunehmender Distanz zur Quellpopulation der Gelbbauchunken ab. Bei den juvenilen Unken konnten aufgrund der knappen Datenlage keine Effekte nachgewiesen werden. Die Ökomodule wurden auch als Laichgewässer genutzt. Es konnte ein signifikanter Effekt auf die Anwesenheit von Laich, welcher als Nachweis für Fortpflanzung in einem Gewässer dient, gefunden werden. Alle besetzten Ökomodule wurden zur Fortpflanzung genutzt, während bei den anderen Gewässern lediglich an einem Standort Fortpflanzung nachgewiesen werden konnte. Weiter konnte auch gezeigt werden, dass die Ökomodule bei Niederschlägen schneller Wasser fassen und dieses länger halten können, was die Überlebenswahrscheinlichkeit der Kaulquappen stark erhöht. Gelbbauchunken benötigen viele kleine Gewässer, um Populationen aufrechterhalten und sich ausbreiten zu können. Ökomodule sind eine gute Möglichkeit, solche Gewässer zu schaffen und die Fortpflanzung der Gelbbauchunken zu fördern. Für die erfolgreiche Besiedlung von Ökomodulen ist es allerdings wichtig, dass diese an Stellen eingebaut werden, wo die äusseren Bedingungen für die Gelbbauchunke stimmen. Um mehr über die Bevorzugung von Ökomodulen gegenüber anderen Gewässertypen und die Besiedlung durch juvenile Unken zu erfahren, sind weitere Studien nötig, welche sich über einen längeren Zeitraum erstrecken.

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	1
2.	Methoden.....	3
2.1	Gelbbauchunke ( <i>Bombina variegata</i> ).....	3
2.2	Untersuchungsgebiet .....	5
2.3	Amphibienvorkommen.....	5
2.4	Ökomodule .....	6
2.5	Standortwahl.....	7
2.6	Datenerhebung.....	10
2.7	Datenanalyse .....	11
3.	Resultate .....	13
3.1	Unkensichtungen .....	13
3.2	Wasserführung.....	18
3.3	Besiedlung der Gewässer .....	19
3.4	Fortpflanzung .....	22
4.	Diskussion .....	24
4.1	Unkensichtungen .....	24
4.2	Wasserführung.....	24
4.3	Besiedlung der Gewässer .....	25
4.4	Fortpflanzung .....	26
5.	Fazit und Ausblick.....	28
6.	Danksagung .....	30
7.	Literatur.....	31
	Eigenständigkeitserklärung .....	34

## 1. Einleitung

Der Mensch verändert und gestaltet die Natur schon seit Anbeginn seiner Existenz. Mit der Industrialisierung und der fortschreitenden landwirtschaftlichen Intensivierung wurden die Eingriffe stärker und tragen schwerwiegende und langfristige Konsequenzen mit sich (Koellner, 2008). In der Schweiz und in vielen anderen europäischen Ländern gehen beispielsweise durch die Begradigung und Kanalisierung von Fliessgewässern dynamische Lebensräume in der Natur verloren, welche überlebenswichtig sind für unterschiedlichste Arten. Eine Art, welche ursprünglich in solchen dynamischen Flussauen, Mooren, Verlandungszonen und Riedgebieten heimisch war, ist die Gelbbauchunke (*Bombina variegata*). Durch den zunehmenden Verlust ihrer Lebensräume geraten die Populationen in vielen Ländern in Bedrängnis und müssen auf menschengemachte Lebensräume, wie militärische Übungsplätze und Steinbrüche ausweichen (Meyer et al., 2014). Da die Gelbbauchunke in weiten Teilen von Mitteleuropa noch in grossen Populationen zu finden ist, wird sie auf globalem Niveau als nicht gefährdet (LC) eingestuft (IUCN, 2009). In der Schweiz gilt die Gelbbauchunke allerdings inzwischen als stark gefährdet (EN), da in vielen Gebieten ein starker Rückgang der Individuenzahlen und Populationen zu verzeichnen ist (Schmidt & Zumbach, 2005). Zwischen 1985 und 2005 ist die Gelbbauchunke in der Schweiz aus 57 Prozent ihrer ursprünglichen Standorte verschwunden (KARCH, 2014). Auch in Deutschland wird die Gelbbauchunke als stark gefährdet eingestuft, in Österreich als gefährdet und in Belgien ist sie bereits regional ausgestorben (IUCN, 2009).

Viele der übriggebliebenen Populationen sind stark isoliert und können sich nur lokal halten. Eine solche Unkenpopulation ist in der Seemerrüti in der Gemeinde Kyburg im Tösstal zu finden. Die Population besiedelt dort hauptsächlich das private Grundstück der Familie Renggli und wird mit grossem Aufwand und viel Eigeninitiative seit Jahren geschützt und gepflegt. Durch die Anlage von unterschiedlichen Teichen und dem Schutz vor Fressfeinden konnte eine grosse und gesunde Population entstehen und es hat sich über die Jahre ein hoher Populations- und Ausbreitungsdruck aufgebaut. Um die Ausbreitung der Art zu unterstützen, haben Werner und Sandra Renggli, mithilfe ihrer jahrelangen Beobachtungen und Erfahrungen, ein sogenanntes Ökomodul entwickelt. Ein Ökomodul ist aus einem kleinen Gewässer und mehreren hexagonförmigen Betonelementen zusammengesetzt und soll den Gelbbauchunken und anderen Lebewesen auf kleinstem Raum einen geeigneten Lebensraum bieten. In den letzten Jahren habe sich laut Werner Renggli gezeigt, dass die Unken auch Gewässer aus künstlichen Materialien wie Beton als Lebensraum anzunehmen scheinen und diese teilweise sogar den natürlicheren Gewässern vorziehen. Ähnliche Hinweise liefern auch Testversuche mit künstlichen Laichplätzen in Bayern, Deutschland. Dort wurden vier rechteckige Betonbecken in den Boden eingebaut, welche alle innert kurzer Zeit durch Gelbbauchunken besiedelt und auch als Laichgewässer genutzt wurden (Kurz & Zehm, 2015). Bei einem Pilotversuch von Barandun et al. (2009) im Grenzgebiet zwischen der Schweiz und Lichtenstein wurden künstliche Gewässer mithilfe von unterschiedlichen Materialien geschaffen. Obwohl hier alle verschiedenen Beckentypen von Gelbbauchunken zur Fortpflanzung genutzt worden

sind, haben Betonringe und Betontröge am besten abgeschnitten (Barandun et al., 2009). Ähnliche Betonbecken wurden auch in den Niederlanden schon erfolgreich zur Förderung von Gelbbauchunken eingesetzt (Stumpel & Blezer, 1999).

Die Ökomodule scheinen also auf einer bewährten Methode zur Unkenförderung aufzubauen. Durch die Hohlräume zwischen den Betonplatten soll aber zusätzlich zum Gewässer auch ein passender Landlebensraum geschaffen werden. Die Ökomodule sollen so gut an die Lebensraumanforderungen der Gelbbauchunken angepasst sein, dass diese von ihnen als neuer Lebensraum angenommen werden. Sie sollen aber nicht nur besiedelt, sondern auch zur Fortpflanzung genutzt werden. Um zu testen, ob die Ökomodule auch tatsächlich als Lebensraum und zur Ausbreitung und Vernetzung der Gelbbauchunke geeignet sind, wurden mehrere Ökomodule in der Umgebung der Seemerrüti in die Landschaft eingesetzt.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde überprüft, ob die Ökomodule an die Lebensraumanprüche der Gelbbauchunke angepasst sind und ob sie als Lebensraum angenommen werden. Weiter wurde auch getestet, ob sie zur Fortpflanzung genutzt werden und so zur Ausbreitung und Aufrechterhaltung der Population beitragen können.

## 2. Methoden

### 2.1 Gelbbauchunke (*Bombina variegata*)

Die Gelbbauchunke gehört innerhalb der Froschlurche (*Anura*) zur Familie der *Bombinatoridae* und ist in ganz Mitteleuropa verbreitet (Nöllert et al., 2014). Die endemische Art kommt zwischen 300 und 800 m ü. M. vor und ist in der Schweiz vor allem im Mittelland und in den Alpentälern vorzufinden (Mermod et al., 2011). Da Unken, wie alle Amphibien, wechselwarme Tiere sind, müssen sie ihre Aktivitäten an die Umgebungstemperatur anpassen (Gollmann & Gollmann, 2012). Aus diesem Grund halten sie sich im Winter mehrheitlich in frostfreien Verstecken an Land auf, bis die Temperaturen im Frühjahr wieder steigen (Mermod et al., 2011). Je nach Temperatur und Niederschlagsmenge werden die ersten Unken meist ab Mitte April wieder aktiv und besiedeln die ersten Gewässer (Meyer et al., 2014).

Als Aufenthaltsgewässer dienen kühle, vegetationsreiche und beschattete Gewässer, welche viele Versteckstrukturen bieten (Lippuner, 2014). An diesen Gewässern findet keine Fortpflanzung statt und es halten sich hauptsächlich juvenile Unken und nicht paarungsbereite Weibchen dort auf (Gollmann & Gollmann, 2012). Fortpflanzung findet hingegen an sogenannten Laichgewässern statt. Dies sind hauptsächlich kleine, sonnenexponierte, vegetationsarme und seichte Gewässer, welche sich schnell erwärmen und nur temporär Wasser führen (Miesler & Gollmann, 2000). Von Vorteil ist es, wenn diese Gewässer im Frühjahr und Sommer durchgehend Wasser führen und im Herbst oder Winter trockenfallen (Mermod et al., 2011). Das temporäre Trockenfallen der Laichgewässer führt zu einem niedrigeren Prädationsdruck, weil so aquatische Fressfeinde eliminiert werden. Andererseits steigt dadurch aber das Risiko, dass Laichgewässer im Sommer austrocknen und so der Laich und die Kaulquappen sterben. Dies versucht die Gelbbauchunke zu kompensieren, indem sie sich über einen Zeitraum von mehreren Monaten fortpflanzt und ihr Gelege in mehreren Gewässern ablegt (Meyer et al., 2014). Die Ende April startende Ruf- und Paarungszeit dauert deshalb bis in den August hinein (Niekisch, 1990).

Der Laich der Gelbbauchunke ist in Ballen von jeweils 10 bis 20 Eiern angeordnet (Buschmann, 1998). Nach vier bis zehn Tagen schlüpfen dann die Kaulquappen, welche mehrere Entwicklungsstadien durchlaufen (Abbühl, 1997). Nach einer Entwicklungszeit von einem bis drei Monaten findet dann die Metamorphose statt und die juvenilen Unken können das Gewässer verlassen. In den folgenden zwei bis drei Jahren wachsen die juvenilen Unken weiter, bis sie ab einer Körpergröße von 30 mm die Geschlechtsreife erreichen (Gollmann & Gollmann, 2012).

Während sich Kaulquappen durch Algen und Detritus ernähren, haben die ausgewachsenen Unken ein sehr breites Beutespektrum (Nöllert et al., 2014). Sie essen hauptsächlich Insekten, Würmer, Spinnentiere und Schnecken (Ghiurcă & Zaharia, 2005; Sas, 2005; Bisa et al., 2007). In seltenen Fällen und bei extrem hohem Populationsdruck kann es auch zu Kannibalismus kommen (Gollmann & Gollmann, 2012). Die Kaulquappen und Metamorphlinge werden aber hauptsächlich von Vögeln,



Fischen und Schlangen gefressen, während der Laich oft Molchen zum Opfer fällt (Niekisch, 1990). Die adulten Unken hingegen sind sehr gut gegen Fressfeinde geschützt. Die braun-grünliche Färbung des Rückens dient den Gelbbauchunken als Tarnung und hilft ihnen sowohl am lehmigen Gewässerboden, als auch an Land unentdeckt zu bleiben. Die individuelle gelb-schwarze Musterung der Unterseite der Gelbbauchunken schreckt zudem mögliche Angreifer ab und falls dies nicht ausreicht, kann das brennende Hautgift eingesetzt werden (Gollmann & Gollmann, 2012; 2011).

Mit dem Ende der Fortpflanzungssaison wandern Ende August die meisten Unken in die Landlebensräume ab und im September und Oktober suchen sie die Winterquartiere auf (Nöllert et al., 2014). Da Gelbbauchunken nicht gut gegen hohe Temperaturen und starke Sonneneinstrahlung geschützt sind, verstecken sie sich oft auch im Sommer an kühlen Stellen an Land. Dazu werden sowohl natürliche, als auch künstliche Strukturen verwendet, welche auch bei hohen Temperaturen noch genügend Feuchtigkeit bieten, um die Unken vor dem Austrocknen zu schützen (Niekisch, 1996).

Gelbbauchunken sind relativ ortstreue Amphibien. Dies bedeutet, dass sie sich über mehrere Jahre hinweg im selben Gebiet aufhalten. Es wurden schon Tiere untersucht, welche ihr gesamtes Leben an einem Gewässer verbracht haben (Gollmann & Gollmann, 2012). Andere Individuen wiederum wandern pro Jahr über 2000 m weit (Schellenberg, 2016). Während der Fortpflanzungssaison ist die Ortstreue der Gelbbauchunken allerdings sehr stark. Bei Untersuchungen von Schellenberg (2016) blieben 95 % aller Individuen im selben Gewässerkomplex, während nur 5 % den Gewässerkomplex wechselten. Auch bei Verfrachtungsversuchen von Niekisch (1990) zeigte sich, dass ein Grossteil der verfrachteten Tiere zu ihrem ursprünglichen Gewässerkomplex zurückkehrt. Dies beschränkt sich allerdings nur auf die adulten Tiere. Bei Versuchen mit Juvenilen ist kein einziges Tier an das ursprüngliche Gewässer zurückgekehrt. Dies legt nahe, dass vor allem Jungtiere für die Besiedlung von neuen Gewässern verantwortlich sind, während adulte Tiere eine sehr starke Ortstreue aufweisen (Niekisch, 1990). Die Besiedlung neuer Gewässer findet hauptsächlich in einem Umkreis von 200 bis 300 m einer bestehenden Population auf. Mit Besiedlungen über grössere Distanzen ist nur zu rechnen, wenn es sich um eine grosse Quellpopulation handelt, wobei ein starker Abwanderungsdruck besteht, oder wenn die Abwanderung durch Strukturen, wie Entwässerungsgräben oder Fahrspuren erleichtert wird (KARCH, 2014). Bei Trockenfallen oder Zerstörung der Laichgewässer während der Laichsaison wandern die Gelbbauchunken in den meisten Fällen nicht weit, sondern weichen auf die nächstgelegenen Gewässer aus (Niekisch, 1990). Falls innert kurzer Distanz mehrere Laichgewässer vorhanden sind, können die Gelbbauchunken auch zwischen diesen hin- und herwandern und ihre Fortpflanzungsaktivität auf diese Gewässer verteilen (Gollmann & Gollmann, 2012).

## **2.2 Untersuchungsgebiet**

Als Untersuchungsgebiet für diese Bachelorarbeit dient die Seemerrüti im Tösstal, welche sich auf dem Gemeindegebiet von Illnau-Effretikon befindet. Die Seemerrüti liegt auf 485 m ü. M. und bildet zusammen mit dem Gebiet Sören eine flache Talebene, die auf der einen Seite direkt an die Töss grenzt und auf der anderen Seite bis zum Hang der Tutschgenhalden reicht. Die maximale Breite der Talebene von der Töss bis zum Fusse des Hangs beträgt ungefähr 300 m und die Länge beträgt circa 1150 m. Der Übergang zum Hang bildet gleichzeitig auch den Waldrand. Der unbewaldete Teil des Hanges wird als Schafweide, die Talebene selbst hauptsächlich ackerbaulich genutzt. Beim Bodentypen auf der Talebene handelt es sich überwiegend um normal durchlässige Kalkbraunerde, im westlichsten Teil um grund- oder hangwassergeprägten Fluvisol (Geographisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH)). Am Hang wird der Boden zunehmend feuchter und ist durch Hangwasser geprägt. Ausserdem handelt es sich um lehmigen Boden, welcher viel Feuchtigkeit aufnehmen kann. Die Bereiche am Waldrand wurden von der Fachstelle Naturschutz Zürich als potentielle Feuchtgebiete ausgewiesen (GIS-ZH).

Der Hang hat eine nordöstliche bis östliche Exposition und wird dadurch vor allem durch die Morgensonne beeinflusst. Im Verlauf des Frühjahrs verschiebt sich der Sonnengang in nördlicher Richtung über den Hügel, was zu einer längeren Besonnung der Talebene und der Hanglagen führt.

## **2.3 Amphibienvorkommen**

Im Gebiet der Seemerrüti befindet sich eine Gelbbauchunkenpopulation, welche relativ isoliert ist. Weiter gibt es auch eine Population am Eschenberg in Winterthur. Die beiden Vorkommen in der Seemerrüti und am Eschenberg waren ursprünglich wohl durch die Töss verbunden, als diese noch ihrem natürlichen Lauf folgte (Tobler, o.J.). Aufgrund der Kanalisierung der Töss tritt das Wasser bei Hochwasser nicht mehr über die Ufer hinaus, wodurch sich keine temporären Tümpel mehr bilden können. Somit ging die Vernetzung der beiden Vorkommen verloren und die Populationen beschränken sich nun auf ihre jeweiligen Gebiete.

Aufgrund der feuchten Hanglage, der Nähe zur Töss und dem nahen Waldrand bietet die Seemerrüti gute Voraussetzungen für eine gesunde, eigenständige Population. Am Hang bilden sich durch das Hangwasser und den lehmigen Boden bei Niederschlägen schnell Tümpel, welche als Laich- und Aufenthaltsgewässer dienen können. Die Nähe zum Waldrand bietet ausserdem viele Versteckmöglichkeiten und somit auch geeignete Landlebensräume und Überwinterungsmöglichkeiten.

Die Gelbbauchunkenpopulation in der Seemerrüti pflanzt sich im Frühling und Sommer jeweils hauptsächlich im Garten des privaten Grundstücks Seemerrüti 1 fort. Die Eigentümer des Grundstücks, Werner und Sandra Renggli, bemerkten bereits im November 1992, dass es auf ihrem Grundstück ein reiches Vorkommen von Amphibien gibt. Unter ihnen die Gelbbauchunke, welche kurz nach dem Erstellen eines Brunnens bereits ihre Eier darin ablegte und ihn als Laichgewässer nutzte. Aufgrund der

hohen Amphibiendichte begannen die Eigentümer Lebensräume für die Tiere zu schaffen. Sie erstellten Pfützen und Steinmauern und schichteten Steine und Holz am Waldrand auf, um Versteckmöglichkeiten zu schaffen. Ausserdem erstellten sie mehrere Teiche im Garten. Um möglichst vielen verschiedenen Tieren einen Lebensraum zu bieten, schufen sie absichtlich unterschiedliche Bedingungen in den Teichen. Dies erreichten sie durch unterschiedliche Tiefen, Wassertemperaturen, Durchfliessgeschwindigkeiten und Bodenbeschaffenheiten. Die Teiche werden aus der eigenen Quelle gespeisen. Durch diese Massnahmen und durch die gezielte Pflege der Tiere konnten sich die Populationen sehr gut entwickeln. So ist die Gelbbauchunkenpopulation dort enorm gewachsen und erreicht heute extrem hohe Individuenzahlen.

Auf dem Grundstück finden sich ausserdem Populationen weiterer Amphibienarten, wie dem Fadenmolch, Bergmolch, Grasfrosch, Feuersalamander und der Erdkröte. In den letzten Jahren wurden ausserdem regelmässig Geburtshelferkröten gesichtet. Zusätzlich kommen auch Reptilien, wie die Ringelnatter und verschiedene Eidechsenarten im Gebiet vor.

## **2.4 Ökomodule**

Der Grundstückbesitzer und Bauunternehmer Werner Renggli hat seit Beginn der Förderung mit eigenen Versuchen einiges über die Gelbbauchunken und ihre Ansprüche gelernt. Um dem Schwinden ihrer natürlichen Lebensräume entgegenzuwirken, hat sich Werner Renggli im Frühjahr 2015 entschieden, künstliche Module zu entwickeln, die den Unken als Lebensraumsersatz dienen sollen. Im Herbst 2016 wurde ein Prototyp erstellt und getestet, wie man diese Module in den Lebensraum integrieren kann. Nach mehreren Ausbesserungsarbeiten wurde im Jahr 2017 das erste Modul hergestellt und eingesetzt.

Die sogenannten Ökomodule sind als modulares Betonelement-System aufgebaut und bestehen aus hexagonförmigen Einzelmodulen. Somit ist es möglich die Ökomodule gezielt und individuell zusammenzustellen und diese an den bestehenden Lebensraum und die Platzverhältnisse anzupassen. In der Mitte der Ökomodule befindet sich ein kleiner Tümpel. Der Tümpel kann mit Schlamm und Pflanzen gefüllt werden, damit die Unken darin Schutz und viele Strukturen zum Verstecken und ablaichen finden können. Umgeben ist der Tümpel von Betonplatten, die übereinandergeschichtet werden. Zwischen den Betonplatten befinden sich Hohlräume, welche wiederum befüllt werden können. Zur individuellen Anpassung stehen unterschiedliche Abdeckplatten zur Verfügung. Die Ökomodule können als Gehweg, Stützmauer, Treppe, Gestaltungselement im Garten oder einfach als Gewässer zur Unkenförderung verwendet werden. Je nach Verwendungszweck werden die Betonplatten mit Lehm bedeckt und sind somit nicht mehr sichtbar (Abbildung 1). Die Ökomodule sollen vor allem im Siedlungsgebiet, auf Gewerbeflächen, in Naturschutzgebieten und in landwirtschaftlich genutzten Flächen eingebaut werden und dort zusätzliche Strukturen und Lebensräume bieten.



Abbildung 1: Prototyp eines Ökomoduls mit zwei Tümpeln (links). Ökomodul mit einem Tümpel in den Hang eingebaut (rechts). Die Betonplatten sind hier nur noch vereinzelt sichtbar.

Die Ökomodule sollen aber nicht nur der Gelbbauchunke als Lebensraum dienen, sondern auch anderen Amphibien, Reptilien, Insekten und sogar kleinen Säugetieren, wie dem Igel oder der Haselmaus. Je nach Zielart, können die Hohlräume individuell gestaltet und befüllt werden. Möchte man die Gelbbauchunke fördern, so werden die Hohlräume hauptsächlich mit Lehm, lockerer Erde und Steinen gefüllt. Für andere Amphibienarten kann zusätzlich auch noch Laub und Totholz verwendet werden.

## 2.5 Standortwahl

Als erster wichtiger Schritt mussten die Tümpel für die Untersuchung bestimmt werden. Anlässlich einer ersten Begehung der Seemerrüti am 10. April 2018 wurden die Standorte bestimmt, welche für die Untersuchung geeignet sind. Dazu wurden alle Standorte ausgewählt, bei denen ein Ökomodul eingebaut wurde, bereits ein Tümpel bestand oder wo es wahrscheinlich war, dass sich bei Niederschlag ein Tümpel bilden könnte. Insgesamt kamen so 33 Gewässer zusammen (Tabelle 1). Sechs dieser Gewässer wurden mithilfe eines Ökomoduls erstellt. Um die genaue Position der Gewässer und der Quellpopulation zu erfassen und auf der Karte einzuzeichnen, wurden die Koordinaten im Koordinatensystem CH1903+ mit der Smartphone Applikation Mapit GIS (Version 6.0.2; Mapit GIS Ltd., 2014). erfasst. Die Positionen der Standorte sind in der Karte in Abbildung 2 ersichtlich. Dank den genauen Koordinaten konnte die Distanz der Gewässer zur Quellpopulation bestimmt werden. Als Standort der Quellpopulation wurde die Mitte der Teiche auf dem Grundstück der Familie Renggli gewählt. Die Teiche sind relativ gross und tief und im Frühjahr wurde kein Wasserwechsel vorgenommen. Sie waren also im Winter zeitweise komplett zugefroren. Die Teiche befinden sich nahe am Waldrand und sind dadurch leicht beschattet. Aufgrund der leichten Hanglage mit einer nordöstlichen Exposition sind die Teiche hauptsächlich von der Morgensonne beeinflusst. In diesem Frühjahr wurden auf dem Anwesen ausserdem mehrere Ökomodule und weitere kleine Teiche angelegt, welche die Fortpflanzung der Gelbbauchunke zusätzlich fördern sollen.

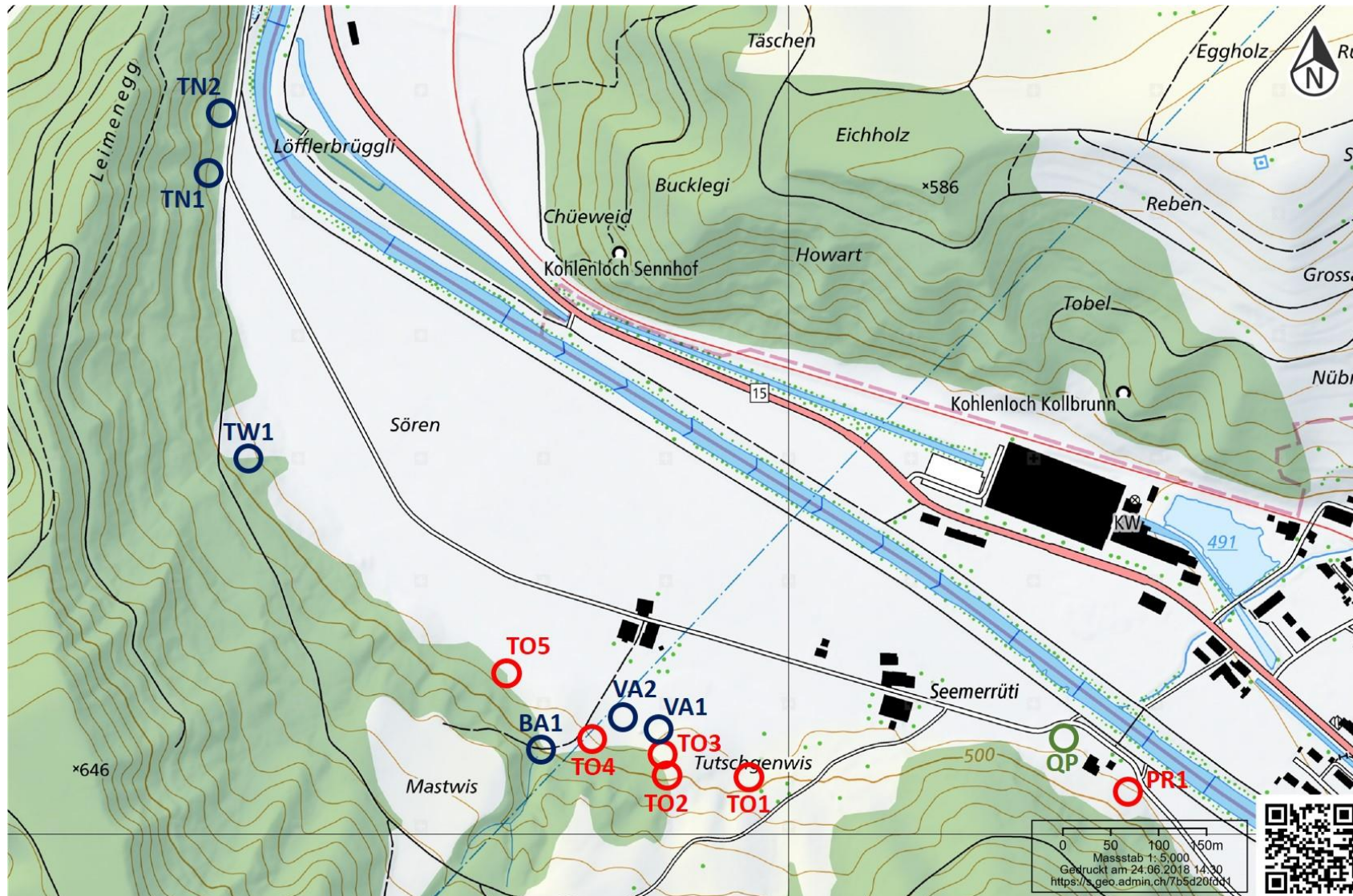


Abbildung 2: Karte der Seemerrüti mit allen Gewässerstandorten. Rot sind die Standorte der Ökomodule, dunkelblau die Standorte der anderen Gewässer eingezeichnet. QP (grün) ist der Standort der Quellpopulation. Die Standorte sind in Tabelle 1 näher beschrieben. (Karte: [www.map.geo.admin.ch](http://www.map.geo.admin.ch))

Tabelle 1: Beschreibung der untersuchten Gewässer. In Abbildung 2 sind die Standorte auf der Karte eingezeichnet.

<b>Standort- bezeichnung</b>	<b>Koordinaten (CH1903+)</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Modul (Ja/Nein)</b>
PR1	2'700'360.169, 1'257'035.046	Liegt sonnenexponiert und offen am feuchten Hang, mitten in einer Pferdeweide. Am Standort sind zwei Module halb in den Boden eingebaut. Die Hohlräume sind unterschiedlich befüllt, um für viele Tierarten einen Lebensraum zu bieten.	Ja
TO1	2'699'952.919, 1'257'064.003	Ökomodul mitten in einer Schafweide. Extrem exponierte Lage am Hang auf einer Kuppe mit wenig Vegetation und wenigen Versteckmöglichkeiten. Binsen lassen auf feuchten Untergrund schliessen. Sehr starke Sonneneinstrahlung und ca. 60m vom Wald entfernt.	Ja
TO2	2'699'856.503, 1'257'088.712	Ökomodul an sehr feuchter Stelle am Waldrand am Rand einer Feuchtwiese. Schattige Hanglage, welche nur durch die Morgensonne beeinflusst wird. Natürlich vernässter, lehmiger Untergrund mit vielen kleinen Pfützen.	Ja
TO3	2'699'856.836, 1'257'097.879	Ökomodul an sehr nasser Stelle mit vielen kleinen Pfützen direkt am Waldrand. Leichte Hanglage mit Morgensonne. Wasser staut sich hier nach Regenfällen an und versickert in den lehmigen Boden.	Ja
TO4	2'699'790.119, 1'257'090.870	Ökomodul unter einem Strommast am Waldrand. Schattige Hanglage mit Morgensonne auf feuchter Wiese und lehmigem Boden. Die Vegetation besteht aus Schachtelhalmen und Moosen und es gibt viele nasse Radspuren.	Ja
TO5	2'699'691.127, 1'257'171.336	Ökomodul auf Terrasse nahe der Talebene. Relativ offene Lage auf einer Feuchtwiese mit vielen kleinen Pfützen. An feuchtem Hang mit lehmigem Boden	Ja
BA1	2'699'738.794, 1'257'083.170	Aufstauung des Baches vor der Eindohlung im Wald. Gewässer mit wenig Strömung in schattiger Lage.	Nein
TN1.1 – TN1.10	2'699'396.385, 1'257'683.403	Natürliches Trittsteingewässer bestehend aus zehn Gewässern mit unterschiedlicher Grösse (3 grössere, 7 kleine). Relativ besonnte Lage im Wald mit leichter Hanglage. Viele Versteckmöglichkeiten.	Nein

TN2.1 – TN2.13	2'699'409.627, 1'257'741.170	Natürliches Trittsteingewässer bestehend aus 13 Gewässern mit unterschiedlicher Grösse (4 grössere, 9 kleine). Relativ schattige Lage im Wald mit üppiger Vegetation. TN2.13 liegt am Hang.	Nein
VA1	2'699'846.585, 1'257'105.336	Das Gewässer hat sich bei einem verstopften Abfluss gebildet. Es ist relativ tief und wurde bereits von Grasfröschen als Laichgewässer genutzt. Sonnenexponierte Lage auf der Talebene am Waldrand.	Nein
VA2	2'699'816.294, 1'257'107.336	Das Gewässer ist ebenfalls durch einen verstopften Abfluss entstanden und ist relativ tief. Es liegt am Waldrand auf der Talebene auf lehmigem Boden. Die Vegetation ist vor allem durch hohe Gräser und Moose geprägt. Auch hier sind bereits Kaulquappen und Laich des Grasfrosches vorhanden.	Nein
TW1	2'699'431.919, 1'257'379.003	Angelegtes Gewässer an feuchter Hanglage direkt am Waldrand. Eher schattige Lage mit vielen Versteckmöglichkeiten. Liegt direkt an einem Bach mit sehr lehmigem Boden.	Nein

Aufgrund des extrem trockenen Startes ins Jahr 2018 waren bereits zu Beginn der Datenerhebung viele der Gewässer trocken und wurden gar nicht erst durch Regenwasser gefüllt. Diejenigen Gewässer, welche über den gesamten Zeitraum der Datenerhebung trocken geblieben sind, mussten deshalb aus der Datenanalyse entfernt werden, weil sie sonst die Resultate verfälscht hätten. Zu diesen Gewässern gehören die Standorte TN1.4, TN1.5, TN1.7, TN1.8, TN1.9, TN1.10, TN2.1, TN2.2, TN2.3, TN2.4, TN2.7, TN2.8, TN2.9, TN2.10, TN2.11 sowie TN2.12. In die Datenanalyse sind somit Daten von insgesamt 17 Standorten eingeflossen.

## 2.6 Datenerhebung

Die Daten wurden mithilfe von Sichtbeobachtungen bei insgesamt 13 Begehungen erhoben. Bei jeder Begehung wurden alle 33 Gewässer untersucht. Um Effekte der Abfolge der Gewässer oder des Begehungszeitpunktes auszuschliessen, wurden für jede Begehung das Startgewässer und die Richtung der Begehung per Zufallsprinzip ausgewählt. Eine komplette Randomisierung der Gewässerabfolge hätte aber, aufgrund der grossen Distanzen zwischen den Standorten, zu viel Zeit in Anspruch genommen.

Die Erhebung fand im Zeitraum zwischen dem 10. April und dem 1. Juni 2018 statt. Der Startzeitpunkt der Erhebung wurde aufgrund von Erfahrungen der Familie Renggli aus den letzten Jahren bestimmt. Mit den ersten Unken kann jeweils Anfang April gerechnet werden. Da im April nur mit wenigen

Veränderungen in der Anzahl Unken zu rechnen war, wurde mit nur einer Begehung pro Woche gestartet und im Mai auf zwei Begehungen pro Woche erhöht. Die Begehungen fanden jeweils am Abend, kurz vor Sonnenuntergang statt. Zu dieser Tageszeit halten sich jeweils die meisten Unken in den Gewässern oder am Ufer auf, was die Datenerhebung massiv erleichtert.

Bei jeder Begehung wurde die Anzahl der adulten und juvenilen Unken, sowie die Anzahl Laichballen und Kaulquappen für jeden Tümpel erhoben. Die Datenerhebung basiert auf einer systematischen Zählung der Tiere der verschiedenen Altersklassen. Da das Zählen der einzelnen Eier nicht möglich war, wurden nur die Laichballen gezählt. Das Geschlecht der adulten Unken konnte ebenfalls nicht bestimmt werden, da es aufgrund von fehlenden Genehmigungen nicht erlaubt war, die Unken aus dem Gewässer zu entfernen, um sie näher untersuchen zu können.

Um vergleichbare Daten für jeden Standort zu erhalten, wurde eine standardisierte Vorgehensweise verwendet. Die Aufenthaltszeit bei jedem Gewässer betrug rund zehn Minuten. Wenn ein Gewässer ausgetrocknet war, wurde weniger Zeit aufgewendet, weil dort mit keinen Unken zu rechnen war. Als erster Schritt wurden die Wasseroberfläche und der Gewässergrund nach adulten und juvenilen Unken abgesucht. Durch das mehrmalige herumbewegen um die Gewässer wurden die Unken, welche sich am Ufer versteckt haben, dazu gebracht, sich ins Wasser zu begeben. So konnte die Anzahl relativ genau bestimmt werden. Da sich mit der Zeit gezeigt hat, dass viele der Gewässer mit Algen zuwachsen, musste auf das quantitative Zählen der Laichballen und Kaulquappen verzichtet werden, um keine fehlerhaften Daten zu sammeln. Es wurde stattdessen nur noch deren An- oder Abwesenheit im Gewässer erhoben. Dies kann als Proxy für die Fortpflanzung im Gewässer verwendet werden. Wenn Laich vorhanden ist, kann darauf geschlossen werden, dass Fortpflanzung stattgefunden hat. Wenn Kaulquappen vorhanden sind, bedeutet dies, dass der Laich solange überdauert hat, dass die Kaulquappen schlüpfen konnten.

Zusätzlich zur Anzahl Individuen wurden für jeden Standort auch noch Informationen zum Wasserstand und zu weiteren vorkommenden Tieren aufgenommen. Im gesamten Erhebungszeitraum wurden ausserdem die Maximal- und Minimaltemperatur sowie die Niederschlagsmenge für jeden Tag erfasst. Diese Daten stammen von der nächstgelegenen Wetterstation Aadorf/Tänikon (MeteoSchweiz).

## **2.7 Datenanalyse**

Insgesamt sind für die 13 Begehungen der 17 Gewässer 221 Datenpunkte für jede Altersklasse der Gelbbauchunken in die Datenanalyse eingeflossen. Für die Datenaufbereitung und die statistische Datenanalyse wurde R (Version 3.3.2; R Core Team, 2016) und die Software RStudio (Version 1.0.136; RStudio Team, 2016) verwendet. Die Grafiken wurden ebenfalls mit RStudio erstellt.

Die Wetterdaten wurden nicht für die statistische Datenanalyse verwendet, da es sich dabei um Tagesmittelwerte handelt und nicht um genaue Messwerte zum Zeitpunkt der Begehungen. Aus diesem Grund sind die Werte nicht aussagekräftig und stehen in keinem direkten Zusammenhang mit der Anzahl



Gelbbauchunken in einem Gewässer zum Begehungszeitpunkt. Die Wetterdaten wurden allerdings zur qualitativen Analyse der Anzahl Gelbbauchunken hinzugezogen, da sich durchaus Trends ableiten lassen. Aufgrund der extremen Trockenheit standen für die Altersklasse der juvenilen Unken nicht genügend Daten zur Verfügung, um statistische Tests durchzuführen. Die Sichtungen von Juvenilen haben sich hauptsächlich auf ein sehr kleines Gebiet beschränkt, in welchem sich keine Ökomodule befinden. Somit sind statistische Tests nicht sinnvoll und würden die Resultate verfälschen. Aus diesem Grund sind die Daten zur An- und Abwesenheit, sowie zur Anzahl der juvenilen Unken nur in die Analyse aller Unken zusammen eingeflossen und wurden nicht separat behandelt. Bei besserer Datenlage wäre die Analyse der Daten zu den juvenilen Unken mit den folgenden Methoden ebenfalls möglich gewesen.

Um zu testen, ob ein Ökomodul einen signifikanten Einfluss auf die An- oder Abwesenheit von Gelbbauchunken in einem Gewässer hat, wurde ein McNemar-Chi-Quadrat-Test mit zwei binären Variablen durchgeführt. Der McNemar-Chi-Quadrat-Test kam zusätzlich auch für die Altersklasse «Adulte» separat zur Anwendung und er wurde verwendet, um zu testen, ob die Fortpflanzung in einem Gewässer durch ein Ökomodul beeinflusst wird.

Damit bestimmt werden kann, ob die An- oder Abwesenheit von Gelbbauchunken in einem Gewässer auch von der Distanz des Gewässers zur Quellpopulation abhängt und ob ein Ökomodul je nach Distanz einen unterschiedlichen Effekt hat, wurden Generalisierte Lineare Modelle (GLM) mit Interaktionseffekten verwendet. Diese benutzen die log-link Funktion und nehmen eine Quasibinomialverteilung an, da die Zielvariabel aus binären Daten besteht. Dieses Modell wurde für alle Unken zusammen und für die Altersklasse «Adulte», also ohne juvenile Unken, separat angewendet. Aufgrund der knappen Datenlage war die Verwendung eines Generalisierten Linearen Modells (GLM) mit den Fortpflanzungsdaten nicht möglich.

Um zu überprüfen, ob die Anzahl Gelbbauchunken in einem Gewässer durch ein Ökomodul beeinflusst wird, wurden Generalisierte Lineare Modelle (GLM) verwendet, welche eine Quasipoissonverteilung annehmen. Ein solches Modell wurde ebenfalls benutzt, um die Interaktion zwischen der Präsenz eines Ökomoduls und der Distanz des Gewässers zur Quellpopulation zu testen. Die Abhängigkeit der Anzahl Gelbbauchunken in einem Gewässer von einem Ökomodul und der Distanz zur Quellpopulation wurde ebenfalls für alle Unken zusammen und für die Altersklasse «Adulte» separat getestet. Für alle statistischen Tests wurde ein Signifikanzniveau von 0.05 verwendet.

### 3. Resultate

#### 3.1 Unkensichtungen

Die erste Gelbbauchunke in diesem Frühjahr wurde am 8. April in einem der Teiche auf dem Grundstück der Rengglis gesichtet. Die Tagestemperatur hat an diesem Tag erstmals in diesem Jahr die Temperaturgrenze von 20 °C überschritten.

Bei der ersten Begehung am 10. April konnten insgesamt zwei adulte Unken gesichtet werden. Diese hielten sich am Standort TN1.2 bei den natürlichen Trittsteingewässern auf. Am 18. April wurde dann bereits die erste Unke bei einem Ökomodul entdeckt. Es handelte sich dabei um ein rufendes Männchen, welches sich beim Standort PR1 aufhielt. Die ersten juvenilen Unken konnten bei der Begehung am 20. April bei den Standorten TN1.1, TN1.2 und TN1.6 gesichtet werden. Die Anzahl der Beobachtungen von adulten und juvenilen Unken aller Standorte zusammen sind nach einem anfänglichen Anstieg relativ konstant geblieben, bis sie am 10. Mai beide stark eingebrochen sind (Abbildung 3). Ab dem 15. Mai begannen die Zahlen beider Altersklassen wieder anzusteigen bis sie am 28. Mai wieder leicht eingebrochen sind. Am ersten Juni konnten bereits wieder mehr adulte und juvenile Gelbbauchunken gesichtet werden.

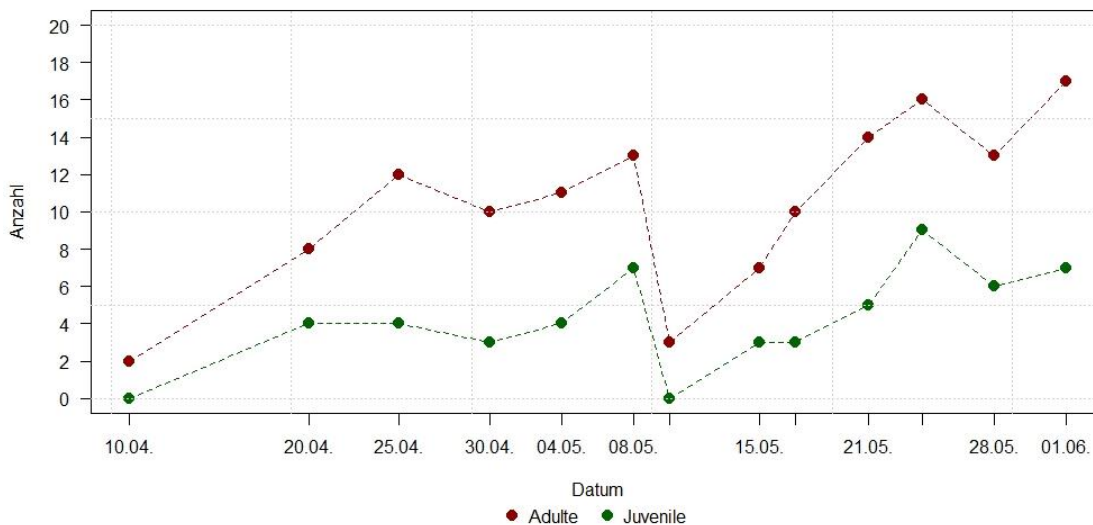


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Gesamtzahlen der adulten und juvenilen Gelbbauchunken über alle 17 Standorte.

Die maximalen Lufttemperaturen unterlagen zu Beginn der Erhebungen ziemlich starken Schwankungen. Diese bewegten sich zwischen 12 und 25 °C, wobei es bereits im April zu sehr hohen Temperaturen gekommen ist (Abbildung 4). Ab dem 10. Mai nahmen die Schwankungen ab und nach einem kurzen Temperatureinbruch stiegen die Höchsttemperaturen kontinuierlich an. Ab dem 26. Mai scheinen sich die Temperaturen auf einem Niveau von ungefähr 25 °C eingependelt zu haben. Die minimalen Lufttemperaturen schwankten weniger stark. Auch hier kam es bereits im April und anfangs Mai zu starken Ausschlägen nach oben mit einem Höchstwert von 12.1 °C am 5. Mai. Im Anschluss sanken die Minimaltemperaturen leicht und befanden sich ab dem 11. Mai in einem stetigen Anstieg.

Die Schwankungen im Temperaturverlauf spiegeln sich in der Anzahl der adulten und juvenilen Gelbbauchunken in den Gewässern wieder. Nach den extremen Temperaturanstiegen am 22. April und am 6. Mai zeigt sich jeweils auch ein Anstieg in der Anzahl Unkenbeobachtungen. Nach den anschließenden Temperatureinbrüchen konnten wiederum nur noch wenige Unken gesichtet werden. Mit dem kontinuierlichen Temperaturanstieg ab dem 10. Mai stiegen auch die Unkensichtungen wieder.

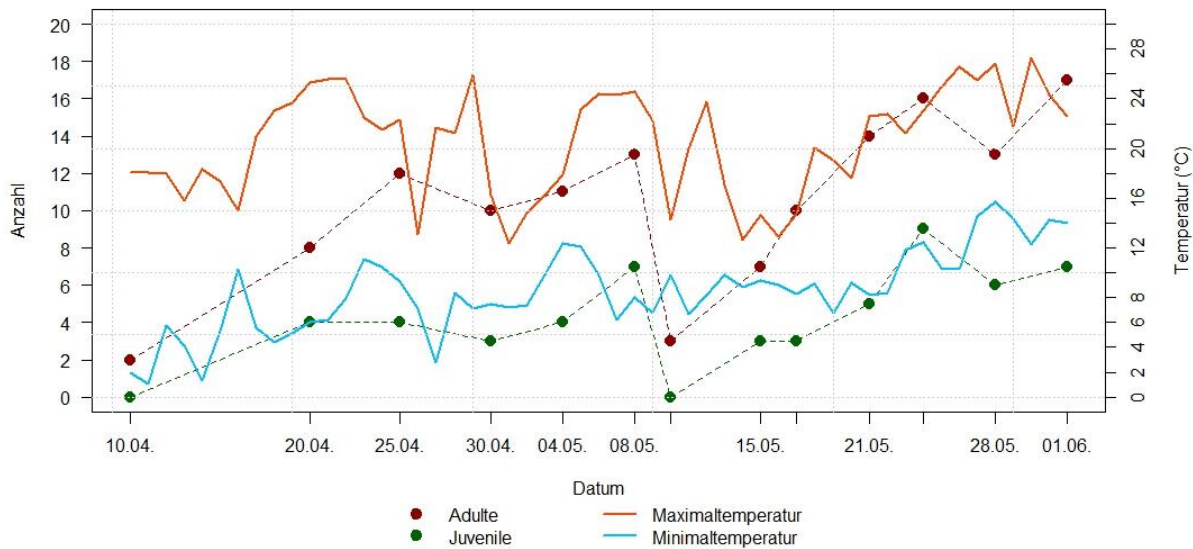


Abbildung 4: Temperaturverlauf der Maximal- und Minimaltemperatur (°C) mit der Anzahl der Beobachtungen von adulten und juvenilen Gelbbauchunken über den gesamten Erhebungszeitraum.

Das Frühjahr 2018 war aber nicht nur durch starke Temperaturschwankungen geprägt, sondern auch durch eine extreme Trockenphase, welche sich über mehr als vier Wochen erstreckt hat (Abbildung 5). Im gesamten April und bis in den Mai hinein waren praktisch keine Regenfälle zu verzeichnen. Erst am 9. Mai kam es zu den ersten spürbaren Niederschlägen im Erhebungszeitraum. Gefolgt wurden diese von starken Niederschlägen zwischen dem 15. und 17. Mai, sowie zwischen dem 22. und 24. Mai. An diesen Tagen konnten auch klar tiefere Temperaturen verzeichnet werden. Da die Niederschläge aber nicht immer auf einen Begehungstag gefallen sind, konnten mögliche Effekte des Regens auf die Anzahl adulter und juveniler Unken teilweise nicht direkt gemessen werden. Trotzdem ist zu erkennen, dass die Anzahl Unkensichtungen während oder direkt nach Regenfällen tendenziell tiefer ist, als in trockenen Perioden. Einige Tage nach den regnerischen Phasen ist jeweils wieder ein Anstieg in der Anzahl Unkenbeobachtungen zu erkennen.

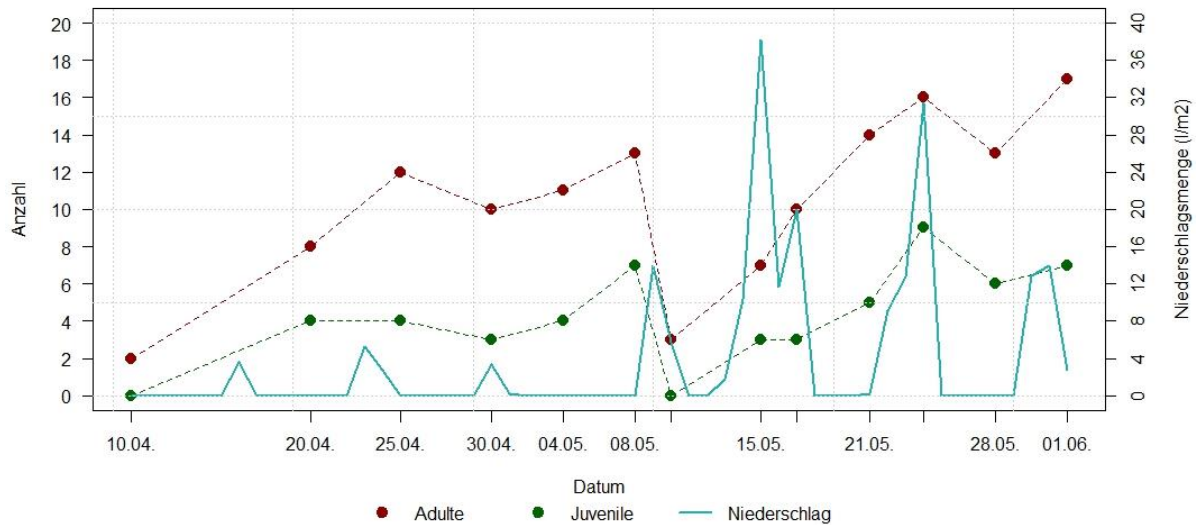


Abbildung 5: Niederschlagsverlauf (l/m<sup>2</sup>) über den gesamten Erhebungszeitraum hinweg mit der Anzahl adulter und juveniler Unken.

Die Anzahl der adulten und juvenilen Gelbbauchunken war zwischen den einzelnen Standorten ziemlich unterschiedlich. Insgesamt konnten über den gesamten Erhebungszeitraum hinweg an vier der sechs Standorten mit Ökomodul (Abbildung 6) adulte oder juvenile Gelbbauchunken gesichtet werden. Nach der Beobachtung der ersten adulten Unke am Modulstandort PR1 am 18. April, ist dort die Anzahl der ausgewachsenen Unken bis zum Einbruch am 10. Mai kontinuierlich gestiegen. Bereits kurze Zeit später hat sie sich auf einem Niveau von drei Unken eingependelt und die erste juvenile Unke konnte am 21. Mai gesichtet werden. Bei Standort TO3 wurde die erste Unke am 25. April beobachtet und der restliche Verlauf der Anzahl adulter Unken folgte einem ähnlichen Muster wie bei Standort PR1. Auch hier ist der Zusammenbruch am 10. Mai sehr gut erkennbar.

Die beiden Standorte TO2 und TO4 lagen wegen der extremen Trockenphase im April relativ lange trocken und konnten sich erst nach den starken Niederschlägen am 15. Mai wieder mit Wasser füllen. Bereits wenige Tage später konnten an beiden Standorten ebenfalls mehrere adulte Unken gesichtet werden. Juvenile Unken konnten, abgesehen von Standort PR1, bei keinem Modulstandort beobachtet werden.

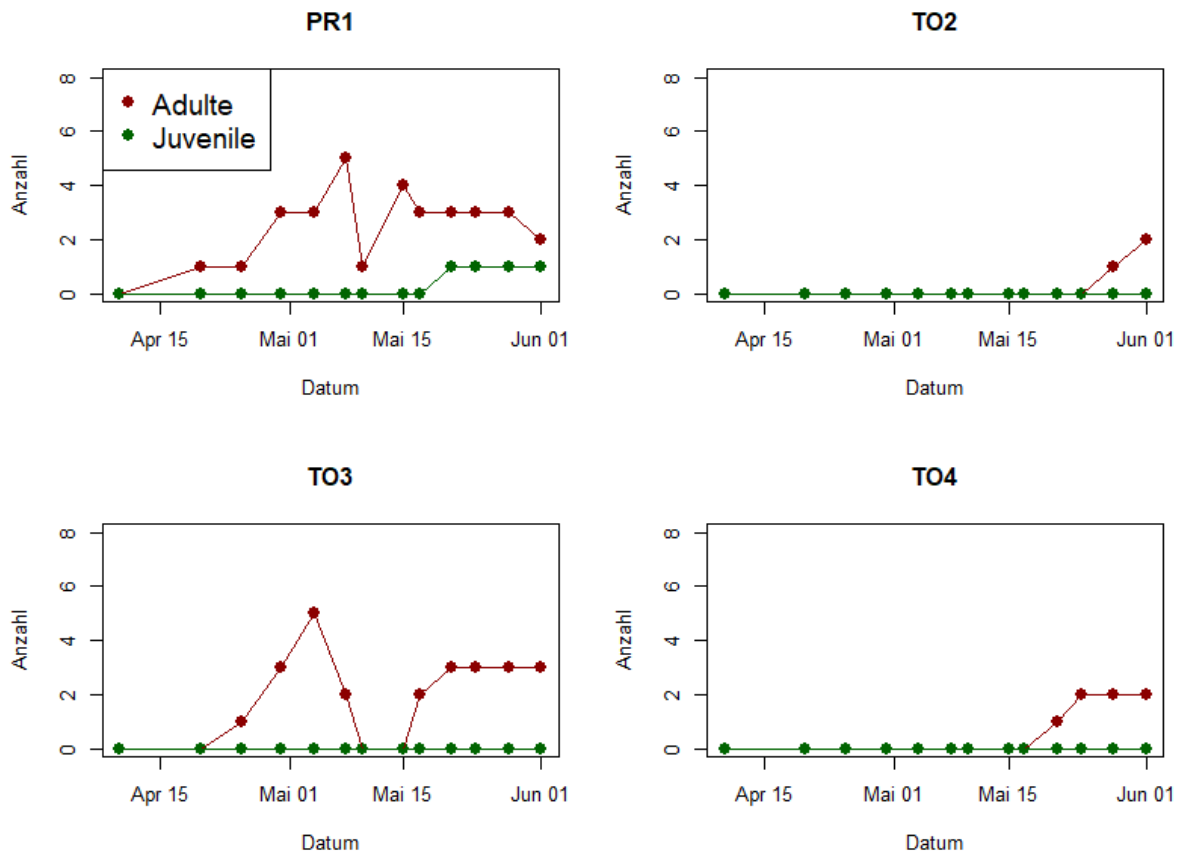


Abbildung 6: Verlauf der Anzahl adulter und juveniler Gelbbauchunken an den Standorten mit Ökomodul, welche während dem Erhebungszeitraum besiedelt wurden. Dies sind die Standorte PR1, TO2, TO3 und TO4.

Bei den Standorten ohne Ökomodul (Abbildung 7) konnten über den gesamten Erhebungszeitraum hinweg bei acht der elf Gewässer Unken gesichtet werden. Standort TN1.2 war bereits bei der ersten Begehung am 10. April durch zwei adulte Unken besiedelt. Am 20. April konnten dann die ersten juvenilen Unken gesichtet werden. Im Anschluss daran fluktuierte die Anzahl der Unken beider Altersklassen an diesem Standort ziemlich stark mit einem Einbruch der adulten Unken am 30. April. Der Einbruch am 10. Mai ist hier ebenfalls gut erkennbar. Es folgte ein starker Anstieg, bis bei der letzten Begehung am 1. Juni wieder weniger Unken gefunden werden konnten. An diesem Standort konnte am 24. Mai mit acht Individuen die höchste Anzahl juveniler Unken an einem Gewässer über den gesamten Erhebungszeitraum hinweg gezählt werden. Eine grosse Anzahl adulter Unken konnte auch am Standort TN2.6 erfasst werden. Dieses Gewässer hat sich in einer alten Steinmühle gebildet und ist relativ tief, während die Oberfläche sehr klein ist. Hier konnten ab dem 20. April regelmässig vier adulte Unken gefunden werden, wobei am 10. Mai ein Rückgang auf eine Unke verzeichnet wurde.

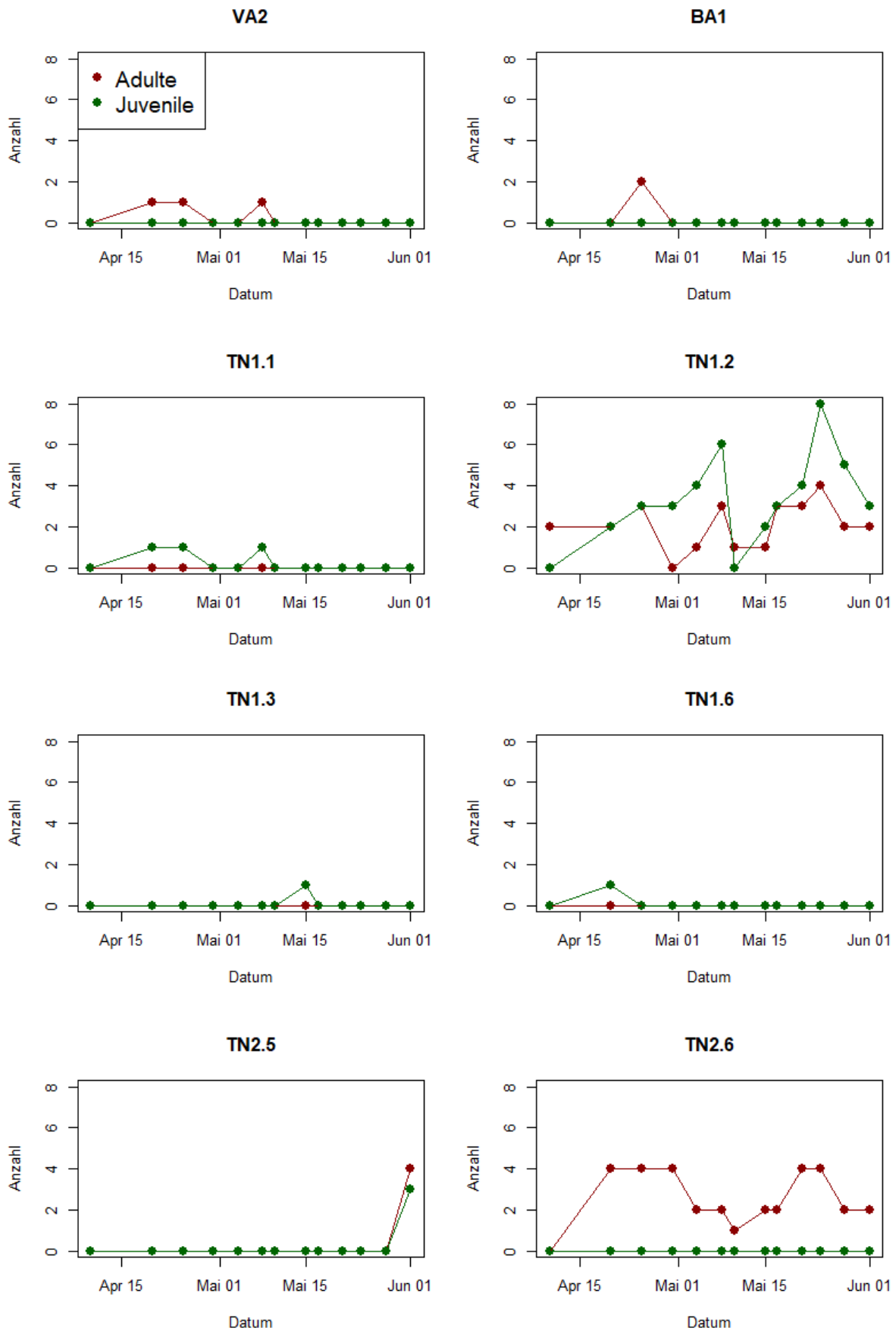


Abbildung 7: Verlauf der Anzahl adulter und juveniler Gelbbauchunken an den Standorten ohne Ökomodul, welche während dem Erhebungszeitraum besiedelt wurden. Dies sind die Standorte VA2, BA1, TN1.1, TN1.2, TN1.3, TN1.6, TN2.5 und TN2.6.

Das Gewässer TN2.5 hat zu Beginn der Datenerhebung nur wenig Wasser geführt und ist dann während der langen Trockenphase ebenfalls trockengefallen. Erst mit den Niederschlägen vom 15. Mai hat sich wieder Wasser angesammelt. Bei der letzten Begehung am 1. Juni konnten schliesslich vier adulte und drei juvenile Unken im Gewässer gezählt werden.

Bei der Bachmündung BA1 konnten lediglich am 25. April zwei adulte Gelbbauchunken gefunden werden. Bei Standort VA2 konnte regelmässig eine adulte Unke beobachtet werden. Nachdem dort der Wasserstand während der Trockenperiode aber drastisch gesunken und trotz Niederschlägen tief geblieben ist, konnte keine Unke mehr gesichtet werden. Ein ähnliches Muster zeigte sich bei Standort TN1.1. Hier wurde bereits am 20. April eine juvenile Unke gesichtet. Nachdem das Gewässer praktisch trockengefallen ist, wurde es aber ebenfalls trotz den Niederschlägen nicht mehr wiederbesiedelt. An den beiden Standorten TN1.3 und TN1.6 konnte jeweils nur einmal im gesamten Erhebungszeitraum eine juvenile Gelbbauchunke gesichtet werden. TN1.6 hat wegen der extremen Trockenheit nur in den ersten beiden Wochen etwas Wasser geführt und ist anschliessend komplett trockengefallen. TN1.3 lag zu Beginn der Datenerhebung trocken und konnte nur nach den starken Niederschlägen am 15. Mai ein wenig Wasser fassen, welches aber bereits am 17. Mai wieder verschwunden war.

### **3.2 Wasserführung**

Wegen der extrem langen Trockenphase im April wurden nicht nur viele Gewässer gar nicht erst mit Wasser gefüllt, sondern viele fielen auch im Erhebungszeitraum trocken. Über den gesamten Erhebungszeitraum hinweg waren durchschnittlich 75 % der 17 Gewässer, welche in die Datenanalyse eingeflossen sind, mit Wasser gefüllt. Zu Beginn der Erhebungen haben alle Gewässer Wasser geführt, während der minimale Anteil der wasserführenden Gewässer mit 41 % am 4. und am 8. Mai erreicht wurde. Bei der letzten Begehung lag der Anteil bei 76 %.

Die Ökomodule wurden alle einige Wochen vor der ersten Begehung durch die Familie Renggli mit Wasser gefüllt. TO2 und TO5 fielen allerdings bereits am 20. April trocken. Bis zu den Niederschlägen am 9. Mai trockneten auch TO4 und TO5 vollständig aus. Ab dem 15. Mai konnten sich aber alle Ökomodule wieder mit Wasser füllen und der Anteil der wasserführenden Ökomodule (Abbildung 8) ist bis zum Ende des Erhebungszeitraums bei 100 % geblieben.

Der Anteil der wasserführenden Gewässer ohne Ökomodul zeigt ein ähnliches Muster. Bis zum 10. Mai waren nur noch BA1, TW1, TN1.1, TN1.2 und TN2.6 mit Wasser gefüllt. Danach stieg der Anteil der wasserführenden Gewässer ohne Ökomodul auf 91 % an. Nur Gewässer TN1.6 konnte sich trotz den Niederschlägen nicht mehr füllen. Im Gegensatz zu den Ökomodulen konnten viele Gewässer das Wasser aber nicht lange halten. Bei der letzten Begehung lagen bereits 4 Standorte wieder trocken und der Anteil wasserführender Gewässer ohne Ökomodul fiel auf 64 %.

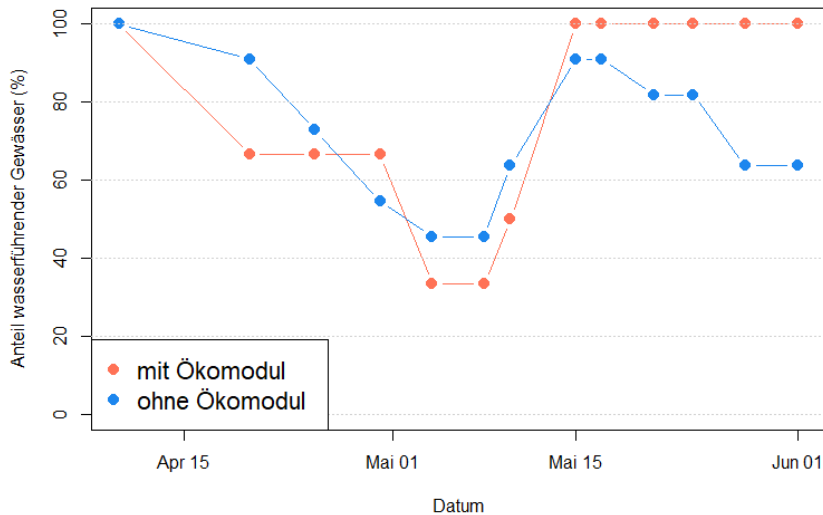


Abbildung 8: Anteil der wasserführenden Gewässer an allen Gewässern aufgeteilt nach Gewässertyp (mit oder ohne Ökomodul) über den gesamten Erhebungszeitraum.

### 3.3 Besiedlung der Gewässer

Insgesamt wurden während dem gesamten Erhebungszeitraum 12 der 17 Gewässer durch adulte oder juvenile Gelbbauchunken besiedelt. Im Durchschnitt lag der Anteil der besiedelten Gewässer bei 35 %. Auch bei der Besiedlung der Gewässer ist am 10. Mai ein Tiefstwert von nur 18 % zu beobachten. Bei der letzten Begehung waren rund 60 % aller Gewässer durch adulte oder juvenile Unken besiedelt.

9 der 17 Gewässer wurden durch adulte Gelbbauchunken besiedelt. Davon sind vier Ökomodule und fünf Gewässer ohne Ökomodul. Der Anteil der durch adulte Unken besetzten Gewässer an den wasserführenden Gewässern, variierte relativ stark (Abbildung 9). Bei den Ökomodulen stieg der Anteil kontinuierlich, bis er am 4. Mai 100 % erreichte. Zu diesem Zeitpunkt führten nur noch PR1 und TO3 Wasser, welche beide durch adulte Unken besiedelt waren. Während den starken Regenfällen am 10. und 15. Mai sank der Anteil jedoch schlagartig, da sich wieder alle Ökomodule mit Wasser füllen konnten. Bereits wenige Tage später nahm der Anteil wieder zu und verblieb bis zur letzten Begehung bei 67 %. Der Anteil der durch adulte Unken besetzten Standorte an den wasserführenden Standorten war bei den Gewässern ohne Ökomodul im Allgemeinen auf einem tieferen Niveau. Das Maximum wurde am 8. Mai mit 60 % erreicht. Bei der letzten Begehung waren 43 % aller wasserführenden Gewässer ohne Ökomodul durch adulte Unken besetzt.

Die Besiedlung von Gewässern durch juvenile Gelbbauchunken hat auf einem noch tieferen Niveau stattgefunden (Abbildung 10). Nur an sechs Gewässern wurden Juvenile entdeckt. Von den Ökomodulen konnte einzig PR1 durch eine einzelne juvenile Unke besiedelt werden. Der Anteil der durch juvenile Unken besetzten Gewässer an den wasserführenden Gewässern ohne Ökomodul schwankte über den gesamten Erhebungszeitraum hinweg zwischen 10 und 30 % mit einem Minimum am 10. April, als an keinem Standort Juvenile gesichtet werden konnten.



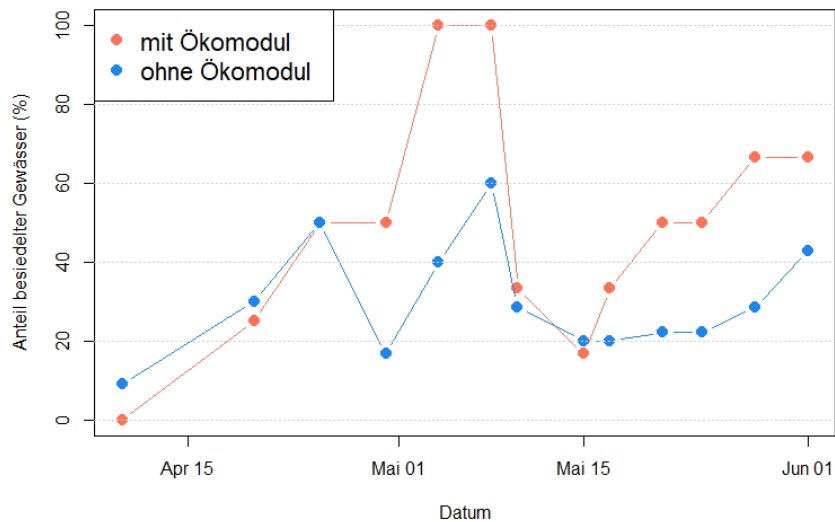


Abbildung 9: Anteil an den wasserführenden Gewässern der beiden Gewässertypen, welcher von adulten Unken besiedelt ist, über den gesamten Erhebungszeitraum hinweg.

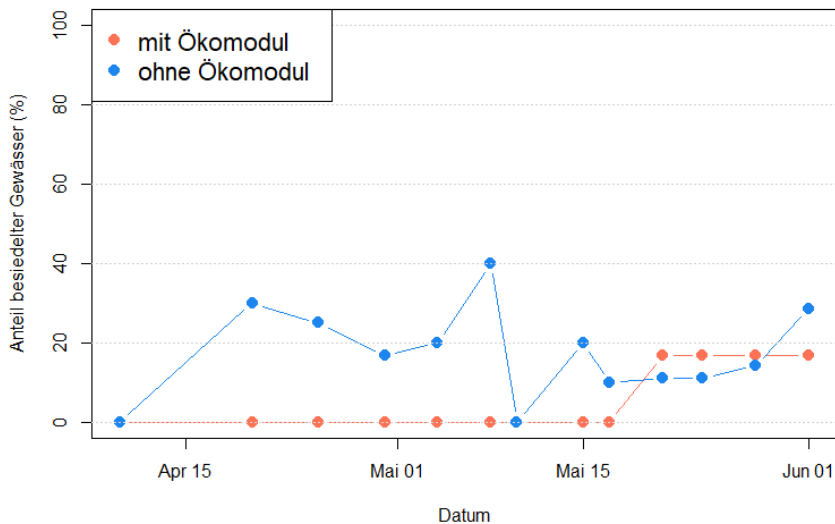


Abbildung 10: Anteil an den wasserführenden Gewässern der beiden Gewässertypen, welcher von juvenilen Unken besiedelt ist, über den gesamten Erhebungszeitraum hinweg

Bei Betrachtung der adulten und juvenilen Gelbbauchunken zusammen ist kein Effekt der Ökomodule auf die Besiedlung der Gewässer, welche durch die Präsenz von Unken am Gewässer gemessen wurde, zu erkennen. Der McNemar-Chi-Quadrat-Test zeigt keinen statistisch signifikanten Unterschied auf (McNemar's  $\chi^2=2.6163$ , p-Wert=0.1058). Wird aber auch die Distanz der Gewässer zur Quellpopulation in der Berechnung berücksichtigt, so zeigt sich im Generalisierten Linearen Modell (GLM) für die Besiedlung der Gewässer ein signifikanter Effekt der Ökomodule (Tabelle 2). Die Distanz eines Gewässers zur Quellpopulation, sowie die Interaktion zwischen Distanz und Ökomodul scheinen ebenfalls einen signifikanten Einfluss zu haben. Der leicht negative Schätzwert des Interaktionseffekts zeigt an, dass der Einfluss eines Ökomoduls auf die Besiedlung eines Gewässers mit zunehmender Distanz zur Quellpopulation abnimmt.

Untersucht man die adulten Unken separat, so wird der Effekt des Ökomoduls auf die Besiedlung signifikant (McNemar's  $\chi^2=5.5125$ , p-Wert=0.01888). Auch hier sind die Effekte des Ökomoduls, der Distanz und der Interaktion zwischen Ökomodul und Distanz signifikant, wenn diese in die Berechnung integriert werden (Tabelle 2).

*Tabelle 2: Ergebnisse der Generalisierten Linearen Modelle (GLM) mit Quasibinomialverteilung. Es wird getestet, ob die Anwesenheit von Gelbbauchunken im Allgemeinen und die Anwesenheit von adulten Unken statistisch signifikant von den erklärenden Variablen Ökomodul, Distanz zur Quellpopulation und deren Interaktion abhängen. Angegeben sind der Schätzwert, Standardfehler, t-Wert und p-Wert ( $Pr(>|t|)$ ). Signifikante Effekte sind grün markiert.*

Zielvariabel	Erklärende Variabel	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr(> t )
Adulte + Juvenile	Ökomodul	6.074486	1.354577	4.484	1.18e-05
	Distanz zur Quellpopulation	0.002841	0.001068	2.659	0.008426
	Interaktion Ökomodul*Distanz	-0.010283	0.002244	-4.582	7.75e-06
Adulte	Ökomodul	5.796652	1.351174	4.290	2.69e-05
	Distanz zur Quellpopulation	0.002304	0.001073	2.148	0.03280
	Interaktion Ökomodul*Distanz	-0.009746	0.002242	-4.346	2.13e-05

Die Anzahl der Gelbbauchunken an einem Gewässer mit oder ohne Ökomodul scheint sich nicht statistisch signifikant zu unterscheiden, wenn die Art des Gewässers, also ob es sich um ein Ökomodul handelt oder nicht, in den Generalisierten Linearen Modellen (GLM) als alleiniger Faktor behandelt wird. Dies gilt sowohl für alle Altersklassen zusammen, als auch für die Adulten separat (Tabelle 3).

*Tabelle 3: Ergebnisse der Generalisierten Linearen Modelle (GLM) mit Quasipoissonverteilung. Es wird getestet, ob ein Ökomodul einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Anzahl Gelbbauchunken aller Altersklassen und die Anzahl adulter Unken in einem Gewässer hat. Angegeben sind der Schätzwert, Standardfehler, t-Wert und p-Wert ( $Pr(>|t|)$ ).*

Zielvariabel	Erklärende Variabel	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr(> t )
Adulte + Juvenile	Ökomodul	-0.2653	0.1773	-1.496	0.14
Adulte	Ökomodul	0.04205	0.12313	0.341	0.734

Wenn die Distanz der Gewässer zur Quellpopulation und die Interaktion zwischen Ökomodul und Distanz in das Modell integriert werden, so wird der Einfluss des Ökomoduls auf die Anzahl adulter Unken signifikant (Tabelle 4). Auf die Anzahl der adulten und juvenilen Unken zusammen hat ein Ökomodul knapp keinen signifikanten Einfluss. Die Distanz und die Interaktion zwischen Distanz und Ökomodul zeigen in beiden Modellen einen signifikanten Effekt.

Tabelle 4: Ergebnisse der Generalisierten Linearen Modelle (GLM) mit Quasipoissonverteilung. Es wird getestet, ob ein Ökomodul, die Distanz zur Quellpopulation und deren Interaktion einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Anzahl Gelbbauchunken aller Altersklassen und die Anzahl adulter Unken in einem Gewässer haben. Angegeben sind der Schätzwert, Standardfehler, t-Wert und p-Wert ( $Pr(|t|)$ ). Signifikante Effekte sind grün markiert.

Zielvariabel	Erklärende Variabel	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr(> t )
<i>Adulte + Juvenile</i>	Ökomodul	1.7939896	0.9396065	1.909	0.0612
	Distanz zur Quellpopulation	0.0017857	0.0008579	2.081	0.0418
	Interaktion Ökomodul*Distanz	-0.0025376	0.0011277	-2.250	0.0282
<i>Adulte</i>	Ökomodul	1.4956223	0.5944417	2.516	0.0150
	Distanz zur Quellpopulation	0.0013015	0.0005473	2.378	0.0211
	Interaktion Ökomodul*Distanz	-0.0017356	0.0007116	-2.439	0.0182

### 3.4 Fortpflanzung

Über den gesamten Erhebungszeitraum hinweg haben sich die Gelbbauchunken insgesamt nur an 5 der 17 Gewässer erfolgreich fortgepflanzt. Die ersten Laichballen wurden am 25. April in Gewässer TO3 gefunden (Abbildung 11). Ab dem 4. Mai wurden dann auch in PR1 Laichballen gesichtet. Da TO3 und PR1 zu diesem Zeitpunkt die einzigen wasserführenden Ökomodule waren, stieg der Anteil der als Laichgewässer genutzten Ökomodule an den wasserführenden Ökomodulen auf 100 Prozent, bis dann am 15. Mai wieder alle Laichballen verschwanden. Der Grund dafür war, dass zu diesem Zeitpunkt die Kaulquappen geschlüpft sind. Bei den beiden letzten Begehungen am 28. Mai und am 1. Juni waren wieder alle Ökomodule mit Wasser gefüllt und an den vier Standorten PR1, TO2, TO3 und TO4 konnten Laichballen gefunden werden, was zu einem Anteil von 66.6 Prozent führt.

Von den Gewässern ohne Ökomodul hingegen konnte nur der Standort TN1.2 zur Fortpflanzung genutzt werden. Hier wurden die ersten Laichballen erst am 8. Mai gefunden. Am 15. Mai waren auch hier alle Kaulquappen geschlüpft und es konnte erst bei der letzten Begehung am 1. Juni wieder Laich entdeckt werden. Alle anderen wasserführenden Standorte ohne Ökomodul wurden im Erhebungszeitraum von den Gelbbauchunken nicht zur Fortpflanzung genutzt.

Ob an einem Gewässer Fortpflanzung stattfindet oder nicht, scheint laut den Ergebnissen des McNemar-Chi-Quadrat-Tests hochsignifikant davon abzuhängen, ob es sich beim Gewässer um ein Ökomodul oder um ein Gewässer ohne Ökomodul handelt (McNemar's  $\chi^2=48.246$ , p-Wert= $3.759e-12$ ). Dies bestätigt die Erkenntnisse aus Abbildung 11.

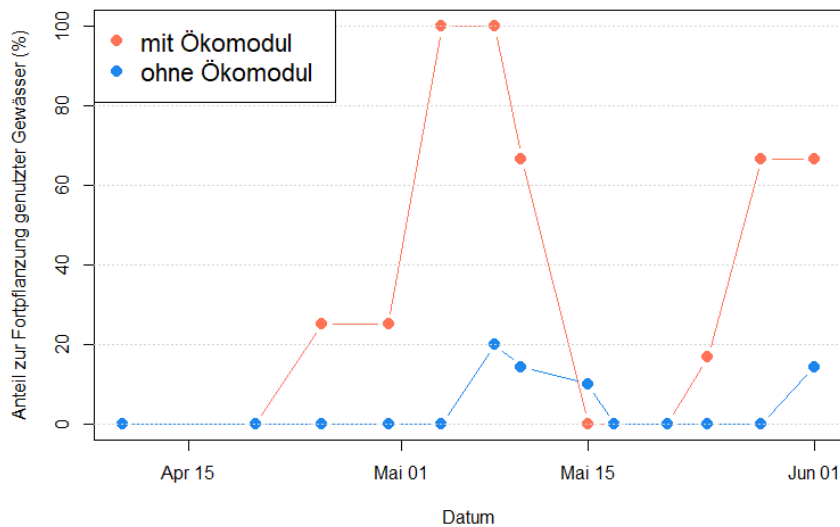


Abbildung 11: Anteil an den wasserführenden Standorten, der zur Fortpflanzung genutzt worden ist.

Der Anteil, der mit Kaulquappen besetzten Ökomodule an allen wasserführenden Modulen (Abbildung 12) nahm nach dem 8. Mai stark ab, was darauf zurückzuführen ist, dass zu diesem Zeitpunkt wieder alle Ökomodule mit Wasser gefüllt waren, während dies zuvor nur bei zwei Modulen der Fall gewesen ist. Der Anteil ist dann bis zum Ende der Erhebungen stabil bei 33.34 Prozent geblieben.

Da bei den Standorten ohne Ökomodul nur bei TN1.2 Fortpflanzung stattgefunden hat, konnten auch nur bei diesem Gewässer Kaulquappen gefunden werden. Hier blieb der Anteil, der durch Kaulquappen besetzten Gewässer an den wasserführenden Gewässern aber nicht konstant. Am 28. Mai wurden an Standort TN1.2 sehr viele tote Kaulquappen gefunden, welche im ausgetrockneten Gewässer am Boden lagen. Obwohl TN1.2 kurz darauf am 1. Juni wieder Wasser führte, konnten zu diesem Zeitpunkt keine lebendigen Kaulquappen mehr gefunden werden.

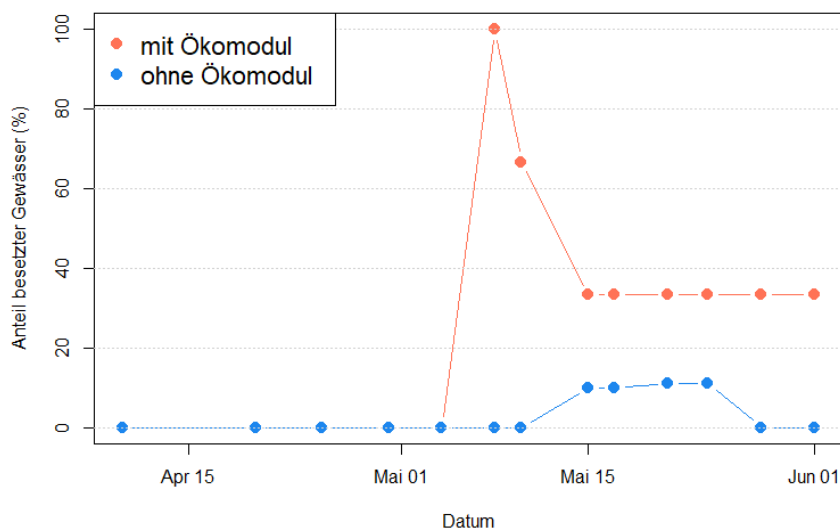


Abbildung 12: Anteil an den wasserführenden Gewässern, welcher durch Kaulquappen besetzt ist.

## **4. Diskussion**

### **4.1 Unkensichtungen**

Bei den Begehungen hat sich gezeigt, dass die Anzahl der Unkensichtungen starken Schwankungen unterliegt. Die Unkensichtungen scheinen von der Temperatur und vom Niederschlag abhängig zu sein. Bei hohen Temperaturen am Anfang der Saison kommen viele Unken aus ihren Verstecken heraus und tummeln sich im Gewässer und am Ufer. Bei plötzlichen Temperatureinbrüchen kommt es allerdings wieder zu einer tieferen Anzahl Unken an den Gewässern. Laut Niekisch (1990) müssen die Temperaturen über 10 °C steigen, damit Gelbbauchunken an Gewässern beobachtet werden können. Bei tieferen Temperaturen halten sie sich an warmen Stellen ohne Beschattung an Land auf. Auch bei zu hohen Temperaturen kann die Anzahl Unken in den Gewässern abnehmen. Diese verstecken sich dann an feuchten Stellen an Land, um sich vor dem Austrocknen zu schützen (Niekisch, 1990).

Bei hoher Luftfeuchtigkeit und Niederschlag halten sich Gelbbauchunken ebenfalls hauptsächlich an Land auf (Gollmann & Gollmann, 2012). Einerseits sinken bei Niederschlag die Temperaturen in den Gewässern, was die Unken dazu bringen könnte, sich an Land zu verstecken. Andererseits deuten Einzelbeobachtungen von Unken an Gewässern, die zuvor nicht besiedelt waren, darauf hin, dass die Gelbbauchunken während Niederschlägen an Land unterwegs sind, um neue Gewässer zu suchen. Bei Regenfällen steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sich in der Umgebung neue Gewässer bilden, welche durch Gelbbauchunken besiedelt werden können. Die Begehungen sind zeitlich allerdings nur zwei Mal direkt auf Niederschläge gefallen. Welchen Effekt der Niederschlag tatsächlich auf die Anzahl Unken in den Gewässern und deren Verhalten hat, kann deshalb nicht abschliessend erklärt werden. Ergebnisse aus einer Studie von Hartel (2008) zeigen allerdings, dass das Wanderverhalten der Gelbbauchunken stark durch den Niederschlag gesteuert wird.

### **4.2 Wasserführung**

Obwohl während der Trockenphase im April alle Gewässer viel Wasser verloren haben, hat sich gezeigt, dass sich die Ökomodule nach Niederschlägen schneller wieder mit Wasser füllen und dieses länger halten können, als die anderen Gewässer. Eine Erklärung dafür ist, dass Ökomodule mit Beton abgedichtet sind und es nur eine dünne Lehmschicht am Gewässergrund gibt, welche dem Gewässer Wasser entzieht. Bei den Gewässern ohne Ökomodul ist der Lehmgrund viel tiefer und es fehlt eine abdichtende Schicht. Ausserdem sind die Gewässer in den Ökomodulen tendenziell kleiner, und können somit schneller eine optimale Gewässertiefe von rund 20 cm erreichen, als die anderen Gewässer (Gollmann & Gollmann, 2012). Werden die Ökomodule allerdings an einer unpassenden Stelle eingebaut, so kann die Austrocknungsgefahr stark zunehmen. Die Module sollten sich an einem feuchten Hang oder in unmittelbarer Nähe eines Bachlaufes befinden und nicht allzu stark sonnenexponiert sein. Zu viel Lehm am Gewässergrund kann ebenfalls zu einer erhöhten Austrocknungsgefahr führen.

### 4.3 Besiedlung der Gewässer

Obwohl die natürlichen Trittsteingewässer am weitesten von der Quellpopulation entfernt sind, wurden die ersten Unken dort gesichtet. Die Standorte dazwischen wurden erst später besiedelt. Ausserdem wurden bei den natürlichen Trittsteingewässern viele juvenile Unken gefunden, während in den Gewässern zwischen der Quellpopulation und den Trittsteingewässern über den gesamten Erhebungszeitraum keine Juvenilen zu sehen waren. Daraus kann geschlossen werden, dass diese Gelbbauchunken bereits ein Jahr zuvor zu den Trittsteingewässern gewandert sind und sich dort fortgepflanzt und überwintert haben. Sichtungen der Familie Renggli zufolge, sind die natürlichen Trittsteingewässer tatsächlich bereits ein Jahr zuvor von Unken besiedelt worden. Zu welchem Zeitpunkt die Besiedlung tatsächlich stattgefunden hat, und woher die Unken stammen, kann mit den vorliegenden Daten allerdings nicht bestimmt werden. Es ist möglich, dass der gesamte Hang eine grössere Metapopulation beheimatet, und die Unken nicht von der Quellpopulation, sondern von einer anderen Subpopulation zu den Trittsteingewässern gewandert sind.

Obwohl die ersten Unken bei einem Gewässer ohne Ökomodul gesichtet wurden, scheinen Ökomodule von Adulten bevorzugt zu werden. Der Einfluss der Ökomodule scheint vor allem in der Nähe der Quellpopulation gross zu sein. Je weiter ein Gewässer von der Quellpopulation entfernt ist, desto weniger gross ist der Einfluss der Gewässerart. Aufgrund der hohen Individuendichte, herrscht in der Quellpopulation ein grosser Populations- und Abwanderungsdruck. In der Nähe der Quellpopulation sind also viele passende Gewässer nötig, welche die Migration unterstützen können. Die Resultate deuten darauf hin, dass solche Gewässer fehlen und deshalb die Ökomodule eine wichtige Alternative bieten können. Dies allerdings nur, wenn auch die äusseren Bedingungen stimmen. Falls, aufgrund der Lage eines Ökomoduls, die Austrocknungsgefahr oder die Störungsintensität zu hoch ist, scheinen sie von den Unken gemieden zu werden. Mit zunehmender Entfernung zur Quellpopulation nimmt die Individuendichte ab und es sind genügend passende Gewässer vorhanden, wodurch die Bedeutung der Ökomodule abnimmt.

Trotzdem konnten viele der Gewässer ohne Ökomodul nicht erfolgreich durch Gelbbauchunken besiedelt werden. Dies kann vielfältige Ursachen haben. Gelbbauchunken scheinen es nicht besonders zu mögen, wenn der Wasserspiegel in einem Gewässer starken Schwankungen ausgesetzt ist. Da die Gewässer ohne Ökomodul stärker auf Niederschlag und Trockenheit reagieren, wurden viele nur kurzfristig besiedelt. Dasselbe gilt auch für Gewässer, in denen sich bereits Grasfrösche aufgehalten haben. Der Konkurrenzdruck scheint für die Gelbbauchunken zu gross zu sein, um sich langfristig etablieren zu können. Gewässer, bei denen ständig eine leichte Strömung herrscht, werden ebenfalls gemieden. Durch die Strömung gelangen regelmässig Fressfeinde ins Gewässer, welche eine Gefahr für Laich und Kaulquappen darstellen (Niekisch, 1990). Bei den natürlichen Trittsteingewässern ist allerdings wohl der geringe Wasserstand für die unregelmässige Besiedlung der Gewässer verantwortlich. Der Niederschlag trägt hier regelmässig sehr viel Material von der Sandsteinwand, die

sich oberhalb der natürlichen Trittsteingewässer befindet, in die Gewässer. Diese können dadurch nicht mehr allzu viel Wasser halten.

Module scheinen nach Regenfällen schneller und langfristiger durch adulte Unken besiedelt zu werden, als Gewässer ohne Ökomodul. Dies liegt wohl daran, dass die Gewässer in den Ökomodulen schneller eine bestimmte Wassertiefe erreichen und das Wasser länger halten können. Neben genügend Wasser, brauchen Gelbbauchunken auch Vegetation im Gewässer, damit sie sich verstecken, ablaichen und die Kaulquappen ernähren können (Gollmann & Gollmann, 2012). Die Ökomodule beinhalten, im Gegensatz zu den anderen Gewässern, immer eine kleine bewachsene Insel in der Mitte. Dadurch stehen bei Wasserführung sofort Versteckmöglichkeiten für die Unken zur Verfügung, während die Vegetation bei den anderen Gewässern erst wieder wachsen muss.

Wie gross der positive Einfluss eines Ökomoduls auf die Besiedlung und die Anzahl Unken wirklich ist, kann mit den verwendeten Methoden und Modellen nicht genau bestimmt werden. Die Besiedlung eines Gewässers hängt von sehr vielen verschiedenen Faktoren ab, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht gemessen und kontrolliert werden konnten. Es ist möglich, dass Ökomodule besiedelt wurden, weil es in ihrer direkten Umgebung einfach kein passendes Gewässer gab. Die erfolgreiche Besiedlung der Ökomodule zeigt aber, dass sie sehr gut dazu geeignet sind, Populationen zu vernetzen und ihnen bei der Ausbreitung zu helfen.

Dass die Ökomodule nur in einem Fall durch juvenile Unken besiedelt worden sind, ist wohl darauf zurückzuführen, dass sich deren Sichtungen fast ausschliesslich auf die Gewässer der natürlichen Trittsteingewässer beschränkt haben. In diesem Gebiet gibt es keine Ökomodule. Da dort wohl aus dem letzten Jahr sehr viele Juvenile vorhanden sind, besetzen diese auch hauptsächlich die Gewässer ohne Ökomodul. Es könnte natürlich auch sein, dass Ökomodule weniger gut für die Besiedlung durch juvenile Unken geeignet sind. Eine mögliche Begründung dafür wäre, dass die Gewässer der Ökomodule zu klein sind, um von juvenilen Unken als Aufenthaltsgewässer genutzt zu werden. Da sie von adulten Unken bereits als Laichgewässer genutzt werden, bleibt den juvenilen Unken kein Platz mehr. Diese weichen dann auf grössere Gewässer aus.

#### **4.4 Fortpflanzung**

Ökomodule scheinen von Gelbbauchunken zur Fortpflanzung den anderen Gewässern vorgezogen zu werden. Alle Ökomodule, welche durch adulte Gelbbauchunken besiedelt worden sind, wurden auch von ihnen zur Fortpflanzung genutzt, während dies nur bei einem der anderen Gewässer der Fall war. Durch das schnellere Erreichen eines bestimmten Wasserpegels und die längere Wasserführung in den Ökomodulen, wird die Fortpflanzungsperiode nicht unterbrochen und die Wahrscheinlichkeit, dass die Kaulquappen die Trockenheit überleben und es bis zur Metamorphose schaffen, ist grösser.

Neben der erhöhten Austrocknungsgefahr, scheint in den Gewässern ohne Ökomodul auch der Prädationsdruck grösser zu sein. In vielen Gewässern ohne Ökomodul, in denen keine Fortpflanzung

festgestellt werden konnte, wurden Bergmolche gefunden, während dies in keinem Ökomodul der Fall war. Bergmolche sind bekannt dafür, dass sie den Laich von Gelbbauchunken fressen (Niekisch, 1990). Ob in diesen Gewässern keine Fortpflanzung stattgefunden hat oder ob der Laich von Bergmolchen gefressen wurde und deshalb kein Laich gefunden werden konnte, ist mit den vorhandenen Daten allerdings nicht ersichtlich.

Die hohe Nutzung zur Fortpflanzung und die Ergebnisse der statistischen Tests zeigen, dass die Ökomodule sehr gut als Laichgewässer geeignet sind. Aufgrund der Datengrundlage ist es allerdings nicht möglich, klar zu sagen, dass sie besser geeignet sind, als Gewässer ohne Ökomodul. Wegen der extremen Trockenheit in diesem Frühjahr, waren die meisten Gewässer, welche eine ähnliche Grösse wie die Ökomodule haben, gar nicht erst mit Wasser gefüllt worden und konnten nicht getestet werden. Es ist durchaus möglich, dass Gewässer ohne Ökomodul, aufgrund von ihrer Grösse, nicht als Laichgewässer geeignet sind und deshalb keine erfolgreiche Fortpflanzung stattgefunden hat.



## 5. Fazit und Ausblick

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war es, die Effektivität von Ökomodulen als Lebensraum und Laichgewässer von Gelbbauchunken zu untersuchen. Es konnte gezeigt werden, dass Ökomodule von adulten Gelbbauchunken als Lebensraum angenommen werden. Der McNemar-Chi-Quadrat-Test und die Generalisierten Linearen Modelle (GLM) zeigen sogar, dass Ökomodule von adulten Unken den anderen Gewässern tendenziell vorgezogen werden. Auch auf die Anzahl adulter Unken haben die Ökomodule einen positiven Einfluss. Der Einfluss nimmt aber mit zunehmender Distanz zur Quellpopulation ab. Juvenile Gelbbauchunken wurden hingegen mehrheitlich bei Gewässern ohne Ökomodul gefunden. Die Sichtungen von juvenilen Unken konzentrieren sich auf einen sehr kleinen Bereich des Untersuchungsgebiets ohne Ökomodule, weshalb keine Aussage über den Einfluss der Gewässerart auf die Besiedlung durch juvenile Unken gemacht werden kann. Werden die beiden Altersklassen «Adulte» und «Juvenile» gemeinsam betrachtet, so zeigt sich kein statistisch signifikanter Einfluss der Gewässerart auf die Besiedlung von Gewässern. Dasselbe gilt auch für die Anzahl Unken in einem Gewässer. Dies ist dadurch zu begründen, dass nur bei einem Ökomodul juvenile Unken gefunden werden konnten und somit in den statistischen Modellen der Effekt der Ökomodule verkleinert wird.

Die adulten Gelbbauchunken besiedeln die Ökomodule aber nicht nur, sie nutzen diese auch aktiv zur Fortpflanzung. In den Untersuchungen in der Seemerrüti wurden sie den Gewässern ohne Ökomodul vorgezogen. Wenn die äusseren Bedingungen stimmen und sich genügend Wasser in den Ökomodulen befindet, werden diese in kurzer Zeit besiedelt und zur Fortpflanzung genutzt. Bei Niederschlägen füllen sich die Ökomodule schnell mit Wasser und können dieses auch lange halten. Da das Gewässer eines Ökomoduls wegen seiner Grösse im Winter komplett zufriert, handelt es sich um ein temporäres Gewässer. Dadurch wird der Feinddruck stark reduziert und die Kaulquappen haben eine hohe Überlebenschance.

Die Ökomodule sind also sehr gut als Laichgewässer geeignet und können dadurch einen wichtigen Beitrag zum Erhalt von Gelbbauchunkenpopulationen, und deren Vernetzung und Ausbreitung leisten. Um eine erfolgreiche Besiedlung von Ökomodulen zu sichern, ist es aber sehr wichtig, dass die äusseren Bedingungen stimmen und es in der näheren Umgebung eine Unkenpopulation gibt.

Um mehr über die Bevorzugung der Ökomodule gegenüber anderen Gewässern zu erfahren und die Datenlage für statistische Analysen zu verbessern, müssten weitere Untersuchungen gemacht werden. Dabei müssten mehr Module in grösseren Distanzen zur Quellpopulation untersucht werden. Da die Gelbbauchunken eine sehr lange Fortpflanzungsperiode haben und die Unkensichtungen stark von den Witterungsbedingungen abhängig sind, wäre es ausserdem sinnvoll, die Erhebungen bis in den Herbst weiterzuziehen. Um herauszufinden, woher die Unken kommen, welche die Gewässer besiedeln, könnte man sogenannte Fangkreuze aufstellen, wodurch die Wanderrichtung bestimmt werden könnte.

Zusätzlich könnte man auch versuchen, die Tiere mit Fotografien ihrer Bauchmusterung zu identifizieren, um so die Bewegungsmuster einzelner Unken nachvollziehen zu können. Diese Informationen könnten dabei helfen, herauszufinden, wie weit man Gelbbauchunken mit Ökomodulen bei der Ausbreitung unterstützen kann. Es wäre weiter auch interessant, die Hohlräume zwischen den Betonplatten der Ökomodule zu untersuchen, um zu sehen, ob diese tatsächlich als Landlebensraum und möglicherweise sogar als Winterquartier genutzt werden.

Da es im Frühjahr 2018 zu einer sehr langen Trockenperiode gekommen ist, sind viele Gewässer ausgetrocknet oder haben gar nie Wasser geführt. Vor allem bei den natürlichen Trittsteingewässern lagen viele Gewässer trocken. Diese werden durch angeschwemmte Sandsteinpartikel sehr schnell mit Material gefüllt und können so keine grosse Gewässertiefe mehr erreichen. Was die Nutzung der natürlichen Trittsteingewässer enorm erhöhen könnte, wäre ein jährliches Ausbaggern der Gewässergräben. Durch das Ausbaggern im Winter könnte die Gewässertiefe höher gehalten werden, was die Nutzung der Gewässer positiv beeinflussen könnte. Um den Rückgang der Gelbbauchunkenpopulationen zu stoppen, ist es sehr wichtig, bestehende Gewässer zu erhalten. Gleichzeitig müssen aber auch immer wieder Neue geschaffen werden. Ökomodule können dabei eine sinnvolle Ergänzung zu natürlichen Gewässern sein und auf kleinem Raum einen passenden Lebensraum bieten.

## **6. Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen herzlich bedanken, die mich in irgendeiner Form bei dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Ein spezieller Dank geht an meinen Betreuer Florian Knaus, der mir mit seinen wertvollen Tipps und der Unterstützung beim Erarbeiten der Fragestellungen und der Erhebungsmethoden zur Seite gestanden ist.

Ein grosses Dankeschön möchte ich auch an Sandra und Werner Renggli richten. Sie haben mich immer wieder mit vielen wertvollen Informationen zugedeckt und mich bei den Begehungen unterstützt. Ich möchte mich auch herzlich bei ihnen für ihre Gastfreundschaft und ihren unermüdlichen Einsatz für den Schutz der Gelbbauchunke bedanken.

Bedanken möchte ich mich ausserdem bei Ursina Walther (ETH Zürich, Institut für integrative Biologie) für die Unterstützung bei der statistischen Datenanalyse und bei Ursina Tobler (Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz) für ihre Tipps bei der Recherche.

## 7. Literatur

- Abbühl, R. 1997. Zur Ökologie der Gelbbauchunke (*Bombina variegata variegata* L.) – Populationsdynamik, Habitats- und Verhaltensstudien als Grundlage zum Schutz. Dissertation Universität Basel.
- Barandun, J., Kühnis, J., Dietsche, R. 2009. Kunstgewässer zur Förderung von Gelbbauchunken – ein Pilotversuch. Bericht Botanisch-Zoologische Gesellschaft Lichtenstein-Sargans-Werdenberg 34: 73-78
- Bisa, R., Sfenthourakis, S., Fraguedakis-Tsolis, S., & Chondropoulos B. 2007. Population density and food analysis of *Bombina variegata* and *Rana graeca* in mountainous riverine ecosystems of northern Pindos (Greece). *Journal of Biological Research – Thessaloniki* 8: 129-137
- Buschmann, H. 1998. Untersuchungen zum Reproduktionspotential der Gelbbauchunke *Bombina variegata variegata* (LINNAEUS, 1758) in Gefangenschaft. *SALAMANDRA* 34(2): 125-136
- Ghiurcă, D., & Zaharia, L. 2005. Data regarding the trophic spectrum of some population of *Bombina variegata* from Bacău county. *North-Western Journal of Zoology* 1: 15-24
- Geographisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH). Amt für Raumentwicklung. Abteilung Geoinformation. GIS-Produkte GIS-Browser. Karte: Bodenkarte der Landwirtschaftsflächen; Lebensraum-Potentiale. URL <http://maps.zh.ch> [Zugriff: 18.04.2018]
- Gollmann, B., & Gollmann, G. 2011. Ontogenetic change of colour pattern in *Bombina variegata*: implications for individual identification. *Herpetology Notes* 4: 333-335
- Gollmann, B., & Gollmann, G. 2012. Die Gelbbauchunke: von der Suhle zur Radspur, 2. Edition. Bielefeld. Laurenti.
- Hartel, T., 2008. Movement activity in a *Bombina variegata* population from a deciduous forested landscape. *North-Western Journal of Zoology* 4: 79-90
- IUCN. 2009. IUCN Red List of Threatened Species: *Bombina variegata*. URL [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) [Zugriff 10.04.2018]
- KARCH. 2014. Zusammenfassung zum Workshop «Naturschutzpraxis der Gelbbauchunke». Bern. Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (karch).
- Koellner, T., & Scholz, R. 2008. Assessment of land use impacts on the natural environment – Part 2: Generic characterization factors for local species diversity in central Europe. *International Journal of Life Cycle Assessment* 13: 32-48
- Kurz, M., & Zehm, A. 2015. Bestandssicherung der Gelbbauchunke durch künstliche Laichplätze. *ANLiegen Natur* 37: 12–13

- Lippuner, M. 2014. Lebensraumanalyse für die Gelbbauchunke (*Bombina variegata*). 21. Herpeto-Kolloquium der Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (karch).
- Mapit GIS. 2014. Mapit GIS -Map Data Collector & Land Surveys app. URL <https://www.mapit-gis.com> [Download: 08.04.2018]
- Mermod, M., Zumbach, S., Borgula, A., Krummenacher, E., Lüscher, B., Pellet, J., & Schmidt, B. 2011. Praxismerkblatt Artenschutz: Gelbbauchunke *Bombina variegata*. Neuenburg. Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (karch).
- MeteoSchweiz. Wetterdaten der Bodenstation Aadorf/Tänikon. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz. URL <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/wetter> [Zugriff: 10.04-01.06.2018]
- Meyer, A., Zumbach, S., Schmidt, B., & Monney, J. 2014. Auf Schlangenspuren und Krötenpfaden – Amphibien und Reptilien der Schweiz, 2. Edition. Bern. Haupt Verlag.
- Miesler, M., & Gollmann, B. 2000. Populationsstruktur, Wachstum und Fortpflanzung der Gelbbauchunke, *Bombina variegata* (LINNAEUS, 1758): Ergebnisse aus einer Ein-Jahres-Studie im Lainzer Tiergarten (Wien, Österreich). *Herpetozoa* 13: 45-54
- Niekisch, M. 1990. Untersuchung der Besiedlungsstrategie der Gelbbauchunke *Bombina v. variegata* LINNAEUS, 1758 (Anura, Amphibia). Dissertation Universität Bonn.
- Niekisch, M. 1996. Die Gelbbauchunke: Biologie, Gefährdung, Schutz. Weikersheim: Margraf.
- Nöllert, A., Podloucky, R., Gollmann, G., Schmidt, B., Zumbach, S., Engel, E., Proess, R., Arendt, A. 2014. Gelbbauchunke: Lurch des Jahres 2014. Deutsche Gesellschaft für Herpetologie und Terrarienkunde e.V. (DGHT). Mannheim.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- RStudio Team. 2016. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. URL <https://www.rstudio.com/>
- Sas, I., Covaciu-Marcov, S., Cupsa, D., Cicort-Lucaciu, A., & Popa, L. 2005. Food Analysis in adults (males/females) and juveniles of *Bombina variegata*. *Analele Stiintifice ale Universitatii "A.I. Cuza" Iasi, s. Biologie animala* 51 : 169-177
- Schellenberg, M. 2016. Populationsstruktur, Wanderverhalten und Habitatnutzung der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) im Nationalpark Hainich/Thüringen. Masterarbeit Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Schmidt, B., & Zumbach, S. 2005. Rote Liste der gefährdeten Amphibien der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, und Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz, Bern. BUWAL-Reihe: Vollzug Umwelt.

Stumpel, A., Blezer, F. 1999. The creation of concrete mini-ponds as an emergency measure to rescue the Yellow-bellied toad (*Bombina variegata*) in the Netherlands. Aus Boothby, J. 1999. Ponds and pond landscapes of Europe. 223-225

Swisstopo. Schweizerische Eidgenossenschaft. Bundesamt für Landesvermessung swisstopo. URL <https://www.map.geo.admin.ch> [Zugriff: 24.06.2018]

Tobler, U. o.J. Seemerrüti – Eschenberg: Vernetzung der Gelbbauchunke entlang der Töss. Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (karch).



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten Semester-, Bachelor- und Master-Arbeit oder anderen Abschlussarbeit (auch der jeweils elektronischen Version).

Die Dozentinnen und Dozenten können auch für andere bei ihnen verfasste schriftliche Arbeiten eine Eigenständigkeitserklärung verlangen.

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

**Titel der Arbeit** (in Druckschrift):

Ökomodule als Mittel zur Förderung der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*)

**Verfasst von** (in Druckschrift):

*Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.*

**Name(n):**

Müller

**Vorname(n):**

Thomas

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe keine im Merkblatt „Zitier-Knigge“ beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

**Ort, Datum**

Zürich, 25.06.2018

**Unterschrift(en)**

*Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.*