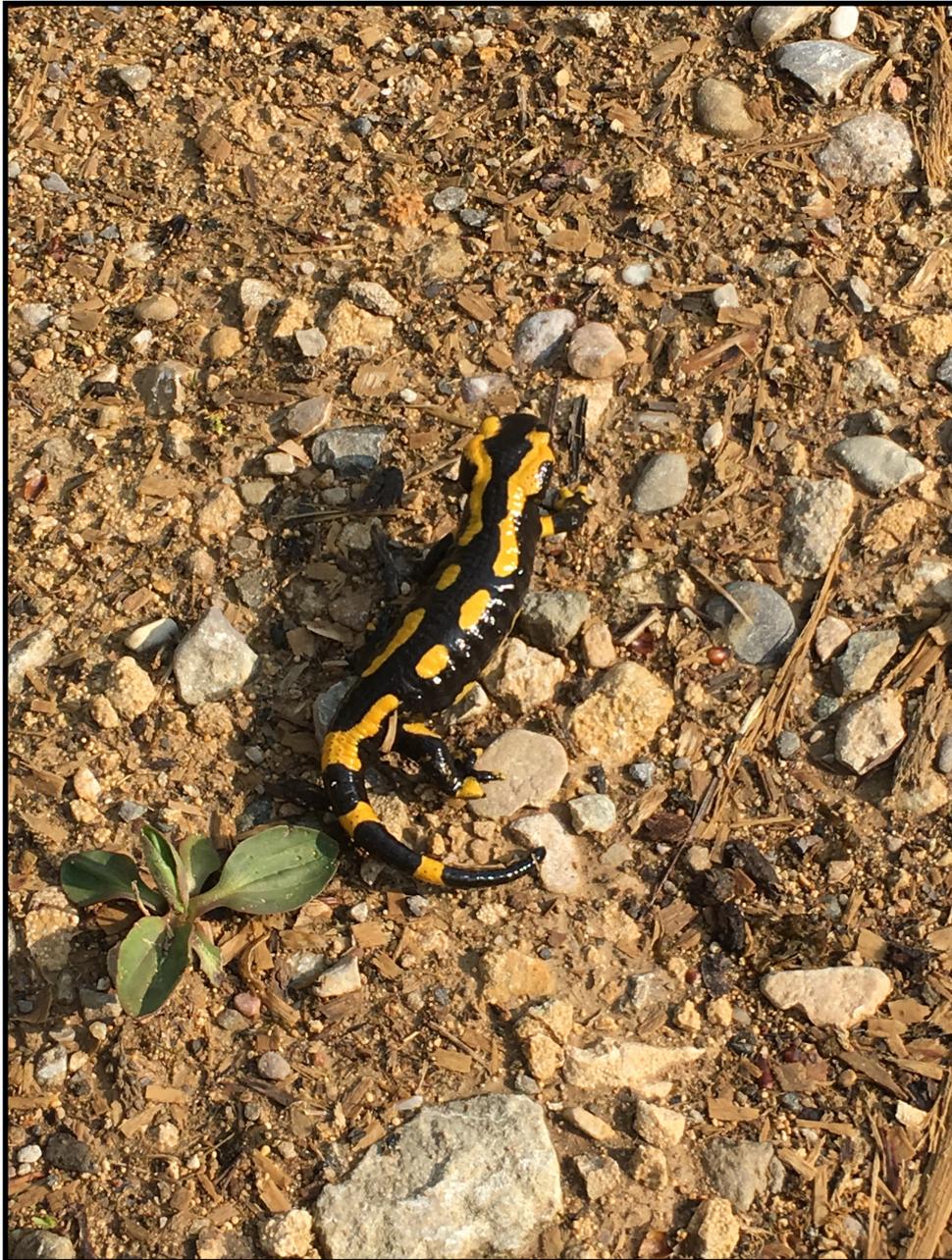


Amphibien-Alarm im Aargau

Auf den schwindenden Spuren des Feuersalamanders,
Salamandra salamandra (L. 1758)



Abstract

Diese Studie bewegt sich samt Patenschaft der Universität Zürich (Dr. Benedikt Schmidt) im Bereich der Naturschutzbiologie. Die Leitfrage lautet: *Wie sind die aktuellen Bestände des Feuersalamanders im Aargau? Beurteilt anhand von Untersuchungen im Fricktal.* Mit zeitlicher Replikation wurden 16 Bachstellen im Schweizer Jura nach Feuersalamanderlarven untersucht. Die Feldarbeit erfolgte zwischen April und Juli 2017, wobei jede Bachstelle dreimal besucht wurde. Bei jeder Zählung wurden Abundanz, Korrekturwert, Wassertemperatur und Tageszeit vermerkt. Zudem wurde die Höhe, die Exposition und der Waldtyp jeder Bachstelle erfasst, Fische wurden nie gesichtet. Die Resultate sind stark vom Klima des Schweizer Frühjahrs 2017 geprägt. Temperaturen erreichten Rekordwerte und grosse Trockenheit herrschte. Fünf Bachstellen trockneten komplett aus. Die Auswertung, teilweise mittels Statistiksoftware *R*, ergab eine kleine Antreffwahrscheinlichkeit ($p = 0.189$) und eine geschätzte Abundanz von 120 Feuersalamanderlarven pro Bachstelle. Entgegen Erwartungen stiegen die Sichtungszahlen von der ersten zur zweiten Zählung. Während des Junis wurde pro Sichtung die höchste Anzahl Feuersalamanderlarven gesichtet. Ferner weisen die Resultate auf eine Unabhängigkeit zwischen Höhe oder Exposition und der Wahl des Absetzgewässers vom Feuersalamanderweibchen. Diese Beobachtung mag auf den Schweizer Jura beschränkt sein. Laubwälder und exponierte Stellen sind für Absetzgewässer bevorzugt: Feuersalamanderlarven wurden selten und nur in kleiner Abundanz in Nadelwald-Gewässern gesichtet. Darüberhinaus wird der Klimawandel zu späteren Absetzzeiten der Schweizer Feuersalamander führen. Allgemein sind Schweizer Feuersalamander vom Klimawandel gefährdet. Folglich sind bewässerte, naturnahe Bäche für das Überleben der Art in der Schweiz entscheidend.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
1. Einleitung	5
2. Material & Methode	9
2.1 Korrekturwert	9
2.2 Anwendungen aus der Fachliteratur	10
2.3 Suche nach geeigneten Bachstellen	10
2.4 Bestimmung Waldtyp	12
3. Resultate	13
3.1 Geografische Resultate	13
3.2 Resultate Erfassungen	14
3.2.1 Gesichtete Feuersalamanderlarven	14
3.2.2 Höhe	15
3.2.3 Kalendermonat	16
3.2.4 Wassertemperatur	17
3.2.5 Sichtungszahl und Wassertemperatur	18
3.2.6 Tageszeit	19
3.2.7 Waldtyp	20
3.2.8 Exposition	21
3.3 R Resultate	22
3.3.1 Zahlenbeispiel	23
4. Diskussion	24
4.1 Diskussion der Resultate	24
4.1.1 Diskussion Zählungen	24
4.1.2 Diskussion Höhe	25
4.1.3 Diskussion Kalendermonat und Wassertemperatur	26
4.1.4 Diskussion Sichtungszahl und Wassertemperatur	27
4.1.5 Diskussion Tageszeit	27
4.1.6 Diskussion Waldtyp	28
4.1.7 Diskussion Exposition	29
4.2 Diskussion Resultate R	29
5. Fazit	31
6. Dank	32
7. Quellen	33
7.1 Schriftliche Quellen	33
7.2 Elektronische Quellen	34
7.4 Abbildungen und Tabellen	34

8. Anhang	35
8.1 Rohdaten	35
8.1.1 Einmalige Erfassungen	35
8.1.2 Mehrmalige Erfassungen	36
8.2 Bachstellen-Portfolios	37
8.3 Erfolglose Suchen	39

1. Einleitung

Der Biodiversität in der Schweiz geht es schlecht. Lebensräume wie Trockenwiesen sind seit Beginn des 20. Jahrhunderts flächenmässig um das Zwanzigfache geschrumpft und Siedlungsflächen nehmen seit 1979 kontinuierlich zu (vgl. BAFU, 2017, S. 19, 20). Als Ausweichmanöver gegen solch artengefährdende Entwicklungen sind Massnahmen wie nationale Biotope in Kraft. Nationale Biotope basieren auf gesetzlicher Grundlage (vgl. NHG, 2017, Art. 18a¹) und decken unter anderem Amphibienlaichgebiete ab. Allerdings hat jedes dieser Amphibienlaichgebiete seit 1994 durchschnittlich eine gefährdete Art verloren (vgl. BAFU, 2017, S. 49). Schliesst man also Lebensraumverlust aus, so liegt trotzdem eine Abnahme der Artenvielfalt vor. Obwohl der Chytridpilz, ein tödlicher Hautpilz, weltweites Amphibiensterben mitbewirkt (vgl. Martel, 2014, S. 630), sind viele Schweizer Amphibien davon unberührt. Analysen der Wirkungskontrolle Biotopschutz Schweiz (WBS) deuten als Erklärung der Artenverlust auf einen Qualitätsverlust hin, das qualitative Gewässerangebot sei „unzureichend“ (vgl. BAFU, 2017, S. 49). Amphibien verlangen neben Grösse an Lebensraum auch Qualität. Sind diese Qualitätsbedürfnisse unzureichend gedeckt, so ist eine Abnahme des Bestandes möglich. Ein nützliches Werkzeug zur Einschätzung des Bestandes ist das sogenannte Monitoring. Monitoring umschreibt die „Dauerbeobachtung eines bestimmten Systems“¹. Biotische Probanden werden üblicherweise vor Ort beobachtet. Folglich umfassen Monitoring-Programme mindestens teilweise eine Feldarbeit. Amphibien-Monitoring ist keine Ausnahme, Feldarbeiten sind zwangsläufig erforderlich. Amphibien-Monitoring ist wichtig, weil gewisse Amphibien Zeigerarten sind; anhand ihres Vorkommens lassen sich Schlüsse auf die Umwelt ziehen (vgl. Miller, 2012, S. 97). Unterschiedliche Monitoring-Möglichkeiten stehen zur Auswahl, jede hat Vor- und Nachteile und wird dem Forschungsziel entsprechend ausgewählt. Bei der Sammlung von Vorkommensdaten von Amphibien kann man grob drei Monitoring-Möglichkeiten unterscheiden, welche einander natürlich ergänzen können. Die Erste untersucht lediglich die An- oder Abwesenheit von Organismen in einem bestimmten Raum, ohne die Abundanz² der Art festzuhalten. Fachsprachlich heisst diese erste Möglichkeit *occupancy sampling*. Die zweite und dritte Möglichkeit sind miteinander verwandt, da beide Replikationsmethoden sind. Einerseits die zeitliche Replikation, wobei ein Standort mehrmals besucht und untersucht wird, andererseits die räumliche Replikation, in der ein Standort einmal besucht wird, aber in kleinere Einheiten unterteilt und untersucht wird (vgl. Keller, 2016, S. 5, 7). Bei zeitlicher und räumlicher Replikation wird die Abundanz erfasst. Die qualitativen Unterschiede dieser Replikationsmethoden sind zurzeit noch unklar. Allerdings ist die zeitliche Replikation mit Sicherheit die zeitintensivere Methode. Das Monitoring-Verfahren dieser Studie ist die zeitliche Replikation. Letzten Endes ist diese Studie relevant, weil sie eine Momentaufnahme einer verletzlich Amphibienart zeigt. Gleichzeitig ist dies die Ersterfassung im untersuchten Gebiet. Die Leitfrage dahinter lautet: *Wie sind die aktuellen Bestände des Feuersalamanders im Aargau? Beurteilt anhand von Untersuchungen im Fricktal*. Die erhobenen Daten werden zudem an die Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (KARCH) übermittelt, um ihre fortlaufende Recherche mit einem Nullwert zu stärken.

Die Amphibienspezies dieser Studie ist der Feuersalamander, *Salamandra salamandra* (L. 1758). Taxonomisch: Animalia, Chordata, Amphibia (Lurche), Caudata (Schwanzlurche), Salamandridae, Salamandra, S. *Salamandra* (vgl. Meyer, 2009, S. 1). Der Feuersalamander hat 14 Unterarten, dessen Verbreitung sich von Nordeuropa über den Iran und Israel bis Nordafrika spannt. Gesamthaft betrachtet sind die 14 Feuersalamander-Unterarten noch ungefährdet (vgl. IUCN, 2015, S. 3). Schweizweit wurde jedoch der Feuersalamander bereits 2005 als *verletzlich* eingestuft, mit dem Kommentar: „Unerklärter

¹ Gemäss Duden Online-Wörterbuch (siehe 7.2 Elektronische Quellen)

² Häufigkeit, Dichte des Vorkommens, hier: Anzahl (siehe 7.2 Elektronische Quellen)

Rückgang geht vermutlich weiter“ (vgl. BAFU, 2005, S. 42). Das Letztere betrifft folgende zwei Unterarten: *Salamandra salamandra salamandra* (in Zentraleuropa wie auch im Balkan verbreitet, vgl. Thiesmeier, 1992, S. 11 f.) und *Salamandra salamandra terrestris* (vgl. KARCH, 2017). Diese sind anhand ihrer Hautmarkierung unterscheidbar. „Gefleckte Feuersalamander“ (*S. s. s.*) sind gelb-schwarz gefleckt, während „Gebänderte Feuersalamander“ (*S. s. t.*) zwei gelbe Streifen entlang ihres schwarzen Rückens haben (siehe Abbildung 1). In der Schweiz ergänzt sich die Verbreitung dieser beiden Unterarten: Der Gebänderte Feuersalamander ist in der Nordschweiz verbreitet, der Gefleckte Feuersalamander besiedelt hingegen die Südschweiz (vgl. KARCH, 2017). Da die Feldarbeit dieser Studie in der Nordschweiz stattfand, begrenzen sich die erhobenen Daten und Aussagen auf den Gebänderten Feuersalamander.



Abb. 1 Gebändertes Feuersalamanderweibchen, *Salamandra salamandra terrestris*, auf Absetzwanderung im Herznacher Wald. Eigene Aufnahme, 28.04.17.

Der Feuersalamander ist der grösste einheimische Schwanzlurch der Schweiz. Ausgewachsene können 20 cm lang und 50 g schwer werden. Ihre Lebenserwartung ist 20 Jahre, wobei diese in Gefangenschaft über 50 Jahre erstrecken kann (vgl. KARCH, 2017). Feuersalamander sind schwarz-gelb gefleckt, ihre Warnfärbung gegen mögliche Räuber wie Schlangen, Igel, Dachse und einige Vogelarten. Wie so oft in der Natur, sind Farben nicht umsonst. Adulte Feuersalamander produzieren nämlich giftige Hautsekrete (Samandaron, ein Alkaloid: $C_{19}H_{29}NO_2$). Für den Menschen zwar harmlos – Hände nach Kontakt waschen und nicht in die Augen – doch schon 0.1 mg der genannten Substanz genügt um eine Maus zu töten (vgl. Thiesmeier, 1992, S. 23). Solch drüsenreiche, feuchte Haut bringt jedoch einen Nachteil für Amphibien: Bei Trockenheit trocknen die Tiere aus und sterben. Deshalb sind Feuersalamander vor allem bei Regenwetter unterwegs und meiden Trockenzeiten durch Inaktivität (Winter- oder Sommerschlaf, auch Estivation). Folglich nennt sie der Volksmund “Rägemööli” (vgl. KARCH, 2017). Als Amphibien sind Feuersalamander wechselwarm (auch ektotherm oder poikilotherm). Ihre Körpertemperatur ist nicht selbstregulierbar und liegt demzufolge meist nahe an der Umgebungstemperatur (vgl. Meyer, 2009, S. 46). Ihre Ernährung ist ausserordentlich vielfältig.

Sie sind ‐Nahrungsgeneralisten‐, Käfer, Schnecken, Spinnentiere, Tausendfussler und Würmer erbeutend (vgl. Thiesmeier, 1992, S. 98 f.). Während ihres ganzen Lebens sind Feuersalamander vorwiegend nachtaktiv. Ihr Lebenslauf kann grob in drei Phasen eingeteilt werden: Die Larvalphase (Larvenphase), Juvenilphase und Adultphase. Die Larvalphase ist aquatisch, im Wasser (siehe Abbildung 2). Die Juvenil- und Adultphasen hingegen sind terrestrisch, an Land. Die Larvalphase dauert rund vier Monate. Sie beginnt mit der Absetzzeit im Wasser und endet mit der Metamorphose. Diese ist der Übergang von Wasser zu Land (vgl. Thiesmeier, 1992, S. 36 ff., 96). Die Juvenilphase beginnt unmittelbar nach der Metamorphose und endet mit der Geschlechtsreife im Alter von zwei bis vier Jahren (vgl. Meyer, 2009, S. 95). Ab diesem Punkt befindet sich der Feuersalamander in seiner Adultphase. Wie bereits erwähnt ist seine Lebenserwartung 20 Jahre. Im Vergleich: Vier Monate Larvalphase, vier Jahre Juvenilphase und 16 Jahre Adultphase. Die aquatische Etappe ist vergleichsweise kurz, doch in allen Hinsichten entscheidend für das Überleben der Art. Um diese Studie besser zu verstehen, muss die Larvalphase zuerst verstanden werden.

Der Gebarvorgang des Feuersalamanderweibchens heisst Ovoviviparie: Die Larven wachsen innerhalb der Gebärmutter zu einer Grösse von rund 3 cm an und verbleiben dort bis zum Gebarzeitpunkt. Dieser Zeitpunkt wird weitgehend vom Weibchen bestimmt. Die Gelegegrosse variiert stark zwischen 20 und 80 Larven. Wie bereits erwähnt ist die Larvalphase aquatisch; die Larven werden ins Wasser abgesetzt. Diese Zeit des Absetzens wird als Absetzzeit bezeichnet. Als Absetzgewässer sind kleinere Fliessgewässer bevorzugt. Die Mutter ist imstande, nur einen Teil ihrer Larven abzusetzen und die Verbleibenden anderswo abzusetzen. Allgemein werden die Larven im Frühjahr abgesetzt, ob dies März oder April ist (wenn nicht gar früher oder später), hängt stark von unterschiedlichen Faktoren ab. In der Mutter sind die Larven nicht von einer Plazenta umgeben. Das jeweilige Eidotter dient als Nahrungsquelle. Schon bei Geburt sind Feuersalamanderlarven samt Kiemen komplett an die aquatische Welt angepasst. Ein Neugeborenes wiegt durchschnittlich 170 mg. Anhand eines gelben Streifens an den Ansätzen der Extremitäten sind sie von Molchlarven unterscheidbar. (vgl. Thiesmeier, 1992, S. 15, 22, 30, 31, 36 ff.).



Abb. 2 Links im Bild: Feuersalamanderlarve in seichtem Bachgewasser (Bachstelle 12). Eine fortgeschrittene Larvalphase ist beobachtbar: Rotgefarbte Kiemen entwickeln sich zurück und gelbe Hautmarkierungen treten zum Vorschein. Eigene Aufnahme, 23.06.17.

Feuersalamanderlarven sind in Burkhard Thiesmeiers Worten ‐unspezifische Räuber‐. Bachflohkrebse, Käfer, Weichtiere sowie diverse Köcher- und Eintagsfliegen decken ihren Nahrungsbedarf. Zu ihren natürlichen Feinden zählen hauptsächlich diverse Fischarten und Wasserspitzmäuse. Ist das Gewässer frei von diesen, so haben Feuersalamanderlarven wenige natürliche Feinde. Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass 6 cm grosse Libellenlarven 4 cm grosse Feuersalamanderlarven erbeuten können. Allerdings bedingt letztere Prädation die gleichzeitige Erfüllung von zwei Parametern: Die Feuersalamanderlarve muss extrem jung sein und die Libellenlarve extrem hungrig. Schliesslich verdoppelt sich die Körpergrösse einer Feuersalamanderlarve bis zur Metamorphose, gleichzeitig nimmt ihr Körpergewicht auf das Fünffache zu. Metamorphose-bereite Feuersalamanderlarven wiegen im Durchschnitt 1000 mg und haben eine Länge von

6 cm. Kannibalismus unter Feuersalamanderlarven ist selten und wird meistens von Nahrungsknappheit ausgelöst (vgl. Thiesmeier, 1992, S. 40, 70, 74, 99).

Ein entscheidender Einfluss auf das Ergebnis der Larvalzeit ist die sogenannte Larvendrift. Die Strömung eines Fließgewässers hat einen grossen Einfluss das Leben seiner Bewohner. Selbst die kräftigsten Feuersalamanderlarven werden in ungünstigen Bachstellen wie Staub in einem Hurrikan davongetragen. Viele Bachbewohner weisen körperliche und Verhaltens-Anpassungen auf (morphologische und ethologische Anpassungen), um gegen Strömungen wortwörtlich standzuhalten. Eintagsfliegenlarven zum Beispiel wenden sich gegen Strömungsrichtung und passen ihre Körperhaltung aktiv nach Strömungsstärke an, um eine hydrodynamischere Form anzunehmen. Nicht so bei der Feuersalamanderlarve. Feuersalamanderlarven sind physikalisch nicht für Standhaftigkeit in Strömungen gebaut. Freiland- und Laboruntersuchungen zeigten, dass neugeborene Feuersalamanderlarven widerstandslos von Strömungen mitgerissen werden. Grössere Feuersalamanderlarven können etwas besser und doch nicht wirklich gut gegen Strömungen standhalten. Somit ist ihre Vorliebe für Kolken (Tümpel) und allgemein ruhigere Stellen erklärt (vgl. Thiesmeier, 1992, S. 46, 47, 54).

Geografischer Ausgangspunkt dieser Studie ist die Gemeinde Herznach. Das Dorf liegt im Kanton Aargau (AG), unweit der süddeutschen Grenze (siehe Abbildung 3). Herznach liegt im Herzen des Jurapark Aargaus, im ländlichen Fricktal. Die Gegend wird von weiten Wald- und Agrarflächen, grossen Höhenunterschieden und mässigen Siedlungsflächen charakterisiert. Schliesslich bezeichnet „Jura“ eine Gebirgsart (siehe Abbildung 4). Bezüglich vorherrschende Wald- und Holzart ist Vorsicht geboten. Während der Laubholz auf 75 % der Jura-Waldfläche dominiert, ist der Herznacher Wald ein ausgewogeneres Gemisch aus Laub- und Nadelholz. Kantonal hingegen ist 60 % der Waldfläche Laubwald (vgl. BVU AG, 2010 S. 20 f.). Sowohl auf kantonaler wie auf regionaler Ebene ist Laubholz die vorherrschende Holzart des Aargaus.

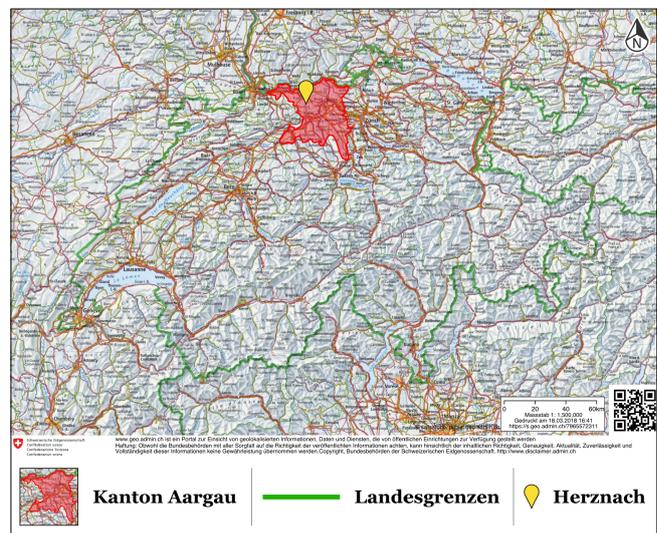


Abb. 3 Schweizerkarte. Herznach, mit gelbem Pfeiler gekennzeichnet, liegt im Norden des Kanton Aargaus (rot markiert). Quelle: <https://map.geo.admin.ch/>



Abb. 4 Ein Blick durch das Fricktal von Herznach aus, Richtung Nordwesten. Das Juragebirge prägt die Landschaft. Eigene Aufnahme, 13.07.15.

2. Material & Methode

Die Anzahlen von Feuersalamanderlarven werden an unterschiedlichen Bachstellen der Umgebung Herznach gezählt. Eine Bachstelle ist als 25 m langer Bachabschnitt definiert. Jede Bachstelle muss bei der ersten Zählung Feuersalamanderlarven enthalten. Um die Suche nach solchen Bachstellen zu beschleunigen, werden Daten zu früheren Feuersalamander(Larven)-Sichtungen berücksichtigt (Daten der KARCH oder der Umweltberatungsfirma Hintermann & Weber AG). Erfolgreiche Suchen nach Absetzgewässer werden qualitativ festgehalten (siehe Anhang, 8.3 Erfolgreiche Suchen). Der Zählvorgang baut auf der Methodik der KARCH auf: Die Anzahlen von Feuersalamanderlarven werden in 16 Bachstellen gezählt. Jede Bachstelle wird dreimal besucht, im Abstand von 30 Tagen. Somit sind es gesamthaft $16 \times 3 = 48$ Zählungen. Bei jeder Zählung wird 15 Minuten lang bachaufwärts nach Feuersalamanderlarven gesucht. Die Feuersalamanderlarven werden mit einem Handzähler gezählt. Eine Stirnlampe wird getragen. Nur Laub wird bewegt, Steine nicht. Ins Wasser stehen wird womöglich vermieden. Zählungen finden nur am Tag statt und die Tageszeit wird Ende Zählung notiert (Stunde, Minute). Die Temperatur der Wasseroberfläche wird an drei unterschiedlichen, ruhigen Stellen des Bachabschnitts mittels Infrarot-Thermometer gemessen: Am Anfang (~ 1 m vom Ausgangspunkt), in der Mitte (~ 11 m bis 13 m vom Ausgangspunkt) und am Ende (~ 24 m vom Ausgangspunkt) der gewählten Bachstelle. So kann die durchschnittliche Wassertemperatur der Bachstelle berechnet werden. Bei Regenfall wird die Zählung abgesagt. Bei Regenfall am Vortag der Messung ist ebenfalls eine Absage möglich. Für Informationen bezüglich Niederschlag wird SRF Meteo verwendet. Folgende Angaben werden neben Individuenzahl und Wassertemperatur zu jeder Bachstelle notiert: Geografische Ausrichtung (Exposition, anhand der Flussrichtung, geo.admin.ch), Höhe (tiefster Punkt, geo.admin.ch), An- oder Abwesenheit von Fischen und umliegender Waldtyp (siehe 2.4 Bestimmung Waldtyp). Die Erfassung des Waldtyps dient der Absicht, Aussagen auf kantonale Ebene zu projizieren.

2.1 Korrekturwert

Jede Zählung wird anhand ihrer Genauigkeit mit einem Korrekturwert (K) versehen. Der Korrekturwert ergänzt die Sichtungszahl (S) und wird anhand der Sichtungszahl prozentual berechnet. Mit der Addition von Sichtungszahl und Korrekturwert wird der unbekannte Echtwert geschätzt. Die Genauigkeit der Zählung basiert auf folgende Kriterien:

- klares, sauberes Wasser
- Sichttiefe bis auf den Grund
- Strömung beeinträchtigt die Sichttiefe nicht
- gesamte Bachstelle ist zugänglich

Die Kriterienerfüllung bestimmt die Genauigkeit der Zählung und somit die Schätzung des Echtwerts:

Alle Kriterien sind erfüllt	genaue Zählung	$S \approx E$
Lediglich ein Kriterium ist nicht erfüllt	leicht ungenaue Zählung	$S * 1.1 \approx E$
Zwei oder mehr Kriterien sind nicht erfüllt	ungenau Zählung	$S * 1.2 \approx E$

Der Korrekturwert beträgt entweder einen Zehntel oder einen Fünftel der Sichtungszahl. Bei genauen Zählungen ist der Korrekturwert gleich Null. Bei Summen von Sichtungszahlen werden die einzelnen Korrekturwerte addiert. Bei durchschnittlichen Sichtungszahlen wird die überwiegende Genauigkeit für die Berechnung des Korrekturwerts verwendet. In Abbildungen werden Sichtungszahlen (schwarzer Balkenteil) mit dem Korrekturwert (gelber Balkenteil) erweitert. Der Korrekturwert wird auf ganze Zahlen gerundet.

2.2 Anwendungen aus der Fachliteratur

Die erste fachliterarische Anwendung ist wie folgt: In *Ökologie des Feuersalamanders*, 1992 von Burkhard Thiesmeier verfasst, wird auf Seiten 83 bis 85 das Thema Emergenz (Vollendung der Metamorphose) mittels Kuchendiagramm veranschaulicht. Die Hauptaussage des Kuchendiagramms lautet: Nur 4% aller Feuersalamanderlarven vollenden die Metamorphose. Diese Aussage wird auf die aargauischen Feuersalamanderlarven angewandt. Mit dieser Anwendung macht man die Annahme, die Populationsdynamik aus Thiesmeiers dreijährigen Untersuchung in Norddeutschland sei identisch mit derjenigen des Aargaus.

Die zweite Anwendung ist eine Formel. Sie ist auf der dritten Seite des Berichts *Neue statistische Verfahren zur Analyse von Monitoring- und Verbreitungsdaten von Amphibien und Reptilien*, geschrieben von Dr. Benedikt Schmidt der Universität Zürich, zu finden. Sie lautet:

$$E(Z) = N * p \quad \text{wobei } E = \text{Erwartungswert (also Durchschnitt der Zählungen)}$$
$$Z = \text{Zählung}$$
$$N = \text{Echtwert (unbekannt)}$$
$$p = \text{Antreffwahrscheinlichkeit (meist } < 1)$$

Hinweis: Mit $E(Z)$ ist der Durchschnitt (E) von den Zählungen (Z) gemeint, und nicht eine Multiplikation des Erwartungswerts (E) mit einer einzigen Zählung (Z).

Dank dieser Formel können unterschiedliche Aussagen zu den Feuersalamanderbeständen der Umgebung Herznach gemacht werden. Um die Antreffwahrscheinlichkeit p zu berechnen, wird ein Softwarepaket namens *unmarked* der Statistiksoftware *R* benötigt. Eine geschätzte durchschnittliche Abundanz, die auf jede Bachstelle zutrifft, wird ebenfalls mit *R* berechnet. Die Verwendung von *R* wird hier nicht erklärt. Eine ausführliche Anleitung der Universität Zürich zur Verwendung des *unmarked* Softwarepakets ist in 7.2 Schriftliche Quellen vermerkt (vgl. Schmidt, 2016).

2.3 Suche nach geeigneten Bachstellen

Geeignete Bachstellen enthalten mindestens bei der ersten Messung Feuersalamanderlarven und sind ohne grosse Verletzungsgefahr zugänglich. Wie bereits erklärt, werden Daten zu früheren Sichtungen von Feuersalamanderlarven verwendet, um die Suche nach geeigneten Bachstellen zu beschleunigen. Die verwendeten Daten sind Datenbankauszüge der KARCH und der Umweltberatungsfirma Hintermann & Weber AG. Aus vertragsrechtlichen Gründen mit dem jeweiligen Dienstleistungsanbieter dürfen diese Daten nicht veröffentlicht werden. Der Auszug wurde von einem vereinbarten Koordinatenrechteck eingegrenzt. Die resultierenden Daten wurden in Form einer Microsoft Excel Datei geliefert. Hier ein Datensatzbeispiel der KARCH:

KLASSE	ORDN.	FAMILIE	GATTUNG	ART	DEUTSCH	PRIO	LR	PROT_CH	ORT	GEMEINDE	KANTON	KM2	KM_CX	KM_CY	PR	MAX(A)	BDD_DB	NOMLEG
Amphibia	Urodela	Salamanc	Salamandra	salam	Feuersalam	4	VU	2	Beispielort	Beispielgem	AG	123456	654321	654123	6	Beispieljahr	z.B. karch	Peter Beispiel

Tab. 1 Datensatzbeispiel der KARCH Datenbank. Artenspezifische, geographische und zeitliche Angaben zur Sichtung mindestens eines Feuersalamanders (larval, juvenil oder adult) in Tabellenform. PRIO: Artenschutz Priorität (CH), 4 = mässig (vgl. BAFU, 2011, S. 52), LR: Gefährdung (CH), VU = verletzlich (vgl. BAFU, 2011, S. 52), PROT_CH: Einstufung Artenschutz, 2 = Art geschützt gemäss Natur- und Heimatschutzgesetz (NHG), KM2: Kilometerquadrat, KM_CX, KM_CY: Zentrumskoordinaten Kilometerquadrat, PR: Genauigkeit Ortsangabe, 6 = GPS, MAX(A): Sichtungsjahr, BDD_DB: Inhaber Datenbank.

Für die Feldarbeit von Nutzen sind die Spalten „KM_CX“ und „KM_CY“. Zusammen beschreiben diese einen Punkt innerhalb des gewünschten Koordinatenrechtecks. Die Onlinekarten des Kanton Aargau verfügen über eine Suchfunktion für solche Koordinaten (siehe Abbildung 5).

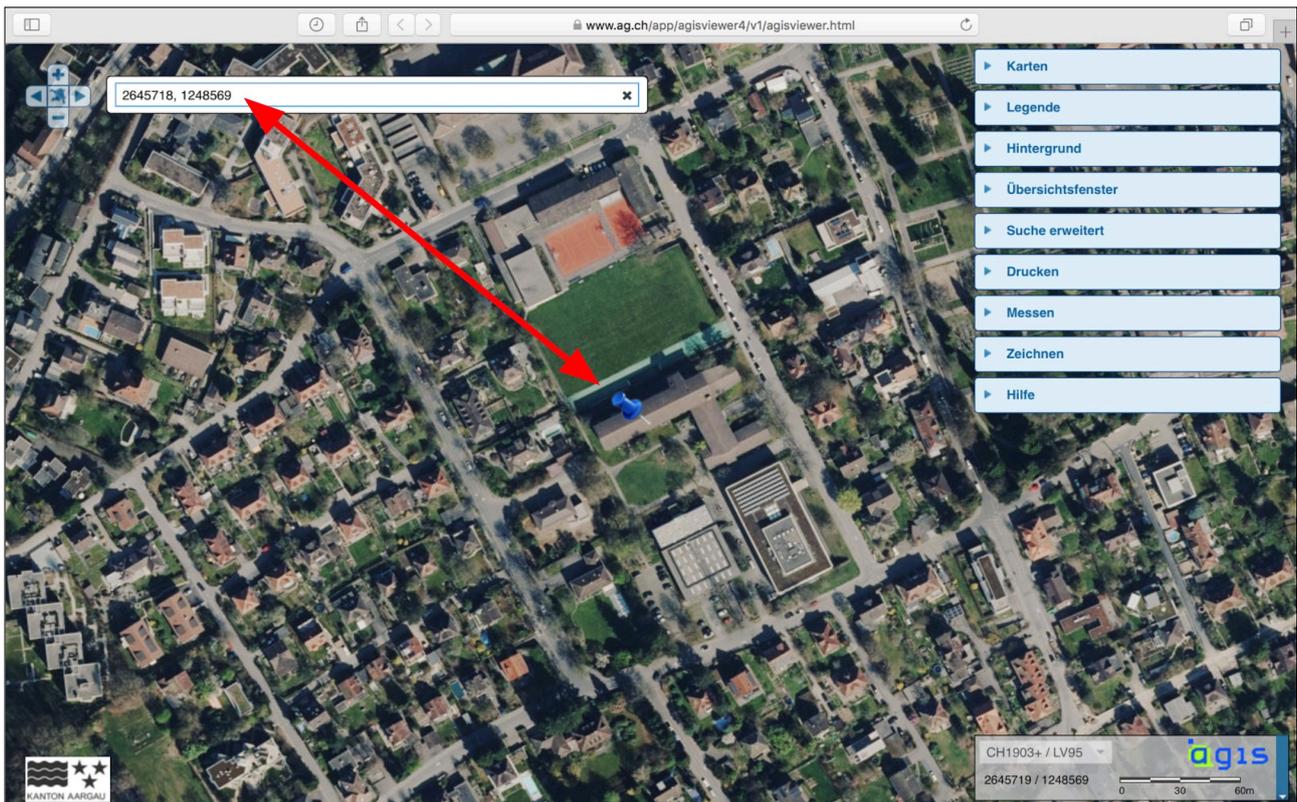


Abb. 5 Browseransicht Onlinekarten Kanton Aargau. Anhand einer im Suchfeld eingetippten x- und y-Koordinate wird der entsprechende Punkt auf der Karte angezeigt. Suchbeispiel Neue Kantonsschule Aarau.

Quelle: https://www.ag.ch/de/dfr/geoportal/online_karten_agis/online_karten.jsp

Für das Finden von geeigneten Bachstellen werden frühere Sichtungskoordinaten aus der jeweiligen Datenbank (KARCH oder Hintermann & Weber AG) auf die Onlinekarte des Kanton Aargaus übertragen, unabhängig vom Sichtungsjahr. Jede Sichtungsstelle wird mit einem farbigen Punkt markiert. So entsteht eine Karte mit Hinweisen auf geeignete Bachstellen (siehe Abbildung 6).

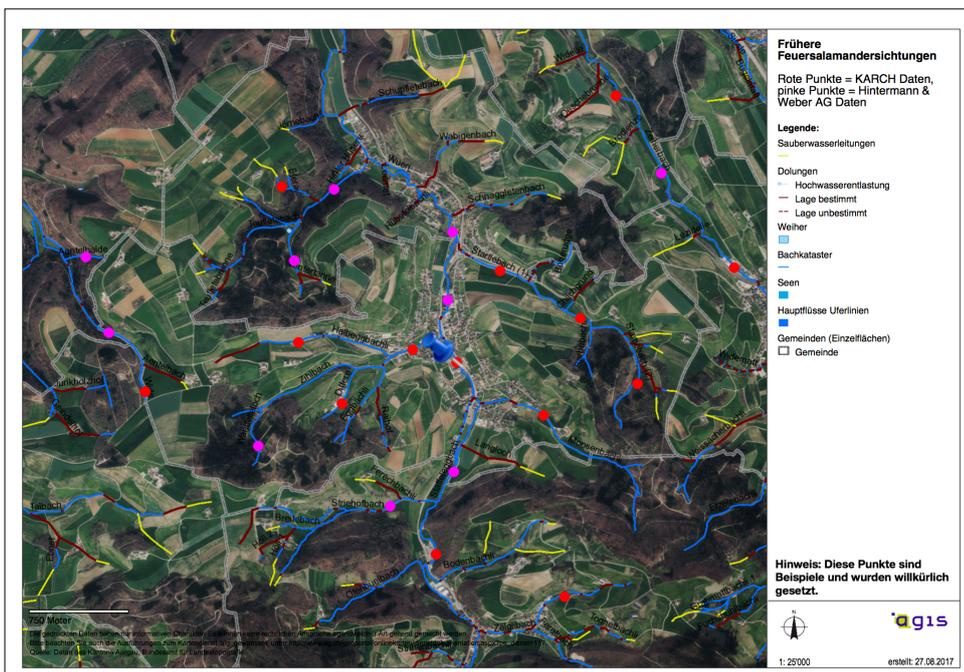


Abb. 6 Frühere Feuersalamandersichtungen als farbige Punkte in der Onlinekarte des Kanton Aargaus. Hinweis: Aus rechtlichen Gründen dürfen die echten Standorte nicht veröffentlicht werden. Daher sind diese Punkte Beispiele und wurden willkürlich gesetzt.

Quelle: https://www.ag.ch/de/dfr/geoportal/online_karten_agis/online_karten.jsp

Somit wird die erfolgreiche Suche nach geeigneten Bachstellen beschleunigt.

2.4 Bestimmung Waldtyp

Jede Bachstelle hat eine unmittelbare Umgebung. Diese endet mit einem Abstand von 10 m zum Gewässer. Drei mögliche Umgebungen werden unterschieden: Laub- und Nadelwald und exponierte Stellen. Diese drei Umgebungen werden wie Waldtypen behandelt. Die vorwiegende Holzart der unmittelbaren Umgebung wird von einer Karte abgelesen (siehe Abbildung 7). Diese vorherrschende Holzart (Laub- oder Nadelholz) ist dann der Waldtyp (Laub- oder Nadelwald) der Bachstelle. Im Unterschied zu Waldbächen haben exponierte Bachstellen, wie zum Beispiel Dorfbäche, höchstens 5 % Waldflächenanteil. Exponierte Bachstellen werden nicht nach ihren Holzarten untersucht. Ihr Waldtyp lautet „expositus“ (lat. exponiert), „EXP“ abgekürzt. Im Sonderfall, dass eine Bachstelle nicht im Wald liegt, das Wasser jedoch dicht unter Baumkronen fliesst, wird die umgebende Holzart nachgeschlagen und zum Waldtyp der Bachstelle (Laub- oder Nadelwald). Somit sind die Waldtypen wie folgt definiert:

Laubwald	≥ 50 % Laubholzanteil
Nadelwald	≥ 50 % Nadelholzanteil
Expositus	≤ 5 % Waldflächenanteil

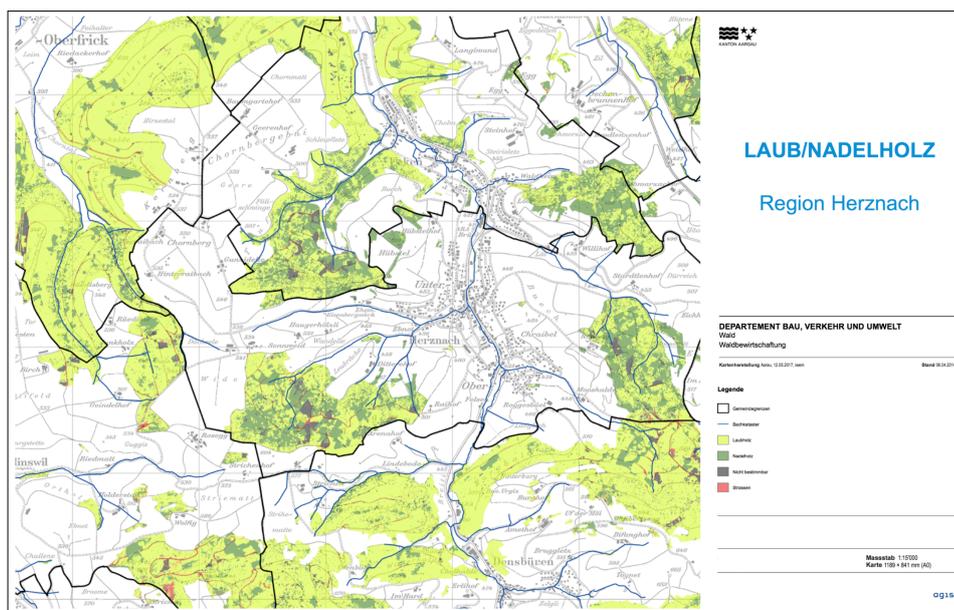


Abb. 7 Ausschnitt Laub/Nadelholz Karte der Region Herznach, erhalten vom Kanton (BVU, Abteilung Wald). Hellgrün ist Laubholz, dunkelgrün ist Nadelholz.

Laubholz ist, wie in Abbildung 7 sichtbar, die vorherrschende Holzart der Wälder in Herznach und Umgebung, was gleichzeitig der kantonalen Zusammensetzung entspricht: Der Kanton Aargau ist mehrheitlich von Laubwald bedeckt (vgl. BVU, 2010, S. 20).

3. Resultate

3.1 Geografische Resultate

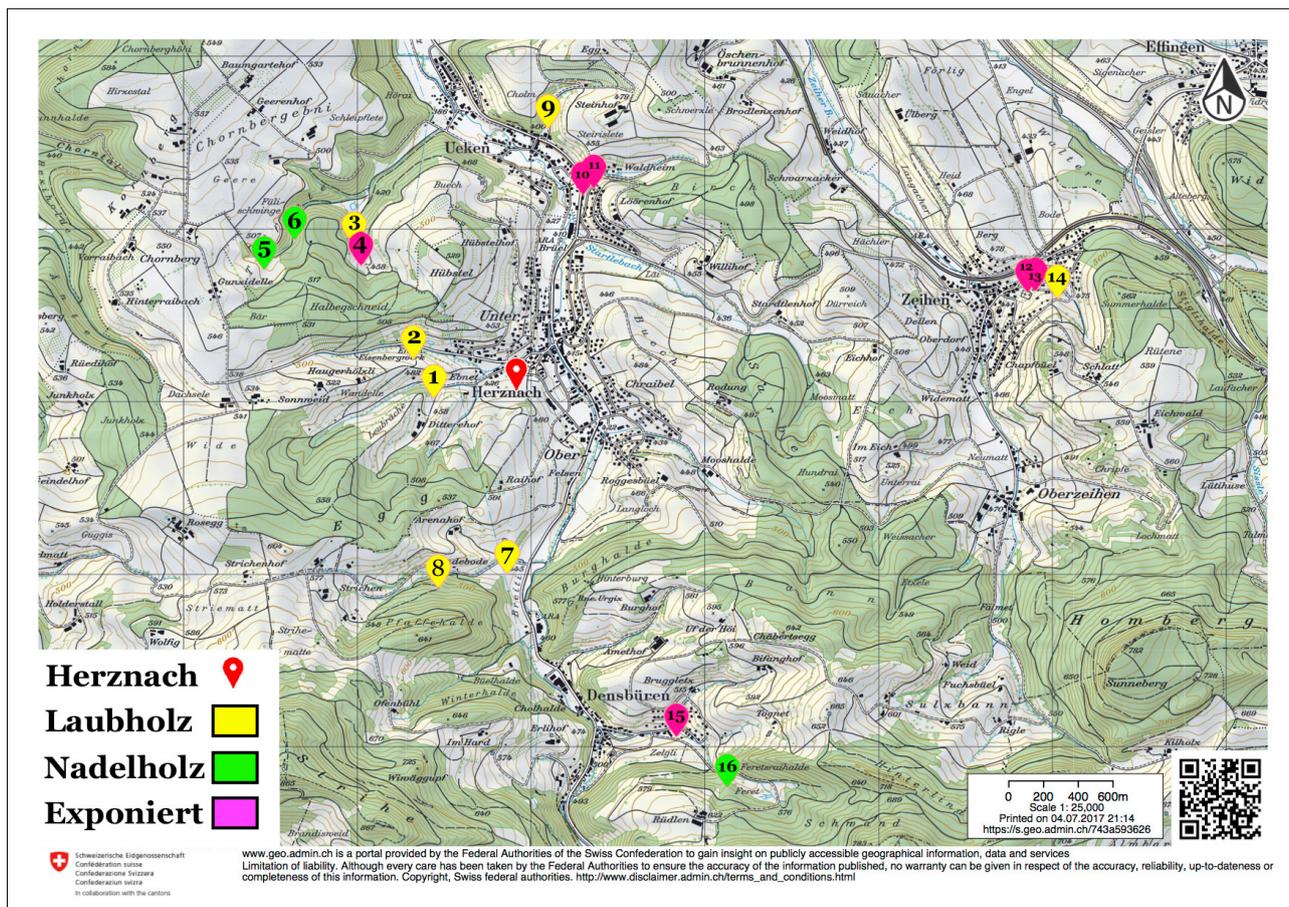


Abb. 8 Alle untersuchten Bachstellen samt Nummer. Gelbmarkierte Bachstellen (7) liegen im Laubwald, grünmarkierte (3) im Nadelwald. Pinkmarkierte (6) sind exponiert, sie sind vorwiegend unbedeckt.
 Quelle: <https://map.geo.admin.ch/>

Abbildung 8 zeigt die geografische Verteilung der einzelnen Bachstellen um Herznach, Densbüren, Ueken und Zeihen (AG, Schweiz). Bachstellen 2, 9 und 14 liegen ausserhalb des Waldgebiets, sind jedoch dicht von Laubholz umwachsen und werden daher wie im Laubwald liegend behandelt. Die kleinste Entfernung zwischen zwei Bachstellen beträgt 0.1 km, die grösste 4.6 km (in geo.admin.ch Onlinekarte gemessen). Tabelle 2 zeigt die Verteilung der Bachstellen auf die drei möglichen Umgebungen:

Umgebung	Bachstelle
Laubwald	1, 2, 3, 7, 8, 9, 14
Nadelwald	5, 6, 16
Expositus	4, 10, 11, 12, 13, 15

Tab. 2 Übersicht Umgebungen und Bachstellen

Siehe Anhang für geografische Rohdaten (8.1.1 Einmalige Erfassungen).

Siehe Anhang für Portfolios ausgewählter Bachstellen (8.2 Bachstellen-Portfolios).

3.2 Resultate Erfassungen

Gesamthaft wurden 48 Begehungen durchgeführt, wobei nur 43 Zählungen erfolgen konnten. Grund für die unvollständige Zählungsanzahl war die komplette Austrocknung von Bachstellen 1, 9, 15 und 16, sowie das Zuschütten von Bachstelle 10 auf kantonale Entscheid. An diesen Bachstellen konnte deshalb die dritte Zählung nicht durchgeführt werden. Das Sichtungszahl in diesen Fällen gleich null zu setzen ist falsch, da keine Zählung durchgeführt werden konnte, so Dr. Benedikt Schmidt im Gespräch am 9. August.

Siehe Anhang für Rohdaten (8.1.2 Mehrmalige Erfassungen).

3.2.1 Gesichtete Feuersalamanderlarven

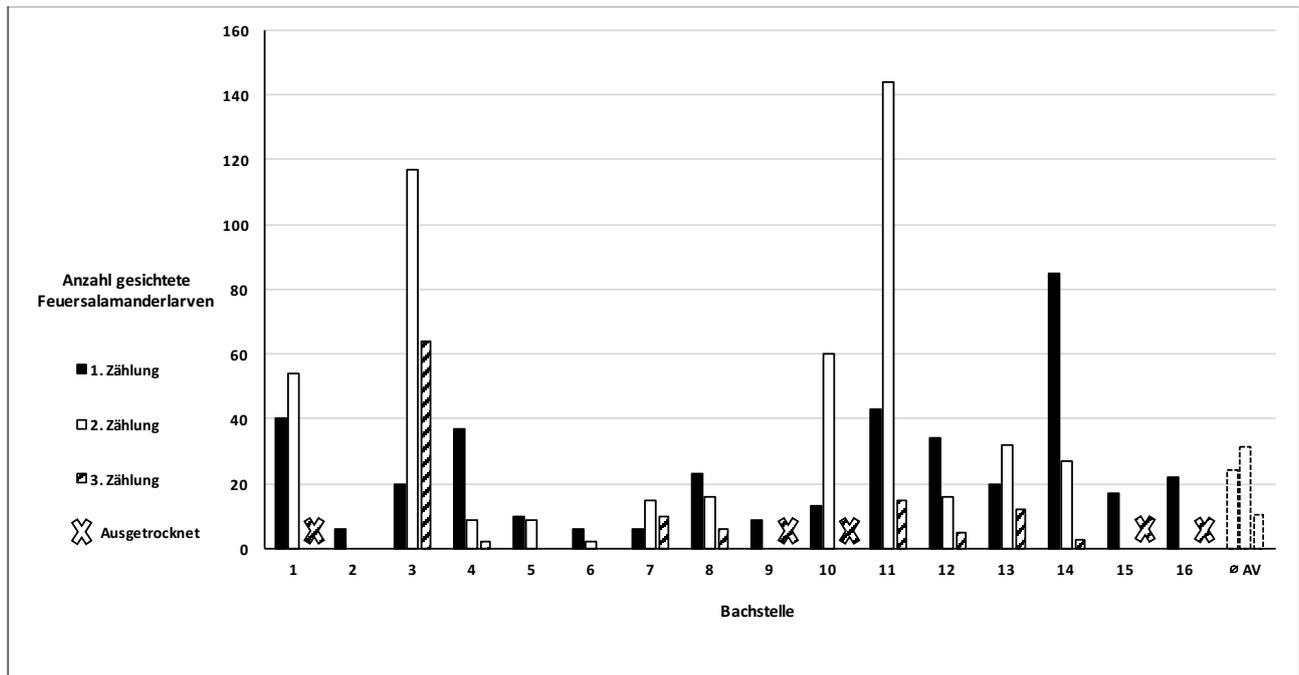


Abb. 9 Anzahl gesichtete Feuersalamanderlarven bei der ersten, zweiten und dritten Zählung an 16 Bachstellen der Umgebung Herznach, AG, Schweiz (ohne Berücksichtigung des Korrekturwerts). Alle Zählungen erfolgten von April bis und mit Juli 2017. Die Austrocknung einer Bachstelle ist mit „X“ gekennzeichnet; Die Zählung konnte nicht durchgeführt werden. Ø AV sind Durchschnittswerte für alle drei Zählungen.

Die durchschnittliche Anzahl gesichtete Feuersalamanderlarven steigt mässig von der ersten zur zweiten Zählung, danach fällt sie tiefer als die Halbe erste Zählung (rund zehn Individuen). Den Höchstwert aller Sichtungen trägt die zweite Zählung der Bachstelle 11 mit 144 gesichteten Individuen. Ein weiteres Mal wurde die Hundertermarke an Bachstelle 3, ebenfalls bei der zweiten Zählung, mit 117 Individuen übertroffen. Der mögliche Trend, den Mittelwert mit der ersten, den Höchstwert mit der zweiten und den Tiefstwert mit der dritten Zählung zu erreichen, liegt allein bei Bachstellen 11 und 13 vor. Sieben Nullzählungen wurden erfasst: Die zweite und dritte Zählung in Bachstelle 2, die dritte Zählung in Bachstelle 5, die dritte Zählung in Bachstelle 6, die zweite Zählung in Bachstelle 9, die zweite Zählung in Bachstelle 15 und die zweite Zählung in Bachstelle 16.

3.2.2 Höhe

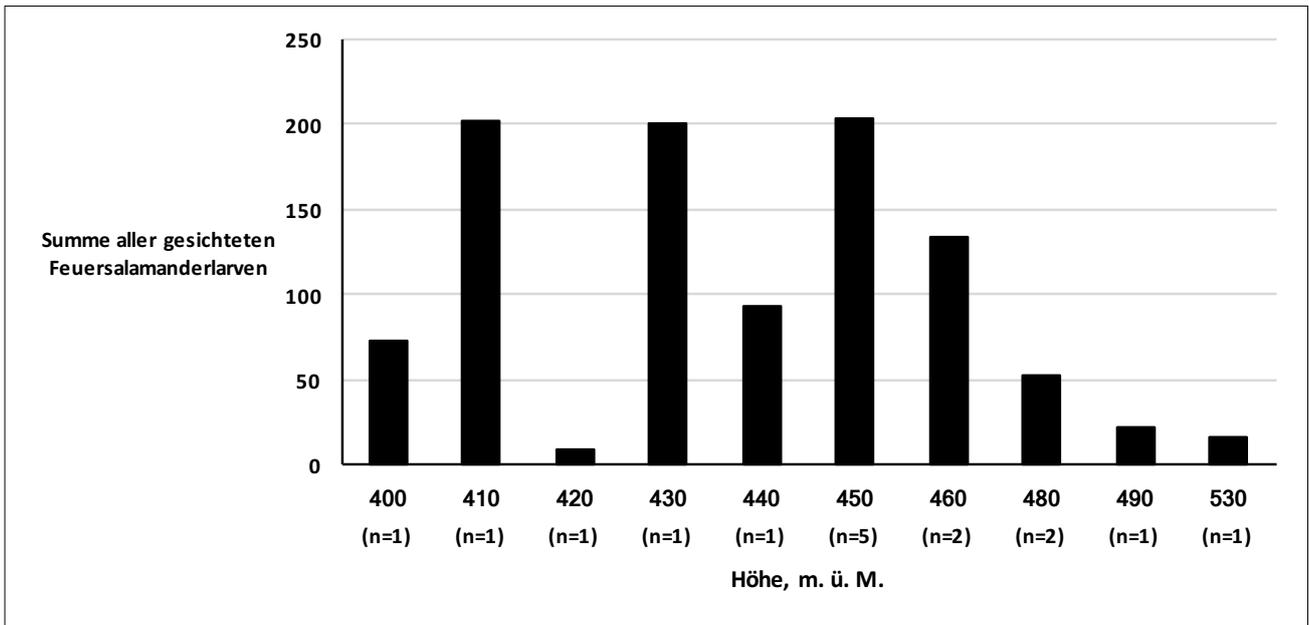


Abb. 10 Summe aller gesichteten Feuersalamanderlarven auf gegebener Höhe, n gleich Anzahl Bachstellen auf jener Höhe. Pseudoreplikation enthalten.

Die untersuchten Bachstellen der Umgebung Herznach, AG, Schweiz lagen zwischen 400 m. ü. M. und 530 m. ü. M. Fünf Bachstellen lagen auf 450 m. ü. M. (2, 4, 7, 12 und 13). Zwei Bachstellen lagen auf 480 m. ü. M. (6 und 8), zwei weitere lagen auf 460 m. ü. M. (5 und 14). Ansonsten ist jede Höhe mit nur einer Bachstelle vertreten. Es ist keine Korrelation zwischen Zu- oder Abnahme von Höhe und Sichtungszahl sichtbar.

3.2.3 Kalendermonat

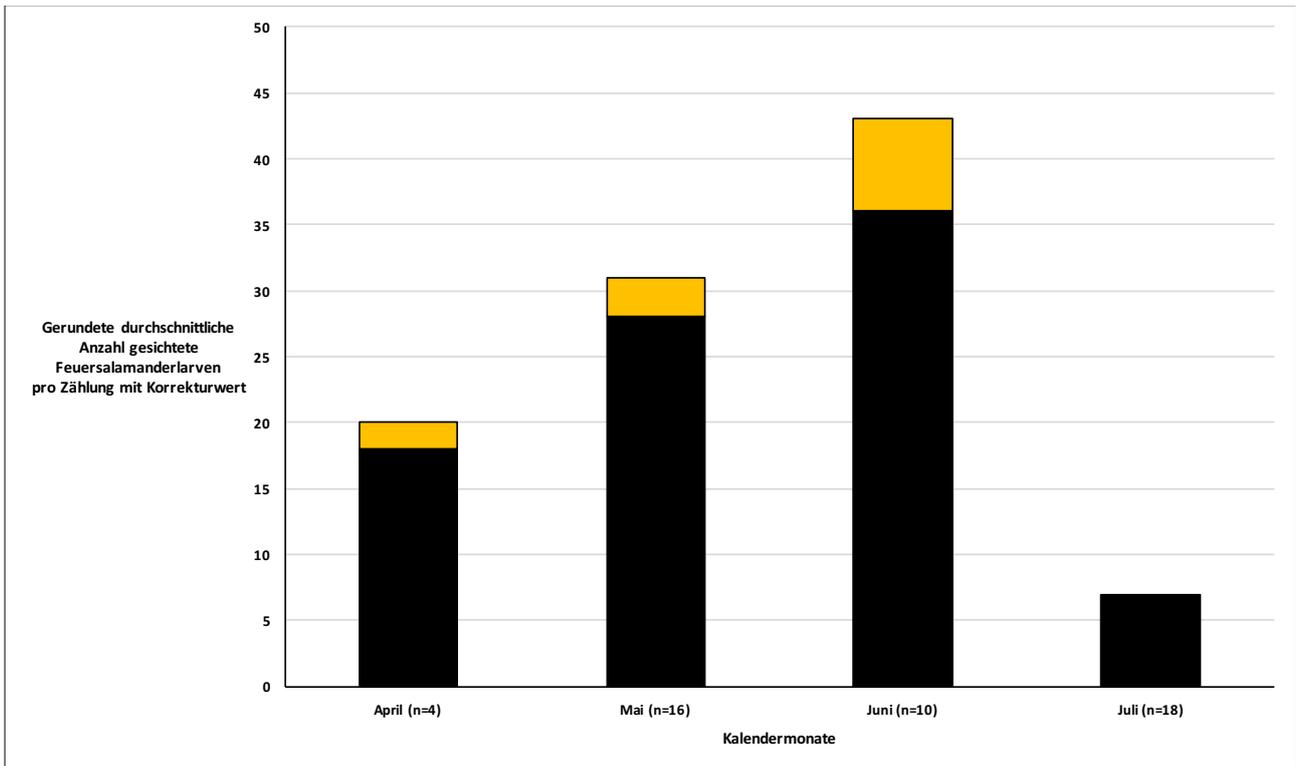


Abb. 11 Durchschnittliche Anzahl gesichtete Feuersalamanderlarven pro Zählung während eines Kalendermonats (schwarzer Balkenteil, auf ganze Zahlen gerundet), n gleich Anzahl Messungen während des Kalendermonats. Nullwerte enthalten. Der gelbe Balkenteil zeigt den Korrekturwert (siehe 2.1 Erfassungen und Korrekturwert).

Von April bis Juni steigt die durchschnittliche Anzahl gesichtete Feuersalamanderlarven pro Zählung von 18 über 28 auf 36 Individuen. Im Juli wurden durchschnittlich nur 7 Individuen pro Messung gesichtet. Demnach liegen beide Höchstwerte zeitlich in der zweiten Hälfte der Untersuchungsdauer. Somit liegt der Höchstwert unmittelbar vor dem Tiefstwert. Der Korrekturwert zeigt, dass im April und im Mai leicht ungenau, im Juni ungenau und im Juli genau gezählt wurde.

3.2.4 Wassertemperatur

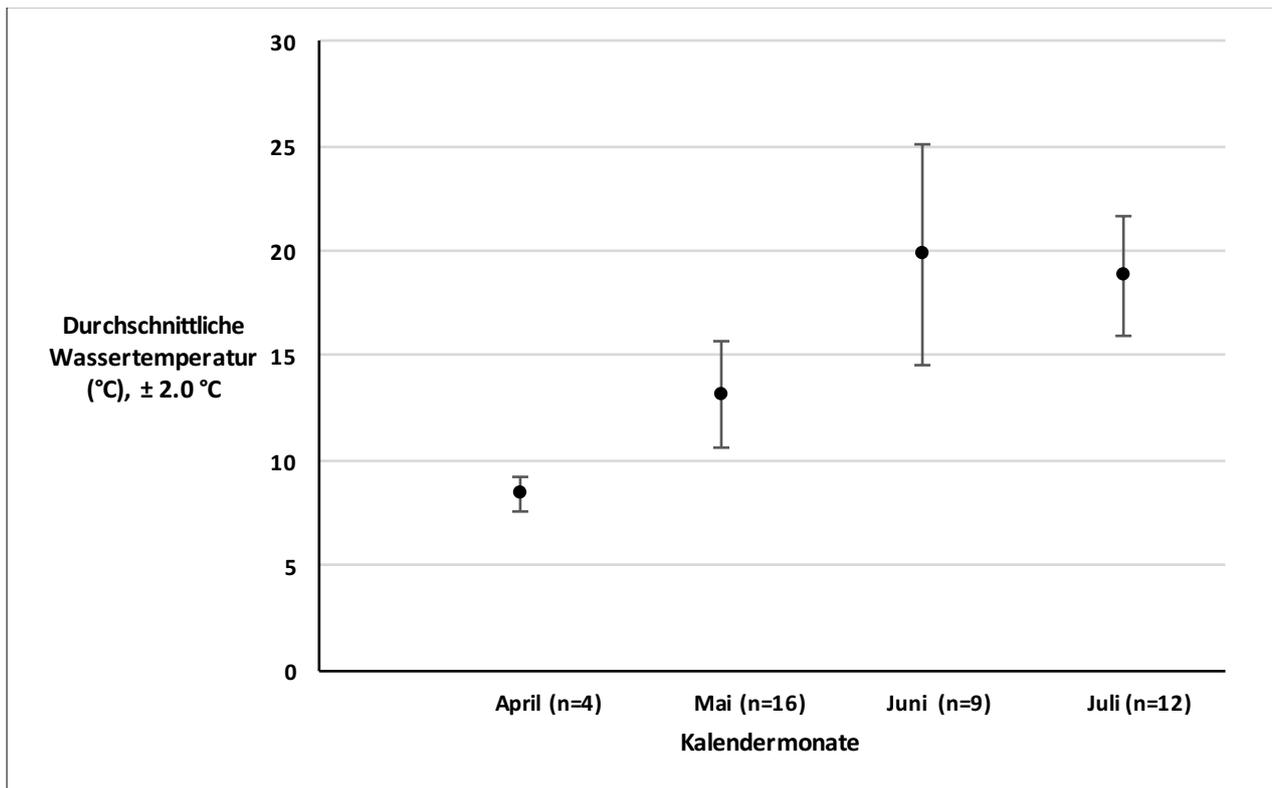


Abb. 12 Durchschnittliche Wassertemperatur mit Standardabweichung nach Kalendermonat. Der mögliche Messfehler des Infrarot-Thermometers beträgt ± 2.0 °C.

Die durchschnittliche Wassertemperatur steigt von April bis Juni von 8.4 °C über 13.1 °C auf 19.8 °C. Danach fällt die durchschnittliche Wassertemperatur auf 18.8 °C. Die vier Tiefstwerte des Aprils sind nahe gruppiert, die Extremwerte davon sind 7.6 °C (Bachstelle 6, 1. Zählung) und 9.4 °C (Bachstelle 3, 1. Zählung). Im Unterschied zum April fällt die grosse Standardabweichung des Junis sofort auf (5.3 °C). Die höchste gemessene Wassertemperatur der gesamten Feldarbeit beträgt 26.6 °C (Bachstelle 12, 2. Zählung). Trotz Abnahme der durchschnittlichen Wassertemperatur von Juni bis Juli lagen fast die Hälfte aller Juli-Messungen über 20 °C.

3.2.5 Sichtungszahl und Wassertemperatur

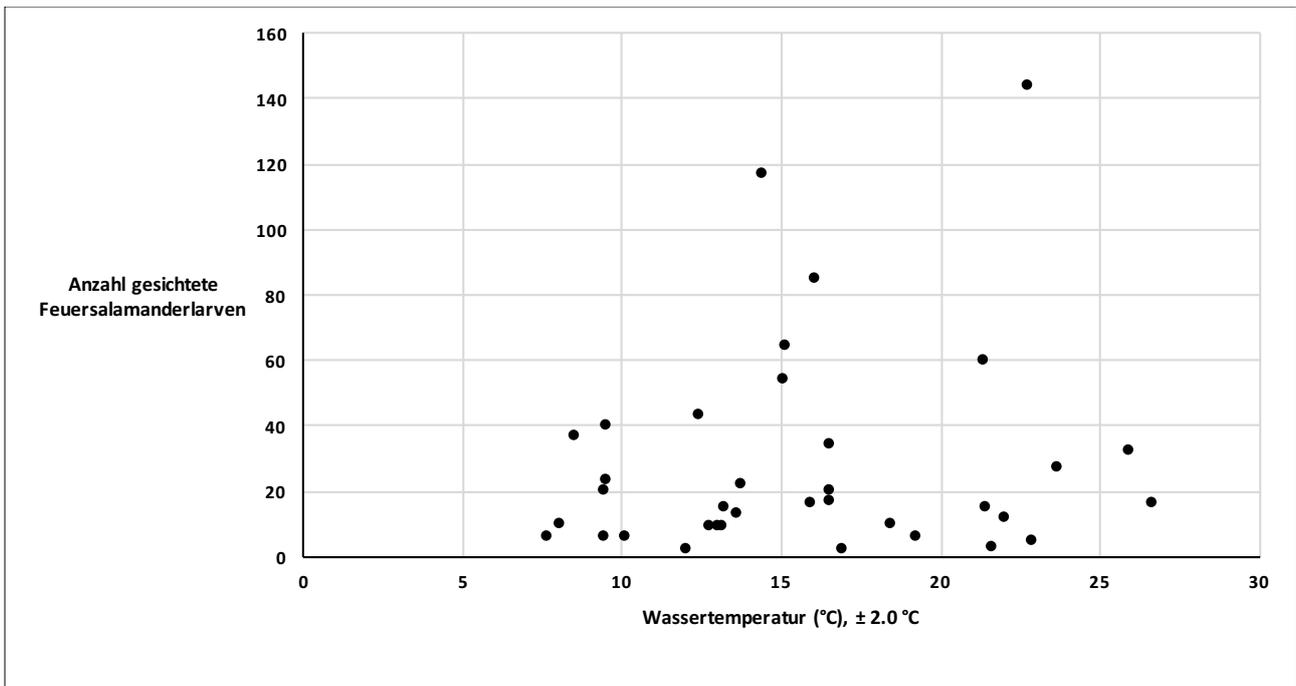


Abb. 13 Anzahl gesichtete Feuersalamanderlarven mit gemessener Wassertemperatur zur Zeit der Sichtung, ohne Berücksichtigung des Korrekturwerts. Nullwerte entfernt.

Weder ist die tiefste Wassertemperatur mit der tiefsten Sichtungszahl noch ist höchste Wassertemperatur mit der höchsten Sichtungszahl gekoppelt: Zurzeit der höchsten Feuersalamanderlarven-Sichtung betrug die Wassertemperatur knapp 23 °C (Bachstelle 11, 2. Zählung), die tiefste gemessene Wassertemperatur – in der Feuersalamanderlarven gesichtet wurden – betrug 7.6 °C (Bachstelle 6, 1. Zählung) und bei der höchsten Wassertemperatur-Messung wurden nur 16 Feuersalamanderlarven gesichtet (Bachstelle 12, 2. Zählung). Stattdessen erscheinen dieselben Sichtungszahlen bei unterschiedlichen Wassertemperaturen: Über eine Wassertemperaturbreite von $\Delta 15$ °C wurden achtmal 2 bis 6 Feuersalamanderlarven gesichtet. Um die Marke von 15 °C sind diverse Punkt-Gruppierungen sichtbar, was bedeutet, dass zur jeweiligen Temperatur mehrfach eine ähnliche Anzahl Feuersalamanderlarven gesichtet wurde.

3.2.6 Tageszeit

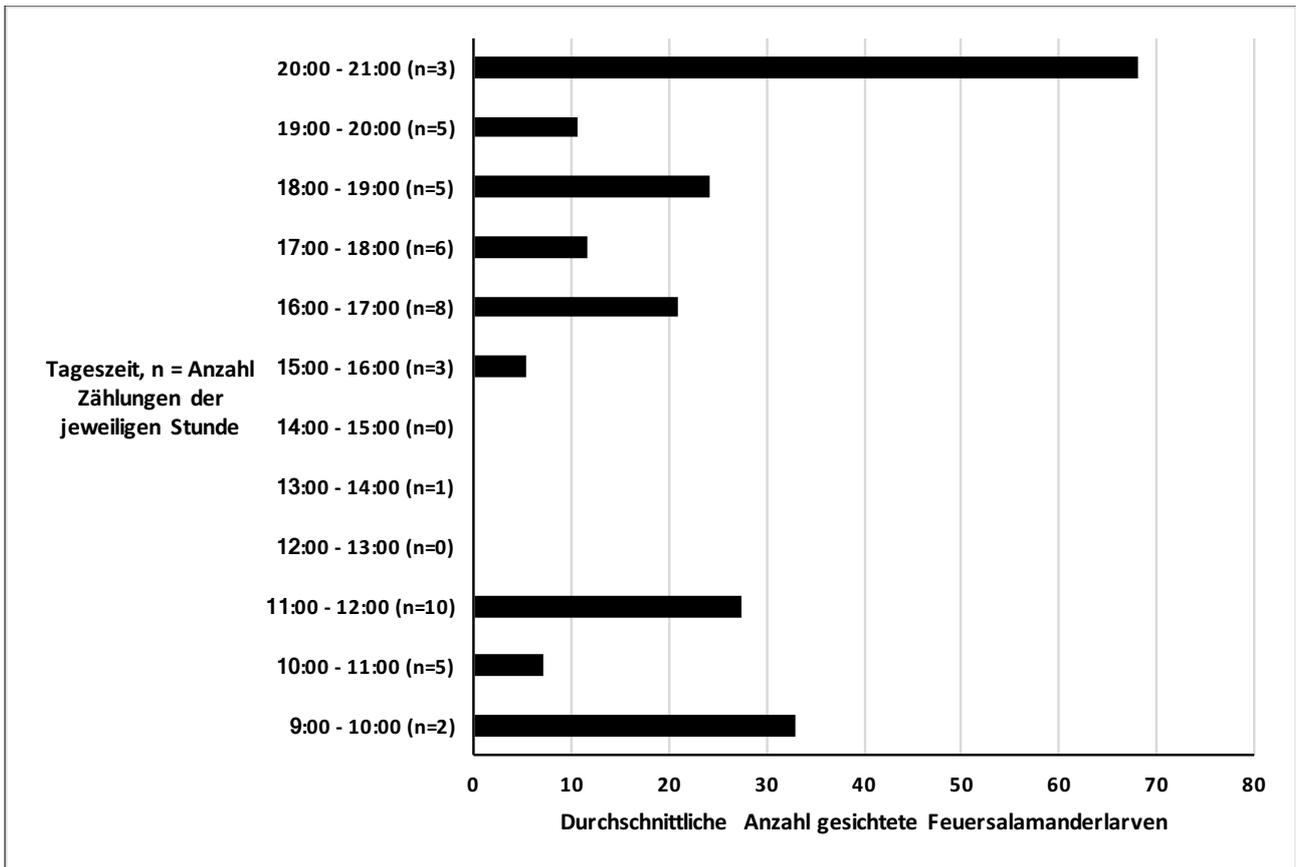


Abb. 14 Durchschnittliche Feuersalamanderlarven-Sichtungszahl in Stunden zwischen 09:00 und 21:00 Uhr, unabhängig von Bachstelle und Jahreszeit und ohne Berücksichtigung des Korrekturwerts.

Zu jeder Tagesstunde zwischen 9:00 und 21:00 Uhr wurde mindestens eine Zählung durchgeführt, mit Ausnahme von 12:00 bis 13:00 Uhr sowie 14:00 bis 15:00 Uhr. Zu diesen Zeiten wurden keine Zählungen unternommen. Zahlenmässig ist die Nachmittagszeit der Vormittagszeit gegenüber besser vertreten. Der Höchstwert ist am Abend und wird wertmässig von einer Morgenstunde gefolgt.

3.2.7 Waldtyp

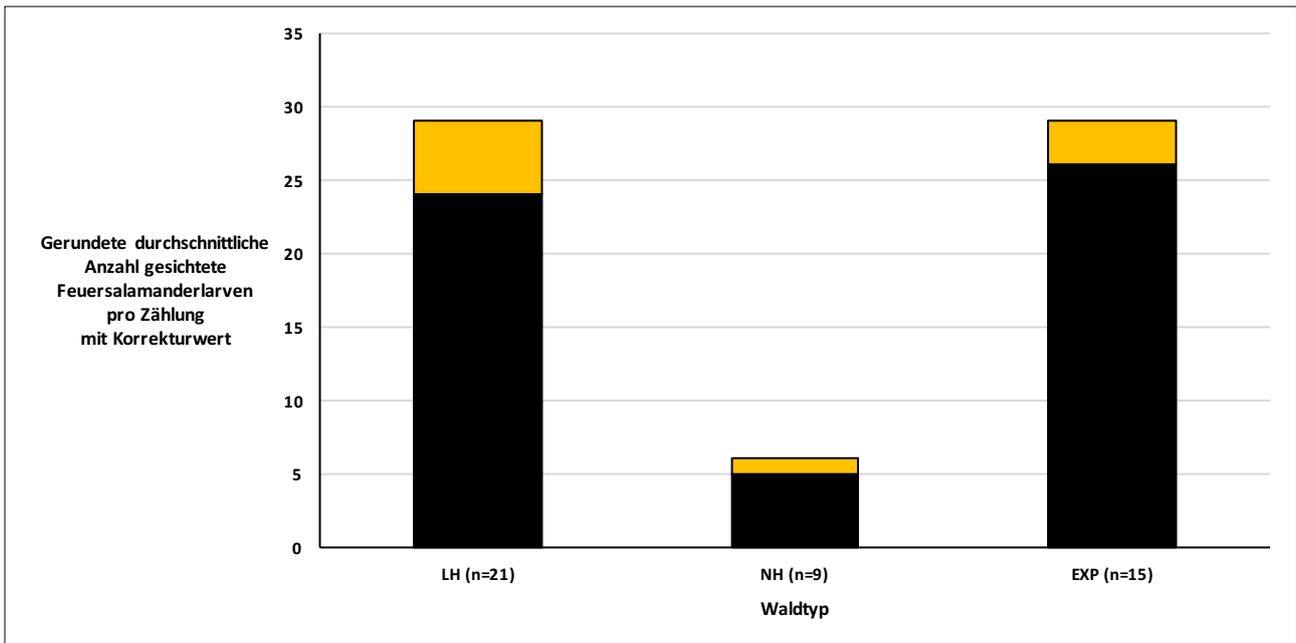


Abb. 15 Durchschnittliche Anzahl gesichtete Feuersalamanderlarven pro Zählung nach Waldtyp der Bachstelle (schwarzer Balkenteil, auf ganze Zahlen gerundet). Laubholz (LH), Nadelholz (NH) und exponiert (EXP). N gleich Anzahl Messungen im jeweiligen Waldtyp. Der gelbe Balkenteil zeigt den Korrekturwert (siehe 2.1 Erfassungen und Korrekturwert).

In exponierten Bachstellen wurden durchschnittlich 26 Feuersalamanderlarven pro Zählung gesichtet. Laubholz-Bachstellen zeigen mit 24 gesichteten Feuersalamanderlarven einen fast ebenso hohen Durchschnitt. Der Tiefstwert von durchschnittlich 5 gesichteten Feuersalamanderlarven wird von Nadelholz-Bachstellen getragen. Die Höchstwerte der Laubholz- und Expositus-Bachstellen sind ein Vielfaches des Nadelholz-Tiefstwerts. Der Korrekturwert zeigt, dass in Nadelholz- und Expositus-Bachstellen leicht ungenau und in Laubholz-Bachstellen ungenau gezählt wurde.

3.2.8 Exposition

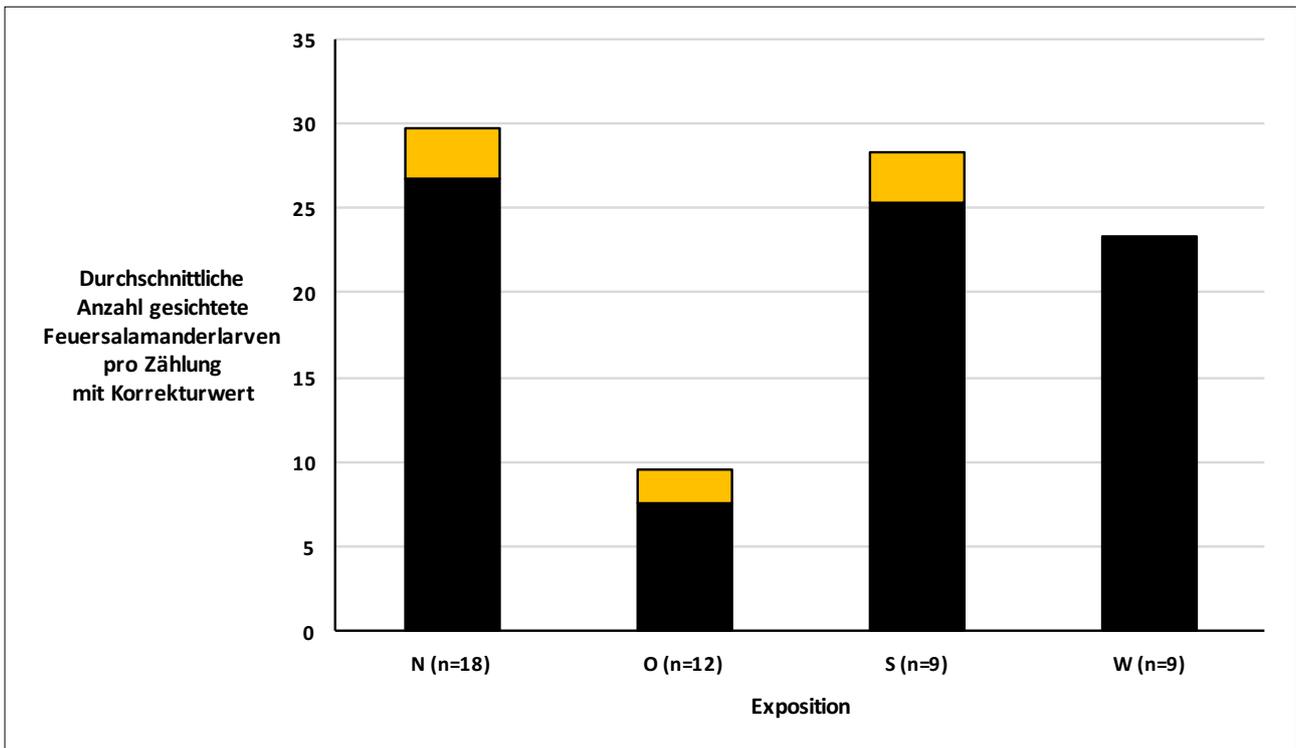


Abb. 16 Durchschnittliche Anzahl gesichtete Feuersalamanderlarven pro Zählung geordnet nach geografischer Ausrichtung (schwarzer Balkenteil, auf ganze Zahlen gerundet). N gleich Anzahl Messungen in der jeweiligen Ausrichtung. Der gelbe Balkenteil zeigt den Korrekturwert (siehe 2.1 Erfassungen und Korrekturwert).

In nördlich, südlich und westlich exponierten Bachstellen wurden rund 25 Feuersalamanderlarven im Durchschnitt pro Zählung gesichtet. Östlich exponierte Bachstellen fallen mit durchschnittlich 7 gesichteten Feuersalamanderlarven deutlich ab. Der Korrekturwert zeigt, dass in nördlich und südlich exponierten Bachstellen leicht ungenau, in östlich exponierten Bachstellen ungenau und in westlich exponierten Bachstellen genau gezählt wurde.

3.3 R Resultate

Das Softwarepaket *unmarked* des Statistikprogramms *R* wurde zur Berechnung der Antreffwahrscheinlichkeit p von Feuersalamanderlarven im geografischen und zeitlichen Raum der Feldarbeit verwendet (vgl. Schmidt, 2016). Weiter wurde die geschätzte durchschnittliche Abundanz berechnet, eine Schätzung für alle Bachstellen. Wovon die Antreffwahrscheinlichkeit und Abundanz abhängen wurde ebenfalls berechnet. Hinweis: Obwohl die Daten korrekt umgeschrieben und eingelesen wurden, lieferte das *unmarked* Paket im Macintosh-basierten *RStudio* viele Fehlermeldungen. Die Berechnungen mussten stattdessen im klassischen Windows-basierten *R* ausgeführt werden, dies von Dr. Benedikt Schmidt (Universität Zürich, KARCH).

Alle Daten wurden in folgender Form eingelesen:

stream	c.1	c.2	c.3	date.1	date.2	date.3	elev	forest	aspect
1	40	54	NA	4.05	1.06	10.7	440	LH	N
2	6	0	0	4.05	1.06	18.07	450	LH	O
3	20	117	64	28.04	27.05	17.07	430	LH	N

... und so weiter für alle 16 Bachstellen. Austrocknung wird mit NA gekennzeichnet (ungleich 0 Individuen).

Die konzeptionelle Gleichung $E(Z) = N * p$ (vgl. Schmidt, 2008, S. 3) beschreibt unterschiedliche Werte:

E = Erwartungswert, Durchschnitt der Zählungen

Z = Zählung

N = Echtwert, unbekannt, zwangsläufig höher als die gesichtete Anzahl Individuen

p = Antreffwahrscheinlichkeit, meist kleiner als 1

Nun, die Berechnungen im *R* ergaben:

- $p = 0.189 = 18.9 \%$
- p hängt vom Datum ab (Zeitspanne 28.04.17 bis 18.07.17)

und

- Abundanz beträgt 120 Feuersalamanderlarven pro Bachstelle
- Abundanz hängt von Höhe, Waldtyp und Exposition ab

3.3.1 Zahlenbeispiel

Die Anzahl Feuersalamanderlarven (N) im Frühjahr 2017 der Bachstelle 12 wird geschätzt:

$$Z = 34, 16, 5$$

$$p = 0.189$$

$$N = ?$$

$$\therefore E(Z) = ((34 + 16 + 5) / 3) = 18.333\dots$$

$$E(Z) = N * p \quad | \text{ nach } N \text{ umformen}$$

$$N = (E(Z)) / p$$

$$N = (18.333\dots / 0.189) = 97.001\dots \approx \underline{97} \text{ Feuersalamanderlarven} \quad | \text{ Zahlen einsetzen}$$

Schätzungsweise enthielt Bachstelle 12 im Frühjahr 2017 97 Feuersalamanderlarven.

Alle Daten wurden am 17.09.2017 an die KARCH übermittelt (über Dr. Benedikt Schmidt, KARCH, UZH), einschliesslich Angaben zu erfolglosen Suchen nach geeigneten Bachstellen (siehe 8.3 Erfolgreiche Suchen).

Das letzte Resultat: Von März bis Juli 2017 wurden keine Fische in den 16 Bachstellen gesichtet.

4. Diskussion

Die Feldarbeit erfolgte wie geplant und lieferte die nötigen Resultate. Wie bei einer Feldarbeit zu erwarten, stellten sich viele Hindernisse. Das grösste Hindernis war die Suche nach geeigneten Bachstellen. Die erfolgreiche Suche nach Feuersalamanderlarven benötigte Datenbankauszüge der Umweltberatungsfirma Hintermann & Weber AG und der KARCH. Waren diese Kontaktaufnahmen mit Umweltbüros zwangsläufig nötig? Möglicherweise, denn schliesslich geht die Verbreitung des Feuersalamanders in der Schweiz seit 2005 unerklärt zurück (vgl. BAFU, 2005, S. 42). In der Niederlande ist er bereits vom Aussterben bedroht (vgl. van der Sluijs, 2013, S. 233). In beiden Fällen wurde der Chytridpilz *Batrachochytrium dendrobatidis* als Ursache vermutet. Schliesslich bewirkt er das globale Massensterben von Amphibienarten mit: Über Jahrmillionen entwickelte er sich in Asien, wobei einige asiatische Amphibienarten mit ihm koexistieren können. Europäische Amphibien sind hingegen für die pathogene Wirkung des Hautpilzes anfällig (vgl. Martel, 2014, S. 630). In der Schweiz legt der Chytridpilz vor allem Geburtshelferkröten lahm, indem Porenverstopfung zu Erstickung führt (gemäss Schweizer Onlineportal für Natur- und Umweltschutz, siehe 7.2 Elektronische Quellen). Allerdings wurde 2013 ein zweiter Hautpilz, der *Batrachochytrium Salamandrivorans*, entdeckt und als Ursache des niederländischen Feuersalamandersterbens bestätigt (so KARCH-Leiterin Silvia Zumbach im Gespräch am 13.01.18). Diese neu entdeckte Gefahr für Schweizer Feuersalamander wird hier nicht weiter behandelt, vielmehr sind die Resultate der Feldarbeit von Interesse.

4.1 Diskussion der Resultate

4.1.1 Diskussion Zählungen

Bei Monitoring-Feldarbeiten macht man die Annahme, die Grösse der Population (in diesem Fall alle gesichteten Feuersalamanderlarven von allen Bachstellen) ist geschlossen, so Dr. Benedikt Schmidt im Gespräch am 9. August. Auf diese Feldarbeit bezogen heisst das, die höchste Individuenzahl liegt zu Beginn der Beobachtungszeit, im April. Folglich kann diese Zahl im Verlaufe der Zeit durch Prädation, Nahrungsmangel und weiteres nur abnehmen. Weiter schliesst man ein Wachstum der Populationsgrösse durch Neugeburten oder zuge driftete Individuen aus. Daher wird beim Vergleich der Sichtungszahlen im Verlaufe der Zeit eine Abnahme erwartet. Die Sichtungszahl sollte von der ersten zur zweiten Sichtung abnehmen und von der zweiten zur dritten Sichtung weiter sinken. Allerdings fällt beim Betrachten der Abbildung 9 (siehe 3.2.1 Zählungen) sofort auf, dass eine kontinuierliche Abnahme der gesichteten Anzahl Feuersalamander nicht vorliegt. Ganz im Gegenteil: Die dritte Sichtungszahl der Bachstelle 7 liegt höher als die erste Sichtungszahl. Ausserdem liegt bei über einem Drittel der Bachstellen die zweite Sichtungszahl höher als die erste. Weshalb? Wir wissen, dass die Weibchen ihre Larven im Frühjahr im Absetzgewässer absetzen. Auch wissen wir, dass der Zeitpunkt, in der sich das Weibchen für das Absetzen ihrer Larven entscheidet, stark von abiotischen Faktoren abhängt (vgl. Thiesmeier, 1992, S. 22). Nun ist es sinnvoll, dieser Information Acht zu schenken. Dementsprechend muss das Schweizer Klima des Frühjahrs 2017 berücksichtigt werden. Folgende Informationen sind aus dem online frei zugänglichen MeteoSchweiz-Blog entnommen und stark zusammengefasst (siehe 7.2 Elektronische Quellen). Die Aussagen beziehen sich auf die Schweiz, wobei die Beobachtungen des Junis europaweit gelten:

Der Winter 2016 / 2017 erwies sich als niederschlagsarm und allgemein trocken. Im Norden der Schweiz bot Januar 2017 die tiefsten Mittelwerte seit 30 Jahren. Danach folgte ein milder Februar, vielerorts lag die Temperatur mehrere Grad Celsius über den Durchschnitt der letzten Jahrzehnte. Diese Wärme blieb im März und es herrschte „aussergewöhnliche Trockenheit“. Trotz Trockenheit sorgten Temperaturhöhen für ungewöhnlich schnelle Vegetationsentwicklung. Die zweite Monathälfte des Aprils dämpfte die Wärme des

Frühlings mit Nachtfrost und Schneefall. Fast bis Ende Mai hielt die Kühle an, doch Ende Mai stiegen die Temperaturen stark an. Es folgte schweizweit der zweit heisseste Juni seit Messbeginn, eine Folge des Klimawandels, woraufhin die kräftigen Gewitter des Julis für lang ersehnte Abkühlung sorgten.

Diese Informationen zur Kenntnis genommen, ist eine Verknüpfung zum Wissen über den Feuersalamander möglich. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, sind Amphibien von Trockenheit gefährdet. Kurzum, ohne Zuflucht und Regen trocknen sie aus. Die gefährliche Trockenheit ist temperaturunabhängig, das heisst, ein trockener Winter ist ebenso zu meiden wie ein trockener Sommer. Die in der Schweiz lebenden Feuersalamanderweibchen mussten also nach einem trockenen Winter ein trockenes Frühjahr navigieren. Als Folge dieser klimatischen Umstände ist es möglich, dass gewisse Feuersalamanderweibchen das Absetzen ihrer Larven hinausgezögert haben, um einerseits eigene Aussetzung gegen die Trockenheit zu meiden und andererseits ihren Jungen bessere Überlebenschancen zu gewähren. Trocknet das Absetzgewässer aus, so verlieren die Feuersalamanderlarven ihr Biotop. Ob eine Larve in einem fortgeschrittenen Stadium gegen das Austrocknen des Gewässers die Metamorphose als Notfalllösung frühzeitig eingleisen kann, ist unbekannt. Bei einer frisch abgesetzten Larve ist diese Vorstellung auszuschliessen. Sprich, setzt die Mutter ihre Larven während einer Trockenzeit ab, woraufhin das Absetzgewässer austrocknet, so sterben alle frisch abgesetzten Larven.

Nun, bei der zweiten Sichtung wurden durchschnittlich mehr Feuersalamanderlarven als bei der ersten Sichtung gesichtet. Zwei mögliche Erklärungen dieser Tatsache sind in Erwägung zu ziehen:

- A) Viele junge, kleine Feuersalamanderlarven wurden während der ersten Sichtung übersehen, um dann während der zweiten Sichtung erfasst zu werden. — Dies an vielen Bachstellen gleichzeitig.
- B) Einige Feuersalamanderweibchen haben aus oben genannten klimatischen Gründen das Absetzen ihrer Larven hinausgezögert, die Larven dieser Weibchen wurden vorwiegend erst ab der zweiten Zählung erfasst.

Mit hoher Wahrscheinlichkeit wurden viele Larven anfänglich übersehen. Alle konnten gleichzeitig übersehen werden, weil alle anfänglich klein waren. Somit erklärt A) wahrscheinlich einen Grossteil der Zunahme an Sichtungszahlen von der ersten zur zweiten Zählung. Eine umfangreichere Erklärung des Anstiegs könnte neben A) auch B) beinhalten. In B) wird das Schweizer Klima im Frühjahr 2017 in Bezug auf die Lebensweise des Feuersalamanders berücksichtigt. Ein verspätetes Absetzen wäre bei den derzeit herrschenden Bedingungen denkbar.

4.1.2 Diskussion Höhe

Die untersuchten Bachstellen liegen über mehrere Fricktaler Dörfer verteilt. Das Fricktal liegt im Schweizer Jura, einige Bachstellen liegen sogar im sogenannten Jurapark (diejenigen, der Gemeinden Herznach, Zeihen und Densbüren). Typisch für das Schweizer Jura sind weite Hügellandschaften (siehe Abbildung 4 in 1. Einleitung), unterscheidbar in sogenanntes Tafel- und Kettenjura. Tiefen und Höhen sind eng aneinander, demnach gibt es mancherorts relativ grosse Höhendifferenzen. Für die Feuersalamander des Juras bedeutet das ein topografisch vielfältiges Habitat: Unterschiedliche Höhen, Sonnen- und Schattenstellen, natürliche Windkanäle sowie starke und weniger starke Neigungen. Gewiss existieren Abhängigkeiten zwischen dieser Topografie und dem Verhalten des Feuersalamanders. Grundlegende Überlegungen sind folgende: Wenn ein Feuersalamanderweibchen ihre Larven weit oben im Bach absetzt, ist, da Fische selten in Quellennähe leben, die Distanz zu grösseren Räubern in der Regel grösser. Eine Kehrseite dieses höheren Absetzens ist die

höhere Larvendrift, da die Fliessgeschwindigkeit in seichten, schmalen, quellennahen Bachabschnitten bei Regen stärker zunimmt, als in tieferen, breiteren Gewässern im Tal. Höhenmässig tieferes Absetzen riskiert erhöhte Chance auf Fischvorkommen. Zudem werden die Larven in dauerhaft stärker fliessenden Bachstellen ausgesetzt. — Ob das Letztere vorteilhaft oder nachteilig ist, lässt sich streiten. Diesen Überlegungen nach ist es vorstellbar, Feuersalamanderweibchen würden eher höher gelegene Absetzgewässer bevorzugen. Letztendlich muss eine wichtige Unterscheidung gemacht werden: Wegen Larvendrift ist die Höhe, auf der die Feuersalamanderlarve gesichtet wird, nicht zwingend die Höhe des korrelierenden Absetzgewässers. Nun, Bachstellenhöhe und gesichtete Anzahl Feuersalamanderlarven wurden in 3.2.2 Höhe numerisch verglichen: Es konnte keine Korrelation zwischen Höhe der Bachstelle und gesichtete Anzahl Feuersalamanderlarven befunden werden. Diese Aussage ist natürlich nicht allgemeingültig, sie trifft auf die untersuchte Höhenbreite (400 bis 530 m. ü. M.) zu und dies auf das Frühjahr 2017 im östlichen Fricktal eingeschränkt. Ob allgemein eine Unabhängigkeit zwischen Anzahl Feuersalamanderlarven und Gewässerhöhe besteht, bedürfte weiterer Studien. Ebenfalls bedürfte die Frage nach einer Unabhängigkeit zwischen Höhe und Wahl des Absetzgewässers vom Feuersalamanderweibchen weitere Studien. Die Evaluierung wird vereinfacht, indem Sichtungshöhe und Absetzgewässer-Höhe gleichgesetzt werden. Dieser Gleichsetzung folgend wagt sich die Induktion: Die Feuersalamanderweibchen des Fricktals setzen ihre Larven ohne Höhenpräferenz ab.

4.1.3 Diskussion Kalendermonat und Wassertemperatur

Der Graf in Abbildung 11 sieht dem Grafen in Abbildung 12 verblüffend ähnlich (siehe 3.2.3 Kalendermonat und 3.2.4 Wassertemperatur). Die Form der beiden Grafen ist nahezu identisch. Der Erste vergleicht die gesichtete Anzahl Feuersalamanderlarven im Zeitverlauf. Der Zweite vergleicht durchschnittliche gemessene Wassertemperaturen im Zeitverlauf. Die x-Achse beider Grafen ist Zeit in Kalendermonate: April, Mai, Juni und Juli. Im April war das Wasser am kältesten und im Durchschnitt wurden wenig Feuersalamanderlarven gesichtet. Im Mai stieg die Wassertemperatur und im Durchschnitt wurden mehr Feuersalamanderlarven gesichtet. Im Juni war das Wasser am wärmsten, der Sichtungsdurchschnitt am höchsten. Im Juli unterscheiden sich die Grafen trotz einer weiteren Gemeinschaft erstmals markant. Beide Werte nehmen zwar im Vergleich zum Juni ab, doch während die Wassertemperatur nur leicht sinkt, stürzt der Sichtungsdurchschnitt auf seinen Tiefstwert. Nun, um das Gegebene zusammenzubringen: Zwei Vergleiche mit einem gemeinsamen Nenner zeigen denselben Anstieg. Die Diskussion dieser Gemeinsamkeit ist in 4.1.4 Diskussion Sichtungszahl und Wassertemperatur nachschlagbar. Vielmehr von Interesse hier sind mögliche Gründe für die Trends in Abbildungen 11 und 12.

Die Temperatur ist weniger erstaunlich, einen Anstieg gegen Jahresmitte ist zu erwarten, selbst wenn die Rekordwerte des Junis (siehe 4.2.1 Diskussion Zählungen) unerwartet waren. Viel auffälliger ist die Tendenz der steigenden durchschnittlichen Sichtungszahlen. Wie in 4.1.1 Diskussion Zählungen behandelt, erwartet man im April die höchste Anzahl Feuersalamanderlarven. Ab Ende April sollte diese Zahl kontinuierlich sinken, bis der Tiefstwert im Juli erreicht ist. Der Tiefstwert ist tatsächlich im Juli, nur nahm — ganz im Gegensatz zur Theorie — die gesichtete Anzahl Feuersalamanderlarven von April bis Juni kontinuierlich zu. In 4.1.1 Diskussion Zählungen wurde vorgeschlagen, die Feuersalamanderweibchen hätten das Absetzen ihrer Larven ungewöhnlich lange hinausgezögert. Doch diese Erklärung genügt nicht. Denn, wären die Feuersalamanderlarven spät abgesetzt worden, müssten sie das Wasser entsprechend spät verlassen haben und folglich im Juli in der jeweiligen Bachstelle zahlreich sichtbar sein. Allerdings wurden im Juli wie erwähnt die Wenigsten gesichtet. Entweder ist also die Erklärung des späten Absetzens falsch oder unvollständig. Wie kann die gesichtete Anzahl Feuersalamanderlarven vom Höchstwert abrupt auf den Tiefstwert fallen? Wiederum weisen abiotische Faktoren auf eine mögliche Antwort: Larvale

Feuersalamander sind per definitionem aquatische Tiere. Die Wassertemperaturen des Junis waren ausserordentlich hoch, ihre Umgebung war ausserordentlich heiss. Nun, pro 10 °C Temperaturanstieg der Umgebung verdoppelt sich die Reaktionsgeschwindigkeit eines chemischen Prozesses (Arrhenius-Gleichung, † 1927). Innerhalb einer Feuersalamanderlarve zielen alle chemische und biologische Prozesse auf die Metamorphose hin, der Wechsel vom aquatischen zum terrestrischen Leben. Sofern die nötigen Prozesse vollendet sind, kann eine Feuersalamanderlarve ihr Gewässer verlassen. Die Literatur bestätigt: „Die Dauer der Larvalphase ist in hohem Masse von der Wassertemperatur (...) abhängig. (...) Die Verknüpfung zwischen Dauer der Larvalphase und Wassertemperatur ist für wechselwarme Amphibienlarven hinreichend belegt“, so Burkhard Thiesmeier (vgl. Thiesmeier, 1992, S. 37).

Im östlichen Fricktal waren die Wassertemperaturen des Junis 2017 hoch genug, um larvale Prozesse stark zu beschleunigen. Möglicherweise wurde die Metamorphose vieler Feuersalamanderlarven zeitlich vorgezogen. In diesem Fall wanderten viele Feuersalamanderlarven im Juni aus ihren Gewässern und wurden infolgedessen im Juli nicht gesichtet. Deshalb könnte die tiefste Sichtungszahl der höchsten folgen. Dies als Vervollständigung der These des späteren Absetzens.

4.1.4 Diskussion Sichtungszahl und Wassertemperatur

Bemerkenswert in Abbildung 13 ist die grosse Wassertemperaturbreite, in der Feuersalamanderlarven gesichtet wurden. Das kältere Ende dieser Breite ist 7.6 °C, das wärmere 26.6 °C. Natürlich ist diese Temperaturtoleranz gewissermassen selbstverständlich, schliesslich hängt das Überleben der Art davon ab. Trotzdem zeigt diese Beobachtung, wie jedes Feuersalamander-Lebensstadium spezifische Anpassungen erfordert.

Eine Abhängigkeit zwischen gesichtete Anzahl Feuersalamanderlarven und Wassertemperatur ist durchaus zu erwarten. Man erwartet hohe Sichtungszahlen bei tiefen Temperaturen und tiefe Sichtungszahlen bei hohen Temperaturen. Grund ist schlichtweg die natürliche Temperaturänderung im Jahreszyklus. Feuersalamanderlarven werden im Frühjahr zu kälteren Zeiten zahlreich abgesetzt, die Wassertemperaturen sind tief. Sie verlassen das Wasser zu wärmeren Zeiten gegen Jahresmitte, die verbleibende Anzahl im Wasser sinkt, die Wassertemperaturen sind hoch. Hohe Sichtungszahlen sind bei kälteren Temperaturen zu erwarten, tiefe Sichtungszahlen sind bei wärmeren Temperaturen zu erwarten. Diese Erwartung wird in Abbildung 13 bestätigt: Die Punktdichte ist höher in der unteren Hälfte der Temperaturskala.

4.1.5 Diskussion Tageszeit

Wie in der Einleitung behandelt, sind Feuersalamanderlarven nachtaktiv. Tagsüber finden sie unter Falllaub, Steinen und in sonstigen Strukturen Zuflucht. Insofern ist Abbildung 14 keine Angabe der Tagesaktivität, weil die inaktiven Larven aktiv gesucht werden mussten. Eine Auswertung der Aktivität würde einen regelmässigen Besuch derselben Bachstelle erfordern. Alle Bachstellen als einzige zu behandeln, die 48 Mal besucht wurde, wäre falsch. Ebenfalls sind Aussagen über Sichtungszahl und Tageszeit mit äusserster Vorsicht zu behandeln. In wenigen Worten: Abbildung 14 zeigt, dass die aktive Suche nach Feuersalamanderlarven tagsüber zu gleichmässig tiefen Durchschnittswerten führte, während der Sucherfolg nach 20:00 Uhr grösser war. Dieser Anstieg könnte kausal mit der Aktivität der Feuersalamanderlarve zusammenhängen, ist jedoch ungewiss. Infolgedessen sind die Resultate der Abbildung 14 weniger aussagekräftig.

4.1.6 Diskussion Waldtyp

Sieben Bachstellen lagen im Laubwald, sechs in exponierten Stellen und drei im Nadelwald. Der Nadelwald ist zahlenmässig weniger stark vertreten. Was die Resultate nicht zeigen, sind erfolglose Suchen nach Bachstellen im Nadelwald. Im Anhang sind diese in 8.3 Erfolglose Suchen qualitativ vermerkt. Auf der Laub/Nadelholz Region Herznach Karte (siehe Abbildung 7) sind Nadelholzzonen, beziehungsweise Nadelwälder dunkelgrün gefärbt. Östlich von Oberherznach fällt eine grosse, vorwiegend dunkelgrüne Waldfläche auf. Westlich von Oberherznach ist eine weitere vorwiegend dunkelgrüne Waldfläche. Diese beiden Waldflächen gelten als Nadelwälder. — Zur Feststellung genügt ein kurzer Spaziergang unter ihren hochragenden Nadelbäumen. Nun, während des Aufgleisen der Feldarbeit wurden diese Nadelwälder stundenlang nach Bachstellen mit Feuersalamanderlarven durchsucht. Die Suche blieb erfolglos. Weder im März noch im April wurden in diesen Waldflächen Feuersalamanderlarven entdeckt (siehe 8.3 Erfolglose Suchen). Die kleine Anzahl Nadelwald-Bachstellen mit Feuersalamanderlarven ist relevant, weil es auf eine vom Feuersalamander ausgehende Abneigung gegen Nadelwälder hindeutet. Bisher konnte diese Abneigung wissenschaftlich nicht ausreichend bewiesen werden, doch dieses Phänomen ist weit bekannt und bedarf weiterer Forschungsarbeit (so Dr. Benedikt Schmidt im Gespräch am 9. August). Die tiefe durchschnittliche Sichtungszahl von 5 Feuersalamanderlarven in Nadelwald-Bachstellen würde die Abneigungs-These unterstützen (siehe Abbildung 15). Jedenfalls scheinen exponierte oder im Laubwald liegende Gewässer beliebter zu sein. Ihre durchschnittlichen Sichtungszahlen sind immerhin das Fünffache des Nadelwald-Durchschnitts. Weshalb? Die Waldböden von Laub- und Nadelwäldern haben unterschiedliche pH-Werte. Das aargauische kantonale Bodenbeobachtungsnetz (KABO) schrieb 2002: „Je tiefer der pH-Wert, das heisst je saurer der Boden ist, desto höher ist der Anteil der löslichen Schadstoffgehalte. (...) Besonders bei der Zersetzung von Nadeln (...) ist die Produktion organischer Säuren erhöht. (...) Bei pH-Werten unter 3,5 bis 4 sind in der Regel kaum noch Regenwürmer in Waldböden zu finden. Bakterien (...) sind kaum noch aktiv. Saure Böden sind zudem meist arm an pflanzenverfügbaren Nährstoffen (...)“ In Anbetracht dessen, dass Würmer zur Ernährung des Feuersalamanders gehören, scheinen saure Böden, wie sie im Nadelwald sind, für den Feuersalamander ungünstig zu sein. Somit könnte der Säuregehalt des Waldbodens die seltenen und tiefen Sichtungszahlen in Nadelwäldern erklären. Ein weiterer möglicher Ansatz, um den Laubwald-Nadelwald Unterschied zu erklären, hängt mit der Flora zusammen. Fichten zum Beispiel haben hauchdünne Nadeln. Fallen diese Nadeln ins Absetzgewässer, gewähren sie einer Feuersalamanderlarve wenig Schutz. Falllaub einer Buche hingegen bietet wesentlich grössere Deckung. Daher ist es möglich, dass für den larvalen Lebensabschnitt eines Feuersalamanders Laubwälder über Nadelwälder bevorzugt sind. Zwar ist diese Erklärung einleuchtend, aber wiederum zurzeit unzureichend wissenschaftlich belegt.

Die obigen Überlegungen umfassen den hohen Sichtungsdurchschnitt in exponierten Bachstellen nicht. Dieses Resultat war unerwartet, weil exponierte Bachstellen oft, wie der Name schon sagt, der Witterung ausgesetzt sind. Um diesen Umgebung besser einzuschätzen, ist eine bisher noch unerwähnte Quelle notwendig. Eine Semesterarbeit der Universität Zürich untersuchte die Beziehung zwischen Bebauung einer Bachstelle und der Abundanz der darin gesichteten Feuersalamanderlarven. Vier Bebauungsstufen wurden unterschieden: Keine, leichte, mittlere und starke Bebauung. Das heisst, vom natürlichen Fliessgewässer bis zum betonierten, begradigten Bach, ohne natürliche Uferstrukturen. Es konnte gezeigt werden, dass stärker bebaute Bäche eine kleinere Dichte an Feuersalamanderlarven enthalten. Interessanterweise enthielten alle Bebauungsstufen in der Studie ähnliche Dichten, mit Ausnahme der starken Bebauungsstufe: In stark bebauten Bachstellen wurden keine Feuersalamanderlarven gesichtet. Der Grund dafür liegt darin, dass stark bebaute Bäche ohne Uferstrukturen allgemein wenige bis gar keine Kolken enthalten. Hingegen enthalten natürliche Bäche mit vielfältigen Uferstrukturen viele Kolken (vgl. Müller, 2016, S. 5, 6, 7, 10). Eine Kolke bietet einer Feuersalamanderlarve viele Vorteile. Eines davon ist die Prävention von Larvendrift, da

Fliessgeschwindigkeiten in Kolken per definitionem tief sind. Um das Erwähnte mit dieser Arbeit in Verbindung zu setzen, gilt zu sagen, dass keine der untersuchten exponierten Bachstellen stark bebaut war. Höchstens eine kurze Strecke der Bachstelle 4 tendierte zur kompletten Bebauung. Vor allem in Bachstelle 11 waren diverse, annähernd natürliche Uferstrukturen erkennbar. Obwohl Bachstelle 11 wenige Kolken beinhaltete, genossen die darin lebenden Feuersalamanderlarven viele ufernahe, ruhige Wasserstellen. Einige exponierte Bachstellen enthielten zwar Kolken (beispielsweise Bachstellen 12 und 13), doch die Anzahl wurde nicht explizit vermerkt. Kurz gefasst sind die exponierten Bachstellen dieser Arbeit nicht mit stark bebauten Bachstellen gleichzusetzen. Im Gegenteil, einige exponierte Stellen waren dicht umwachsen und tendierten zu natürlicher Beschaffenheit. Dass die zwei höchsten Sichtungszahlen in exponierten Bachstellen gezählt wurden, ist von hohem Interesse. Der Feuersalamander ist zu Larvalphasen in Siedlungsgebieten fähig, sofern saubere, naturnahe Gewässer vorliegen. Für eine Feuersalamanderlarve ist die Struktur im Bach wichtiger als die Umgebung. Letztendlich bieten ruhige Bachstellen im Siedlungsgebiet sichere Auffangbecken für Larven, die durch begradigte Bachabschnitte und Wasserrohre hindurchgespült wurden (Larvendrift). Ein solches Auffangen konnte in Bachstellen 10 und 11 mehrmals beobachtet werden.

4.1.7 Diskussion Exposition

Auffällig an der Auswertung von Abbildung 16 sind höhere Sichtungszahlen entlang der Nord-Süd-Achse als jene entlang der West-Ost-Achse. In der Schweiz erhalten südlich exponierte Stellen mehr direkte Sonnenbestrahlung als nördlich exponierte Stellen. Östlich exponierte Stellen erhalten viel Morgensonne, umgekehrt erhalten westlich exponierte Stellen viel Abendsonne. Burkhard Thiesmeier schrieb 1992 in seinem Werk *Ökologie des Feuersalamanders* auf Seite 29 ohne weitere Erklärung: „Nord- oder Südausrichtung des Bachtals sind [für die Laichwanderung des Feuersalamanderweibchen] von Bedeutung“. Laut dieser Aussage hat geografische Ausrichtung Einfluss auf die Laichwanderung der Mutter, und deshalb einen indirekten Einfluss auf die Anzahl Feuersalamanderlarven in einer Bachstelle. Als Amphibien sind Feuersalamander für ihre Körperwärme massgeblich von der Umgebungstemperatur abhängig. Demnach ist Wassertemperatur für die Entwicklung der Feuersalamanderlarve ausschlaggebend. Ein durchschnittlich wärmeres Gewässer ist entwicklungsstechnisch für eine Feuersalamanderlarve von Vorteil. Da südlich exponierte Stellen von viel direkter Sonnenbestrahlung profitieren, könnten südlich exponierte Bachstellen tendenziell wärmer als nördlich exponierte sein. Natürlich führt dichtes Blattwerk zu Schattenstellen, was solare Erwärmung des Gewässers beeinträchtigt. Trotz allen Überlegungen deuten die Befunde auf eine Unabhängigkeit zwischen Exposition und Anzahl Feuersalamanderlarven der Bachstelle. Die Exposition sollte keineswegs leitender Faktor in der Suche nach Feuersalamanderlarven sein.

4.2 Diskussion Resultate R

Die geschätzte Antreffwahrscheinlichkeit ist klein. Für den zeitlichen und geografischen Raum der Feldarbeit beträgt sie 18.9 %. Demnach hätte jede fünfte Suche nach Feuersalamanderlarven erfolgreich sein müssen. Erwartungsgemäss hängt die Antreffwahrscheinlichkeit vom Suchdatum ab. Allerdings war die höchste Antreffwahrscheinlichkeit vermutlich gegen Jahresmitte und nicht gegen Jahresbeginn. Natürlich ist die Gesamtdauer der Untersuchung entscheidend für die Antreffwahrscheinlichkeit. Wiederholte Suchen nach Feuersalamanderlarven zwischen April und September führen zwangsläufig zu mehr Null-Messungen, als jene zwischen April und Juni. Würden die Null-Messungen des Julis nicht berücksichtigt werden, wäre die Antreffwahrscheinlichkeit höher. Dies mag offensichtlich sein, ist jedoch insofern relevant, weil kleine Antreffwahrscheinlichkeiten die Anwendung der Formel $E(Z) = N * p$ erschweren. Da sie umgeformt $N = (E(Z)) / p$ lautet, führen kleine p Werte zu sehr hohen Echtwerten. „Problematisch ist die Situation insbesondere dann, wenn die p klein sind.“ (vgl. Schmidt, 2008, S. 3). Um mögliche Abweichungen des

wahren N Resultats zu verdeutlichen, schlagen Biostatistiker folgende Lösung vor: $N = Z / p$, wobei N und p Schätzwerte sind (vgl. Schmidt, 2008, S. 3). Ein Zahlenbeispiel mit den Sichtungszahlen der Bachstelle 3 und der kleinen Antreffwahrscheinlichkeit:

$$Z = ((20 + 114 + 64) / 3) = 67$$

$$N = (Z / p) = (67 / 0.189) = \underline{354} \text{ Feuersalamanderlarven}$$

Es ist unwahrscheinlich, dass Bachstelle 3 jemals 354 Feuersalamanderlarven beherbergte. Wenn jedes Feuersalamanderweibchen 50 Larven abgesetzt hätte, so hätten sieben Weibchen diese Bachstelle als Absetzgewässer gewählt. Wiederum unwahrscheinlich. In diesem Fall könnte man die Schätzwerte modifizieren, um wahrscheinlichere Resultate zu erhalten. Der langen Rede kurzer Sinn: Obwohl die kleine Antreffwahrscheinlichkeit die Formelanwendung erschwert, erläutert sie die anfängliche Feldarbeit-Mühe, Feuersalamanderlarven überhaupt zu finden.

Die Abundanz stellt weniger rechnerische Probleme. Eine geschätzte Abundanz von 120 Feuersalamanderlarven pro Bachstelle ist plausibel, weil zwei Bachstellen mehr enthielten und eine solche Abundanz anderenorts nicht auszuschliessen ist. Die Abundanz hängt gemäss R von der Höhe, Exposition und vom Waldtyp ab. Interessanterweise widerspricht dieses Resultat vorige Schlüsse: Die Resultate dieser Feldarbeit deuten auf eine Unabhängigkeit zwischen Höhe oder Exposition und Abundanz. Woran diese Diskrepanz liegt ist unklar, allerdings begrenzt die bescheidene Datenmenge die Aussagekraft der R -Statistik. Immerhin stimmt folgendes mit der bisherigen Auswertung überein: Die Abundanz der Feuersalamanderlarven hängt vom Waldtyp ab.

Laut Burkhard Thiesmeier vollenden lediglich 4 % aller Feuersalamanderlarven die Metamorphose, die sogenannte Emergenz beträgt 4 % (vgl. Thiesmeier, 1992, S. 83 ff.). Obwohl er weitere Vorhersagen wagt, sind diese aufgrund der grossen Trockenheit des Schweizer Frühjahrs 2017 kaum anzuwenden. Nun, jede Bachstelle enthielt geschätzte 120 Feuersalamanderlarven. Die Rechnung lautet:

$$120 * 16 * 0.04 = 76.8 \approx \underline{77} \text{ Feuersalamanderlarven}$$

Aus dem untersuchten Gebiet werden rund 80 juvenile Feuersalamander hervortreten. Wieviele sich davon während den nächsten 20 Jahren erfolgreich fortpflanzen werden ist ungewiss.

5. Fazit

Urbane Bäche sind geeignete Lebensräume für Feuersalamanderlarven, sofern die Bachstruktur naturnah gestaltet ist. Naturnah bedeutet eine vielfältige Uferstruktur samt Ruhigstellen wie Kolken. Ist dieses Kriterium erfüllt, erhalten Feuersalamanderlarven ihre nötigen Rückzugsorte und das Nahrungsangebot ist gedeckt. – Grüne Uferstrukturen bieten Lebensraum für Wasserinsekten und ähnliche Kleintiere. Da fünf Bachstellen dieser Studie von Häusern umgeben waren (10, 11, 12, 13 und 15), sammelten sich während den Zählungen zeitweise Zuschauer am Ufer. Des Öfteren fragten Kinder im Primarschulalter neugierig über den Feuersalamander nach, während die Suche nach seinen Larven vor ihren Augen stattfand. Ihre Begeisterung wuchs, als sie bei der Zählung gelegentlich aushelfen durften. Ihre ursprüngliche Neugier ist nicht zu unterschätzen. Schliesslich ist das Mandat der Stiftung Schweizer Jugend forscht (SJf), Kinder und Jugendliche auf ihre Umwelt neugierig zu machen. Neugier und Interesse führen zu Hilfsbereitschaft. Letzten Endes erleichtert eine unterstützende Bevölkerung die Umsetzung von Schutzmassnahmen. Die Pflege des Feuersalamanders ist auch für den Menschen von Nutzen. Weil Feuersalamanderlarven zwingend sauberes Wasser benötigen, sind sie in gewissem Masse eine Zeigerart. Ihr Vorkommen bestätigt eine gesunde Wasserqualität und trägt allgemein zur Biodiversität bei. Schon 1992 schrieb Burkhard Thiesmeier, eine sinnvolle Raumgestaltung sei für das Überleben des Feuersalamanders unentbehrlich (vgl. Thiesmeier, 1992, S. 113 f.). Die Beobachtungen dieser Studie bestätigen die Anpassungsfähigkeit des Feuersalamanders an urbane Gebiete.

Bezüglich Lebensraum hat diese Studie gezeigt, dass Laubwälder für die Larvalphase des Feuersalamanders bevorzugt sind. Naturnahe Dorfbäche mit vielfältigen Uferstrukturen werden ebenfalls bereitwillig als Absetzgewässer gewählt. Hingegen setzen Feuersalamanderweibchen ihre Larven seltener unter Nadelbäumen ab. Im Schweizer Jura hat Höhe keinen Einfluss auf die Wahl des Absetzgewässers vom Feuersalamanderweibchen. Die geografische Ausrichtung des Gewässers ist für die Abundanz der Feuersalamanderlarven ebenfalls weitgehend unbedeutend.

Die grosse schweizweite Trockenheit des Jahres 2017 liess die Feuersalamanderweibchen des östlichen Fricktals ihre Larven ungewöhnlich spät gegen Jahresmitte absetzen. Daraufhin metamorphosierten viele Feuersalamanderlarven frühzeitig, weil die hohen Wassertemperaturen des Junis Extremwerte erzielten. Diese Extremwerte sind, wie bereits erwähnt, Folgen des Klimawandels: „In einer aktuellen Studie der World Weather Attribution (WWA) Gruppe, mit Unterstützung des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, wurde der Einfluss des Klimawandels auf die [schweizweite] Hitze im Juni 2017 untersucht [und bestätigt].“, so MeteoSchweiz in einem Blogbeitrag Ende Juni (vgl. 7.2 Elektronische Quellen). In der Schweiz werden deshalb späte Absetzzeiten des Feuersalamanders zunehmen. Gewiss ermöglichen hohe Wassertemperaturen eine kürzere Larvalphase, doch gleichzeitig steigt die Wahrscheinlichkeit auf Verdunstung und Austrocknung des Gewässers, was die Feuersalamanderlarven wiederum gefährdet. Umso wichtiger also, dass dem Feuersalamander in Zukunft urbane, vor Austrocknung geschützte, naturnahe Bäche zur Verfügung stehen.

Nicht zuletzt gingen alle erhobenen Daten an die KARCH, einschliesslich den Angaben zu erfolglosen Suchen nach geeigneten Bachstellen (siehe 8.3 Erfolgreiche Suchen). Weil diese Arbeit eine Ersterhebung ist, setzen die übermittelten Daten einen Nullwert. Mit diesem Bezugspunkt ist Monitoring des Feuersalamanders fortan auch in der Umgebung Herznach möglich.

6. Dank

In erster Linie möchte ich Dr. Benedikt Schmidt, KARCH-Mitarbeiter und Gruppenleiter der Universität Zürich im Institut für Evolutionsbiologie und Umweltwissenschaften, für die tatkräftige Unterstützung danken. Seine Maturarbeit-Patenschaft war von Anfang bis Ende unschätzbar wertvoll. Von der Wahl der Methode, über Literaturhinweise, bis zu Einzelheiten der Auswertung stand er mit Antworten bereit. Seine Hilfsbereitschaft ermöglichte eine spannende Forschungsarbeit. Ein weiterer Dank geht allgemein an die Koordinationsstelle für Amphibien- & Reptilienschutz in der Schweiz (KARCH), ihr Datenbankauszug beschleunigte die Suche nach Feuersalamanderlarven. Natürlich ist in diesem Punkt auch der Umweltberatungsfirma Hintermann & Weber AG, insbesondere ihrem Projektleiter Christoph Bühler, zu danken. Auch ihr Datenbankauszug ermöglichte eine effizientere Suche nach Feuersalamanderlarven. Für das Erstellen und für die Zustellung des notwendigen Kartenmaterials danke ich Iris Wehrli der Abteilung Wald des Kanton Aargaus. Die genaue Waldbestimmung wäre ohne dieses Kartenmaterial unmöglich gewesen. Ferner danke ich dem Forstbetrieb Gebenstorf und Turgi, sowie dem Forstbetrieb Homberg-Schenkenberg für ihre Hilfe bei der Suche nach geeignetem Kartenmaterial. Nicht zuletzt danke ich meinem Betreuer, Dr. Benno Wullschleger der Fachschaft Biologie der Neuen Kantonsschule Aarau, für seine Beratung während des gesamten Arbeitsprozesses. Seine Betreuung half mir, das Ziel vor Augen zu halten.

7. Quellen

7.1 Schriftliche Quellen

- BAFU (2017). Biodiversität in der Schweiz: Zustand und Entwicklung. Ergebnisse des Überwachungssystems im Bereich Biodiversität, Stand 2016. *Umwelt-Zustand Nr. 1630: 60 S.* Bern: Bundesamt für Umwelt.
- BAFU (2011). Liste der Nationalen Prioritären Arten. Arten mit nationaler Priorität für die Erhaltung und Förderung, Stand 2010. *Umwelt-Vollzug Nr. 1103: 132 S.* Bern: Bundesamt für Umwelt.
- BAFU (2005). Rote Liste der gefährdeten Amphibien der Schweiz. *Vollzug Umwelt: 48 S.* Bern: Bundesamt für Umwelt.
- BVU AG. (2010). *Waldinventar Aargau. Ergebnisse der Stichprobenaufnahmen.* Aarau: Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Wald.
- Dosch, O. (2017). *Habitat complementation in a salamander with a complex life cycle.* Masterarbeit, Universität Zürich.
- KABO AG (2002). *Sondernummer 12 Februar 2002.* Umwelt Aargau.
- Keller, C. R. (2016). *Vergleich zweier Feldmethoden zum Monitoring von Feuersalamander-Populationen: Räumliche und zeitliche Replikationsmethoden.* Bachelorarbeit, Universität Basel.
- Kuzmin, S., Papenfuss, T., Sparreboom, M., Ugurtas, I. H., Anderson, S., Beebee, T., Denoël, M., Andreone, F., Anthony, B., Schmidt, B., Ogradowczyk, A., Ogielska, M., Bosch, J., Tarkhnishvili, D., Ishchenko, V. (2009). *Salamandra salamandra.* *The IUCN Red List of Threatened Species 2009:* e.T59467A11928351.
- Martel, A., Blooi, M., Adriaensen, C., Van Rooij, P., Beukema, W., Fisher, M.C., Farrer, R. A., Schmidt, B. R., Tobler, U., Goka, K., Lips, K. R., Muletz, C., Zamudio, K. R., Bosch, J., Lötters, S., Wombwell, E., Garner, T. W. J., Cunningham, A. A., Spitzen-van der Sluijs, A., Salvidio, S., Ducatelle, R., Nishikawa, K., Nguyen, T. T., Kolby, J.E., Van Bocxlaer, I., Bossuyt, F., Pasmans, F. (2014). Recent introduction of chytrid fungus endangers Western Palearctic salamanders. *Science, 346,* 630 - 631.
- Meyer, A., Zumbach, S., Schmidt, B., Monney, J. C. (2009). *Auf Schlangenspuren und Krötenpfaden.* Bern: Haupt.
- Miller, G. Jr., Spoolman, S. (2012). *Living in the Environment: Principles, Connections, and Solutions.* Belmont, CA: Brooks/Cole.
- Müller, A., Winter, S., Sigrist, B., Lötscher, S. (2016). *Effects of anthropogenic habitat modification on the abundance of Salamandra salamandra larvae.* Semesterarbeit, Universität Zürich.
- Schmidt, B. (2016). BIO 311: Practical Patch Occupancy Analysis. Anleitung, Universität Zürich.
- Schmidt, B. (2008). Neue statistische Verfahren zur Analyse von Monitoring- und Verbreitungsdaten von Amphibien und Reptilien. *Zeitschrift für Feldherpetologie, 15,* 1-14.
- Schmidt, B., Feldmann, R., Schaub, M. (2005). Demographic Processes Underlying Population Growth and Decline in Salamandra salamandra. *Conservation Biology, 19,* 1149-1156.
- Schmidt, B., Zumbach, S. (2003). Aktualisierung der Roten Liste der Amphibien 2002-2005, Anleitung zur Erfassung des Feuersalamanders (*Salamandra salamandra*). KARCH.
- Spitzen-van der Sluijs, A., Spikmans, F., Bosman, W., de Zeeuw, M., van der Meij, T., Goverse, E., Kik, M., Pasmans, F., Martel, A. (2013). Rapid enigmatic decline drives the fire salamander (*Salamandra salamandra*) to the edge of extinction in the Netherlands. *Amphibia-Reptilia, 34,* 233-239.
- Thiesmeier, B. (1992). *Ökologie des Feuersalamanders.* Darmstadt: Universitätsbuchhandlung.

7.2 Elektronische Quellen

- BAFU. (2017) *Pärke von nationaler Bedeutung*. Gefunden am 22.09.17 unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/landschaft/fachinformationen/landschaftsqualitaet-erhalten-und-entwickeln/landschaften-von-nationaler-bedeutung/paerke-von-nationaler-bedeutung.html>
- Duden Online-Wörterbuch. (2017) *Abundanz*. Gefunden am 02.10.17 unter <http://www.duden.de/node/687817/revisions/1172331/view>
- Duden Online-Wörterbuch. (2017) *Monitoring*. Gefunden am 22.09.17 unter <http://www.duden.de/node/714875/revisions/1361147/view>
- Jurapark Aargau. (2017) *Die grüne Schatzkammer*. Gefunden am 22.09.17 unter <http://jurapark-aargau.ch/die-gruene-schatzkammer.html>
- KARCH. (2017) *Feuersalamander-Porträt*. Gefunden am 03.04.17 unter <http://www.karch.ch/karch/de/home/amphibien/amphibienarten-der-schweiz/feuersalamander.html>
- MeteoSchweiz. (2017) *MeteoSchweiz-Blog, Kategorie Klima*. Alle Artikel vom 04.01.17 bis und mit 28.07.17, zuletzt besucht im September 2017 unter <http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/aktuell/meteoschweiz-blog/meteoschweiz-blog.html?topic=/content/meteoswiss/tags/topics/klima>
- Netzwerk Schweizer Pärke. (2017) *Die Schweizer Pärke*. Gefunden am 22.09.17 unter https://www.parks.swiss/de/die_schweizer_paerke/
- Onlinekarten Kanton Aargau, Departement Finanzen und Ressourcen (DFR). (2017) Zwischen 01.02.17 und 01.09.17 mehrmals besucht unter https://www.ag.ch/de/dfr/geoportal/online_karten_agis/online_karten.jsp
- Schweizer Portal für Natur- und Umweltschutz. (2013) *Chytridpilz legt Immunsystem lahm*. Gefunden am 22.09.17 unter <http://natureschutz.ch/news/chytridpilz-legt-immunsystem-lahm/69316>

7.4 Abbildungen und Tabellen

- Abbildungen 1, 2, 4, 17, 18 und 19 sowie das Titelbild sind eigene Aufnahmen.
- Abbildungen 5 und 6 sind Screenshots der Online Karten des Kanton Aargaus in der Browseransicht, zugänglich unter https://www.ag.ch/de/dfr/geoportal/online_karten_agis/online_karten.jsp
- Abbildung 7 ist ein Ausschnitt einer PDF-Datei, erhalten von der Abteilung Wald des Kanton Aargaus (Karte wurde digital sowie analog zugestellt)
- Abbildungen 3 und 8 sind Ausschnitte einer PDF-Datei, von <https://map.geo.admin.ch/> heruntergeladen. Die Karten wurde anschliessend im Adobe Photoshop CC 2015.5 und im Preview 9.0 bearbeitet.
- Abbildungen 6 bis 16 sind Ergebnisse der eigenen Excel-Auswertung (Version 15.24).
- Tabelle 1 wurde aus einer elektronisch zugestellten Datei der KARCH übernommen, allerdings wurden Echtdaten aus rechtlichen Gründen entfernt.
- Tabellen 2, 3 und 4 sind eigene Tabellen mit eigenen Daten.

8. Anhang

8.1 Rohdaten

8.1.1 Einmalige Erfassungen

Bachstelle	Höhe, m ü. M., 10 m genau	Exposition	Waldtyp
1	440	N	Laubwald
2	450	O	Laubwald
3	430	N	Laubwald
4	450	N	Expositus
5	460	N	Nadelwald
6	480	O	Nadelwald
7	450	O	Laubwald
8	480	O	Laubwald
9	420	S	Laubwald
10	400	W	Expositus
11	410	S	Expositus
12	450	N	Expositus
13	450	N	Expositus
14	460	W	Laubwald
15	530	S	Expositus
16	490	W	Nadelwald

Tab. 3 Einmalige Erfassungen.

Zu den einmaligen Erfassungen gehören Höhe (Mindesthöhe, auf 10 m gerundet), geografische Ausrichtung (Exposition) und Waldtyp der Bachstelle. Die Durchschnittshöhe liegt knapp über 450 m ü. M., da Bachstellen 2, 4, 7, 12 und 13 auf dieser Höhe liegen. Eine geografische Ausrichtung gegen Norden wurde sechsfach und somit am Häufigsten erfasst (Bachstellen 1, 3, 4, 5, 12 und 13). Sieben Bachstellen sind von Laubwald umgeben, sechs weitere sind ausgestellt. Die übrigen Drei sind von Nadelwald umgeben. Somit ist der Nadelwald zahlenmässig schlecht vertreten (mehr zu diesem Punkt in 4. Diskussion).

8.1.2 Mehrmalige Erfassungen

Bachstelle	1. Zählung / Wassertemperatur ± 2 °C	2. Zählung / Wassertemperatur ± 2 °C	3. Zählung / Wassertemperatur ± 2 °C
1	40 FSL / 9.5 °C	54 FSL / 15 °C	NA
2	6 FSL / 10.1 °C	0 FSL / 14.2 °C	0 FSL / 17.0 °C
3	20 FSL / 9.4 °C	117 FSL / 14.4 °C	64 FSL / 15.1 °C
4	37 FSL / 8.5 °C	9 FSL / 13.1 °C	2 FSL / 16.9 °C
5	10 FSL / 8.0 °C	9 FSL / 12.7 °C	0 FSL / 15.6 °C
6	6 FSL / 7.6 °C	2 FSL / 12.0 °C	0 FSL / 15.1 °C
7	6 FSL / 9.4 °C	15 FSL / 13.2 °C	10 FSL / 18.4 °C
8	23 FSL / 9.5 °C	16 FSL / 15.9 °C	6 FSL / 19.2 °C
9	9 FSL / 13.0 °C	0 FSL / NA	NA
10	13 FSL / 13.6 °C	60 FSL / 21.3 °C	NA
11	43 FSL / 12.4 °C	144 FSL / 22.7 °C	15 FSL / 21.4 °C
12	34 FSL / 16.5 °C	16 FSL / 26.6 °C	5 FSL / 22.8 °C
13	20 FSL / 16.5 °C	32 FSL / 25.9 °C	12 FSL / 22 °C
14	85 FSL / 16.0 °C	27 FSL / 23.6 °C	3 FSL / 21.6 °C
15	17 FSL / 16.5 °C	0 FSL / 20.7 °C	NA
16	22 FSL / 13.7 °C	0 FSL / NA	NA

Tab. 4 Mehrmalige Erfassungen. Feuersalamanderlarven mit FSL abgekürzt.

Mehrmaligen Erfassungen sind Wassertemperatur und Anzahl gesichtete Feuersalamanderlarven. Tabelle 4 legt einzelne Rohdaten dar, wiederum sind gewisse Sonderfälle zu beachten: Fließt in der Bachstelle Wasser ohne eine Sichtung einer Feuersalamanderlarve, so kann die Wassertemperatur gemäss Methode gemessen werden und die gesichtete Anzahl Feuersalamanderlarven ist gleich null (vgl. Tab. 4, Bachstelle 2, 2. Zählung). Ist jedoch Wasser nur spärlich und ohne sichtbare Feuersalamanderlarven vorhanden, so kann die Wassertemperatur nicht gemäss Methode gemessen werden und die gesichtete Anzahl Feuersalamanderlarven ist gleich null (vgl. Tab. 4, Bachstelle 9, 2. Zählung). Ist hingegen die Bachstelle komplett ausgetrocknet, so kann weder eine Zählung noch eine Temperaturmessung durchgeführt werden (vgl. Tab. 4, Bachstelle 1, 3. Zählung).

8.2 Bachstellen-Portfolios



Abb. 17 Bachstelle 5. Eigene Aufnahme, 17.07.17.

Bachstelle 5

Waldtyp: Nadelwald

Höhe: 460 m ü. M.

Exposition: N

Sichtungszahlen: 10, 9, 0 Feuersalamanderlarven



Abb. 18 Bachstelle 8. Eigene Aufnahme, 17.07.17.

Bachstelle 8

Waldtyp: Laubwald

Höhe: 480 m ü. M.

Exposition: O

Sichtungszahlen: 23, 16, 6
Feuersalamanderlarven



Abb. 19 Bachstelle 11. Eigene Aufnahme, 17.07.17.

Bachstelle 11

Waldtyp: Exponiert

Höhe: 410 m ü. M.

Exposition: S

Sichtungszahlen: 43, 114, 15

Feuersalamanderlarven

8.3 Erfolgreiche Suchen

Folgende Informationen zu erfolglosen Suchen nach geeigneten Bachstellen (die Bachstellen enthielten keine Feuersalamanderlarven zum Zeitpunkt der Begehung) wurden festgehalten und in dieser Form an die KARCH übermittelt.

Wo keine Feuersalamanderlarven gesichtet wurden:

Turgi, AG:

Am 18. April wurden im Rütibuckbächli sowie im Plattenbächli, Koord. 2661996 / 1259656, keine Feuersalamanderlarven gesichtet (beide im Wald-liegende Bachstücke gründlich untersucht, hauptsächlich ausgetrocknet).

Herznach, AG:

In der gesamten Bachgruppe des Startlebachs (Bogerugge, Chilchgrund, Sorbe, Füchsl, Eichbächli und im Eich), Koord. 2647171 / 1258475, wurden März 2017 (je mehrere Besuche) keine Feuersalamanderlarven gesichtet. Ebenfalls wurden zu dieser Zeit am Rainhof, Eggbächli, Fondlefelde und Dittere, Koord. 2645520 / 1257930 keine Feuersalamanderlarven gesichtet.

Zeihen, AG:

In der Lezidelle sowie entlang eines 100m Stücks des Zeiherbachs, Koordn. 2648095 / 1259129, wurden April 2017 (kein genaues Datum) keine Feuersalamanderlarven gesichtet.