

**EIN DOKUMENTARFILM ÜBER DEN VERGLEICH DER  
METAMORPHOSE EINES GRASFROSCHES UND EINES BERGMOLCHS**

Eine Maturitätsarbeit an der  
KANTONSSCHULE LIMMATTAL

vorgelegt von

**EVA VERSTRAETEN**

Klasse M6c

im Fach Biologie

betreut von

**Ingrid Wenk-Siefert, Dr. phil.**

Metamorphose, Vergleich, Schwanzlurche, Froschlurche

## Zusammenfassung

In dieser Maturitätsarbeit wurden die Entwicklungen zweier Amphibienarten während ihrer Metamorphose genauer analysiert und miteinander verglichen. Folgende Fragestellungen wurden formuliert: Wie funktioniert die Metamorphose? Worin liegen die Unterschiede und welche Ähnlichkeiten weisen die Amphibienarten während ihrer Metamorphose auf?

Das Ziel dieser Arbeit war, ein Dokumentarfilm zu erstellen, welcher dem Niveau von Jugendlichen in der 9. und 10. Klasse angepasst ist. Für Jugendliche in dieser Klassenstufe stehen wenige geeignete Fachbücher und Filme zur Verfügung, welche die Metamorphose genauer behandeln. Somit sollte auch ihnen die Möglichkeit geboten werden, die spannenden Vorgänge und die Bedeutung der Metamorphose zu vermitteln.

Um diesen Fragestellungen auf den Grund zu gehen, wurden die Entwicklungen eines Grasfrosches, *Rana temporaria*, und eines Bergmolchs, *Ichthyosaura alpestris*, vom Embryonalstadium bis zum Jungtierstadium mit einer Kamera und einer Binokularlupe dokumentiert. Beide Vergleichskandidaten gehören zu unterschiedlichen Ordnungen. Mittels einer Software wurden alle Aufnahmen zu einem Dokumentarfilm zusammengeschnitten. Im Film wurden beide Metamorphosen einander gegenübergestellt und gezeigt, welche Abläufe bei beiden Amphibien stattgefunden haben und welche nicht.

Im grossen Ganzen konnte nach dem Fertigstellen des Filmes gesagt werden, dass die Metamorphose der Grasfrösche und die der Bergmolche durchaus verschieden waren. Während beide Amphibien einige Gemeinsamkeiten zeigten während ihrer Entwicklung, konnten auch viele Ungleichheiten gefunden werden. Zudem konnte der Schluss gezogen werden, dass die Metamorphose des Grasfrosches durchaus komplizierter und vielseitiger war.

Ein Grund für diese Tatsache könnte gewesen sein, dass der Körperbau eines Grasfrosches sich mehr vom Körperbau seiner Larven unterschied, als ein Bergmolch mit dem Körper seiner Larven. Demzufolge mussten beim Grasfrosch mehr Körperpartien bis zum Erreichen seines Adultstadiums umgewandelt werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>3</b>
2.1	Material	3
2.2	Laichentnahme	4
2.2.1	Grasfrosch	4
2.2.2	Bergmolch	4
2.3	Haltung des Laichs	5
2.3.1	Grasfrosch	5
2.3.2	Bergmolch	5
2.4	Haltung der Larven;	6
2.4.1	Wasserstadium	6
2.4.2	Umwandlungsstadium	7
2.5	Dokumentierung der Embryonal- und Larvalentwicklung	7
2.5.1	Mit der Binolukarlupe	7
2.5.2	Mit der Sony Alpha 6000	8
2.5.3	Aufnahme der Mikropräparate	8
2.6	Fertigstellen des Films	9
2.6.1	Erstellen des Textes	9
2.6.2	Schneiden des Filmes	9
2.6.3	Hintergrundmusik	10
<b>3</b>	<b>Resultate</b>	<b>11</b>
3.1	Vergleich der Embryonalentwicklung eines Grasfrosches und eines Bergmolchs	11
3.1.1	Grösse und Form des Laichs	11
3.2	Vergleich der Metamorphose eines Grasfrosches und eines Bergmolchs	14
3.2.1	Körperbau und Pigmentierung der jungen Larven nach dem Schlüpfen: Unterschiede und Gemeinsamkeiten	14
3.2.2	Ablauf der Metamorphosen: Unterschiede und Gemeinsamkeiten	15
3.2.3	Körperbau nach der Metamorphose: Unterschiede und Gemeinsamkeiten	18
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>20</b>
4.1	Der zeitliche Ablauf	20
4.2	Vergleich der Metamorphose	20
4.2.1	Unterschiedliche Abläufe	20
4.2.2	Vergleich: Larvalstadium mit Jungtierstadium	21
4.2.3	Verschiedene Körpergestalten	21
4.3	Zweck der Metamorphose	22
4.3.1	Evolution	22
4.3.2	Getrennte Lebensräume	23
4.4	Nachrecherchieren in Büchern	23
4.5	Das Weiterführen dieser Arbeit	23
4.6	Hindernisse und Schwierigkeiten	24
<b>5</b>	<b>Quellen</b>	<b>26</b>
5.1	Bilderverzeichnis	26
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>27</b>
6.1	Text für den Dokumentarfilm	27
6.2	Quellen für den Dokumentarfilm	41
6.2.1	Musikquellen:	44
6.2.2	Abbildungen im Film:	44

<b>7</b>	<b>Danksagung</b> .....	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>Eigenständigkeitserklärung</b> .....	<b>45</b>

# 1 Einleitung

Amphibien vollziehen in ihrem Leben eine spektakuläre Umwandlung: die sogenannte Metamorphose.

Nicht ohne Grund werden Amphibien so bezeichnet, denn ihr Name hat seinen Ursprung im Griechischen und sagt so viel aus wie: „doppellebig“. [1] Das Leben der Amphibien kann in zwei Stadien unterteilt werden: das Larvalstadium und das Adultstadium. [2] Vorerst spielt sich das Leben der meisten Arten im Wasser ab, bis die Metamorphose ein Wassertier in ein Landtier transformiert. [3] In der Entwicklungsbiologie hatte das Erforschen ihrer Metamorphose grosse Bedeutung, da einerseits ihre grossen Embryos und ihre durchsichtige Gelschicht das Dokumentieren und Beobachten des Keims gut möglich machte. Seit vielen Jahrzehnten untersuchten jegliche Wissenschaftler ihre Entwicklung und konnten grosse Fortschritte erzielen, was das Verstehen der Vorgänge in der Entwicklungsbiologie anbelangte. [4]

Doch wie genau funktioniert diese Metamorphose? Was muss geschehen, damit aus einer Kaulquappe in ihrem Larvalstadium, welche sich hauptsächlich in Gewässern aufhält, ein Tier wird, das in seinem Adultstadium an Land lebt?

Insgesamt gibt es drei Gruppen, in die alle Amphibien eingeordnet sind: Die Froschlurche, Blindwühlen und Schwanzlurche. [3] Ihre Larven sind zu Beginn, nach dem Schlüpfen aus ihrem Laich, anatomisch sehr ähnlich aufgebaut. Doch ihre Adultstadien unterscheiden sich gravierend voneinander. Das muss bedeuten, dass es unterschiedliche Metamorphosearten gibt. Doch worin bestehen die Unterschiede und welche Ähnlichkeiten weisen die unterschiedlichen Amphibienarten während ihrer Metamorphose auf?

Um diesen Fragen nachzugehen, wurde die ganze Entwicklung, vom Laich bis zum Jungtier, von zwei verschiedenen Amphibienarten verglichen. Um den Bezug zum Heimatland herzustellen, wurden zwei in der Schweiz einheimische und häufig anzutreffende Amphibienarten für diese Arbeit ausgewählt. Somit wurden als Vergleichskandidaten der Grasfrosch, *Rana temporaria* und der Bergmolch, *Ichthyosaura alpestris* [6] ausgewählt, welche beide zu verschiedenen Ordnungen gehören. Der Grasfrosch gehört zu den Froschlurchen und der Bergmolch zu den Schwanzlurchen [5], [6].

Um deren Entwicklungen am besten untersuchen zu können, wurde der Laich beider Amphibien bei Raumtemperatur in einem Raum aufbewahrt, sodass das tägliche Beobachten und Aufnehmen mit einer Binokularlupe und einer Kamera ermöglicht werden konnte und die sich entwickelnden Larven unter ständig gleichen Bedingungen aufwachsen konnten. Über

Monate hinweg wurden die Larven aufgezogen und durch ihre Metamorphose begleitet. Jede neue Veränderung wurde vermerkt und ihre Entwicklungen miteinander verglichen.

Mithilfe von Fachbüchern über die Metamorphose, Frösche, Molche und die Entwicklungsbiologie und von vertrauenswürdigen Internetseiten konnten die Informationslücken geschlossen und das nötige Fachwissen erworben werden.

Alle Aufnahmen wurden schliesslich mithilfe einer Software zu einem Dokumentarfilm zusammengeschnitten und bearbeitet.

Da die Metamorphose ein komplexer Vorgang ist, bereiten deren Verständnis Personen, welche sich normalerweise nicht mit diesem Thema beschäftigen, Schwierigkeiten. Viele Fachbücher über die Metamorphose sind in einer anspruchsvollen Sprache geschrieben, sodass das Verständnis dieser Texte erschwert wird. Damit auch andere Personen, vor allem jüngere, sich auch mit diesen faszinierenden Entwicklungen beschäftigen und nachvollziehen können, wurde die Arbeit so erstellt, dass Personen in der 9. und 10. Klasse die Arbeit, ohne grosses Vorwissen, verstehen können sollten. Die Sprache wurde folglich an deren Niveau angepasst. Denn vor allem für diese Altersgruppe gibt es kaum brauchbare Fachbücher, welche nicht entweder zu einfach oder zu schwierig zu lesen sind. Auch Angehörigen dieser Altersgruppe sollte die Möglichkeit gegeben werden, solche Kenntnisse ohne grossen Aufwand erwerben zu können.

Da das Aufnehmen von Informationen durch Visualisierung und Zuhören für einige Personen einfacher ist als durch das Lesen eines Textes, wurde ein Film gedreht, um die offenen Fragen zu beantworten.

Ausserdem ist mithilfe von Film- und Fotoaufnahmen das Verstehen der Entwicklung und das Hindeuten auf Abweichungen leichter möglich, da Bilder mehr als 1000 Worte sagen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Material

- Wasserdurchlässiges Plastikgefäss mit einem passenden Deckel (Volumen 3 Liter)
- Holzkelle
- Durchsichtige Plastiktüten
- Schere
- Glasstab
- 3 Faunarien mit einem Fassvermögen von mehr als 10 Liter (mit Deckel)
- Zwei grosse durchsichtige Gefässe mit einem Fassvermögen von mehr als 8 Liter
- Wasserdichtes Thermometer
- Laich des Grasfrosches
- Bergmolchpaar
- Netz
- Rote Mückenlarven (lebendige und gefrorene)
- Weisse Mückenlarven (lebendige und gefrorene)
- Lebendige Fruchtfliegen
- Einkochte Spinatblätter
- Vegetarisches Fischfutter in Form von Flocken
- Kühlschrank
- Zeitschaltuhr
- Pumpe
- Lampe
- Moos
- Schaumgummi
- Kleine Kieselsteine für Aquarien
- Frische Blätter und Äste von Gebüsch
- Steine
- Moticam 1080 HDMI und USB, Modelnummer: 18008249
- Zeiss, Axio Lab. A1 HAL 35, 5x H, Modelnummer: 3136011341
- Zeiss, Stemi 508 doc, Modelnummer: 3951005911
- Sony Alpha 6000 mit dem Kit-Objektiv (Sony 16-50mm, f/3.5-5.6)
- Computer mit der Software, Corel\*Video Studio X10'

- Weisses A4-Papier
- Schwarzer Stift
- Iphone 8
- Mikropräparate: Embryonalentwicklung eines Frosches
- Scanner
- USB-Stick

## 2.2 Laichentnahme

### 2.2.1 Grasfrosch

Für die Laichentnahme des Grasfrosches wurden drei stehende Gewässer, der Weininger Weiher, der Urdorfer Weiher und der Teich in der Irchel-Universitätsanlage Zürich für mehrere Wochen beobachtet und nach Laich abgesucht. Ende Februar wurde im Teich in der Irchel-Universitätsanlage Laich aufgefunden.

Für die Laichentnahme wurden um den Laich lose Gegenstände entfernt, um eine Beschädigung des Laichs zu vermeiden. Ein grosses Plastikgefäss wurde sorgfältig neben dem Laich im Wasser platziert. Das Plastikgefäss war dabei so gross, dass der Laich auf jeder Seite noch mehrere Zentimeter Platz hatte. Mithilfe einer Holzkelle wurde der Laich vorsichtig in das Plastikgefäss geschoben. Sobald der ganze Laich im Gefäss platziert war, wurde das Gefäss behutsam aus dem Wasser gehoben. Zu beachten war, dass der Behälter fast vollständig mit Wasser gefüllt sein musste. Zu Schluss wurde das Gefäss mit einem passenden Deckel verschlossen, damit kein Wasser austreten konnte.

### 2.2.2 Bergmolch

#### 2.2.2.1 *Vorbereitung des Faunariums*

Als erstes wurde eine Wasserpflanzen-Attrappe für ein Faunarium erstellt. Durchsichtige Plastiktüten wurden in Streifen mit einer Breite von 2 cm geschnitten. Diese Plastikstreifen wurden daraufhin an einem Glasstab befestigt, indem eine kleine Öffnung in die Streifen geschnitten und der Stab durch die Öffnung eingeschoben wurde. Auf dem Glasstab wurden 15 Streifen montiert.

Das Faunarium wurde im Anschluss daran mit Teichwasser gefüllt, sodass der Wasserstand circa 20 Zentimeter betrug. Die Wasserpflanzen-Attrappe wurde dann in das mit Wasser gefüllte Faunarium gestellt.

### 2.2.2.2 *Haltung des Bergmolchpaars*

Ein Bergmolchpaar wurde in einem kleinen privaten Gartenteich in Bassersdorf mithilfe eines Netzes eingefangen und in das vorbereitete Faunarium gesetzt. Die Bergmolche wurden hierauf täglich mit Mückenlarven gefüttert und das Wasser wurde alle drei bis vier Tage durch frisches Teichwasser ersetzt. Das Faunarium wurde an einen gut beleuchteten Platz ohne direkte Sonneneinstrahlung gestellt. Sobald das Bergmolchweibchen mindestens 10 Eier abgelaicht hatte, wurden beide Bergmolche in ihren ursprünglichen Lebensraum zurückgebracht.

## 2.3 *Haltung des Laichs*

### 2.3.1 *Grasfrosch*

Der Laich wurde in ein grosses Gefäss umplatziert. Auch hier musste darauf geachtet werden, dass der Laich nicht beschädigt wurde. Mit dem Laich sollte auch das Wasser aus dem Teich in den Glasbehälter umgekippt werden. Der Behälter mit dem Laich wurde hintennach in einem Kühlschrank deponiert. Der Kühlschrank wurde so eingestellt, dass die Wassertemperatur im Glasgefäss konstant 6°C betrug. Mithilfe einer Lampe, welche in den Kühlschrank gelegt wurde, konnte mit Hilfe einer Steckdosenschaltuhr ein Lichttagesrhythmus eingerichtet werden. Der Laich lag 12 Stunden im Dunkeln und 12 Stunden im Licht. Damit auch die Sauerstoffversorgung des Wassers beibehalten werden konnte, wurde eine Pumpe montiert, die das Wasser mit frischem Sauerstoff versorgte. Diese Pumpe blieb tagsüber ständig eingeschaltet

### 2.3.2 *Bergmolch*

Der Laich wurde weiterhin im Faunarium gehalten. Im Gegensatz zum Grasfroschlaich wurde hier der Laich nicht im Kühlschrank platziert. Bei konstanten 20°-23°C und einem natürlichen Lichttagesrhythmus konnten sich die Embryos ohne grosse Einflussnahme entwickeln. Alle vier Tage wurde das Wasser durch frisches Wasser aus dem Weininger Weiher ersetzt. Das frische Wasser musste jedoch zuerst Zimmertemperatur erreicht haben, bevor das Wasser zum Laich dazugegeben werden durfte.

## 2.4 Haltung der Larven;

### 2.4.1 Wasserstadium

#### 2.4.1.1 *Grasfrosch*

Nachdem die Kaulquappen aus ihren Eiern geschlüpft waren, wurden fast alle Kaulquappen, bis auf 30 Stück, an ihren Laichort zurückgebracht und ausgesetzt. Die 30 Kaulquappen wurden daraufhin in einen grösseren Plastikbehälter mit einem Fassungsvermögen von mehr als 8 Liter umplatziert. Der Behälter wurde nicht mehr in den Kühlschrank gestellt, sondern auf ein Fenstersims, an das ebenfalls keine direkte Sonneneinstrahlung gelangen konnte. Die Kaulquappen konnten sich nun mit einem natürlichen Lichttagesrhythmus und bei einer konstanten Temperatur von ca. 21°C entwickeln. Die Grasfrösche wurden täglich mit pflanzlichem Fischfutter oder eingekochten Spinatblättern gefüttert. Die Menge an Nahrung wurde so dosiert, dass nach der Fütterung die Kaulquappen in der Lage waren, innerhalb einer guten Stunde, alles aufzufressen. Das Wasser wurde alle 4 Tage durch frisches Wasser aus dem Weininger Weiher ersetzt. Auch hier musste das frische Wasser der Zimmertemperatur entsprechen, bevor das alte Wasser damit ersetzt werden durfte. Wöchentlich wurde der Behälter gereinigt, indem alle toten Kaulquappen und Kot entsorgt wurden. Wie auch der Laich im Kühlschrank, wurde das Wasser der Kaulquappen über eine Pumpe mit frischem Sauerstoff versorgt. Während der Nacht wurde die Pumpe ausgeschaltet.

#### 2.4.1.2 *Bergmolch*

Auch nach dem Schlüpfen der Larven wurde nichts am Faunarium geändert. Von nun an wurden die Larven täglich mit eingefrorenen oder lebendigen roten Mückenlarven gefüttert. Es wurde so viel Futter gegeben, dass die Bergmolchlarven immer eine kleine Menge an Nahrung im Wasser übrig hatten. Das Wasser wurde weiterhin regelmässig durch frisches Wasser ausgetauscht. Wöchentlich wurde das Faunarium gereinigt und der Kot auf dem Boden entsorgt.

Zusätzlich wurde mit einer kleinen Pumpe frischer Sauerstoff in das Wasser gepumpt. Wie bei den Grasfröschen wurde die Pumpe während der Nacht ausgeschaltet.

## 2.4.2 Umwandlungsstadium

### 2.4.2.1 *Grasfrosch*

Sobald die Kaulquappen vier Beine hatten, musste ein neues Gehege eingerichtet werden. Von den 30 Kaulquappen wurden nun weitere freigelassen. Je 5 Kaulquappen wurden in einem Faunarium untergebracht. Das Faunarium wurde vor der Umplatzierung der Kaulquappen eingerichtet. Auf dem Boden wurde eine 2-3 cm dicke Schaumgummischicht verlegt, welche als „Landbereich“ für die Kaulquappen dienen sollte. Entlang dem Wasserbereich sorgte ein schräger Schnitt dafür, dass die Kaulquappen leicht aus dem Wasser gelangen konnten. Im Wasserbereich wurde eine dünne Sandschicht auf den Boden geschüttet. Auf dem „Landbereich“ wurden kleine Steine, Moos und kurze Äste mit Blättern platziert. In dieser Zeit wurde den Kaulquappen keine Nahrung gegeben. Wichtig war, dass das Faunarium ständig bedeckt sein musste, damit auch keine bald werdende Frösche rausspringen oder klettern konnten.

### 2.4.2.1 *Bergmolch*

Nachdem die äusseren Kiemen nicht mehr vorhanden waren, wurde das Faunarium neu eingerichtet. Auf den Boden des Faunariums wurde eine Schicht mit kleinen Kieselsteinen gestreut, welche für Aquarien geeignet waren. Auf der einen Seite war die Kiesel-Schicht dünner aufgeschüttet als auf der anderen. Die Kiesel-Schicht wurde soweit mit Wasser bedeckt, dass die eine Hälfte der Kiesel-Schicht unter Wasser stand und die andere nicht. Auf der „Landseite“ wurden viele kleine Blätter, Moos, Rinde und kleine Äste platziert. Die Bergmolche im Landstadium wurden täglich mit Fruchtfliegen gefüttert und im Wasser wurden weiterhin lebendige Mückenlarven gegeben. Auch hier musste dafür gesorgt werden, dass ständig Futter im Faunarium übrig war.

## 2.5 Dokumentierung der Embryonal- und Larvalentwicklung

### 2.5.1 Mit der Binokularlupe

Als erstes wurde die Binokularlupe eingestellt und mit einem Bildschirm verbunden. Dabei mussten die Moticam und das Stereomikroskop angeschaltet werden. In die Moticam musste eine Speicherkarte eingelegt sein, um das Speichern von Aufnahmen zu ermöglichen. War alles für das Aufnehmen bereit, wurden jeweils 1-2 Eier/Molchlarven/ Kaulquappen, je nachdem was aufgenommen werden sollte, sorgfältig von Hand in eine durchsichtige Petrischale gelegt. Wenn die zu dokumentierenden Larven noch im Wasserstadium waren, wurde in die

Petrischale zudem etwas Wasser gefüllt. Beim Aufnehmen der Eier wurde ihnen ebenfalls immer etwas Wasser zugefügt. Wenn die zu dokumentierenden Larven oder Jungtiere in der Umwandlungsphase oder schon in der Landphase waren, wurde ein Deckel auf die Petrischale gelegt, um die Tiere am Rausklettern zu hindern. Die Petrischale wurde anschliessend unter die Binokularlupe gelegt.

Das Abbild wurde so scharf gestellt, dass jeweils die Stelle scharf dargestellt wurde, welche beobachtet werden sollte. Stimmt die Schärfe und das Licht, wurde auf dem Display mithilfe einer Maus das Aufnahme-Signal eingeschaltet und die Aufnahme startete. War die Aufnahme lang genug, wurde die Aufnahme mit dem gleichen Signal wieder ausgeschaltet.

Nachdem alle gewünschten Stellen aufgenommen worden waren, wurden die Larven und Eier wieder zurückgelegt, die Binokularlupe und die Moticam wurden ausgeschaltet und die Speicherkarte entnommen.

Die Aufnahmen wurden daraufhin auf einen Computer und einen USB-Stick umgespeichert und konvertiert. Alle unbrauchbaren Aufnahmen wurden aussortiert und gelöscht und die geeigneten wurden zurechtgeschnitten.

### 2.5.2 Mit der Sony Alpha 6000

Die Sony Alpha 6000 wurde vor allem für das Aufnehmen von Amphibien in der Natur verwendet. Da die Amphibien in der Natur sehr scheu waren, musste das Filmen in völliger Stille erfolgen. Wurde ein Frosch im Weiher gefunden, so wurde die Kamera langsam auf den Frosch gerichtet und die Aufnahme durch das Drücken des Aufnahme-Knopfes gestartet. Während des Filmens musste die Kamera möglichst ruhig gehalten werden, damit keine grossen Erschütterungen in den Aufnahmen entstehen konnten. Die Kamera wurde auf die Funktion „Intelligente Auto.“ eingestellt, welche automatisch die Szeneneigenschaften ermittelte und ein passendes ISO bestimmte.

### 2.5.3 Aufnahme der Mikropräparate

Mithilfe des Mikroskops von Zeiss konnten die Mikropräparate eines Frosches während seiner Entwicklung aufgenommen werden. Zuerst wurde das Mikroskop eingeschaltet und mit einem Bildschirm verbunden. Die Mikropräparate wurden dann auf den Objektivtisch gelegt und mit den Objektiven (10x und 4x Vergrößerung) betrachtet. Mithilfe des Fein-/ und Grobtriebs konnte das Bild scharf gestellt werden. War das Bild scharf, so wurde ein Abzug gemacht, indem auf das Signal zum Bild machen geklickt wurde.

## 2.6 Fertigstellen des Films

### 2.6.1 Erstellen des Textes

Nachdem alles gefilmt worden war und beide Amphibienarten ihre Metamorphosen vollzogen hatten, wurde der Text für den Film geschrieben.

Zunächst wurde die Entwicklung des Grasfrosches etwas genauer untersucht. Von allen Stadien wurden mehrere Aufnahmen miteinander verglichen. Alle Abweichungen und Veränderungen zwischen zwei nacheinander folgende Stadien wurden notiert. Dies waren einige Punkte, welche untersucht wurden:

- Welche Grösse haben die Larven/ die Eizellen?
- Wie haben sich die Kiemen entwickelt? Besitzt die Larve äussere oder innere Kiemen?
- Sind die externen Glieder schon vorhanden? Wie wachsen die Beine heran?
- Wie hat sich die Pigmentierung verändert?
- Wie hat sich der Körperbau verändert?
- Welche Organe sind durch die Binokularlupe sichtbar?

Anschliessend wurde in Fachbüchern nach genaueren Erklärungen der Metamorphose gesucht. Die Informationen in den Büchern und die Erkenntnisse aus den Aufnahmen wurden verglichen. Informationen, welche nicht den Aufnahmen entnommen werden konnten, wurden aus Büchern ermittelt.

Im Text wurde daraufhin der genaue Ablauf der Metamorphose des Grasfrosches beschrieben. Für den Vergleich der beiden Arten wurden die Metamorphosen beider Arten einander gegenübergestellt. Auch hier wurden von beiden Arten mehrere Stadien ausgewählt. Das gleiche Stadium beider Amphibien wurde dann miteinander verglichen. Nun wurde geprüft, welche Aspekte bei beiden gleich waren und welche nicht.

Auch hier wurde alles notiert. Im Text für den Film wurde nach der Entwicklung des Grasfrosches die Entwicklung des Molchs beschrieben. Im gleichen Abschnitt wurde jene Abweichung mit der Entwicklung des Grasfrosches verglichen.

### 2.6.2 Schneiden des Filmes

Nachdem der Text für den Film geschrieben war, wurde für jeden Abschnitt eine passende Aufnahme gesucht, welche die Aspekte des Textes besonders gut zeigte. War für jeden Textabschnitt eine geeignete Sequenz gefunden, bei der im besten Fall keine Aufnahme mehrmals vorkam, wurde der Text mit einem iPhone 8 aufgenommen. Mithilfe der App

„Sprachmemos“ wurde der Text aufgenommen, indem eine Aufnahme gestartet wurde und der Text verständlich vorgelesen wurde. Der Text wurde daraufhin in die „Software Corel\*Video Studio X10“ exportiert. Die passenden Aufnahmen wurden im Anschluss zu ihren Textstellen hinzugefügt und zusammengeschnitten.

Für Textstellen, zu denen keine passenden Aufnahmen vorhanden waren, wurde auf einem weissen A4-Papier mit einem schwarzen Stift eine Skizze gezeichnet, welche zum Inhalt des Textes passte. Dieses A4-Papier wurde mit einem Scanner als Dokument in den Film eingefügt.

### 2.6.3 Hintergrundmusik

Für die Hintergrundmusik wurde auf der Seite: <https://filmmusic.io> das Lied „Creations“ von Rafael Krux kostenlos heruntergeladen, auf der Software „Garage Band“ zurechtgeschnitten und bearbeitet. Daraufhin wurde die Musik auf die Software „Corel\*Video Studio X10“ exportiert und eingefügt.

## 3 Resultate

### 3.1 Vergleich der Embryonalentwicklung eines Grasfrosches und eines Bergmolchs

#### 3.1.1 Grösse und Form des Laichs

Die Grössen der Eizellen beider Amphibienarten waren zu Beginn praktisch gleich.

Der Durchmesser ihrer Zygoten betrug circa 2mm. Die gallertartige Eihülle war beim Grasfrosch schon kurz nach der Eiablage viel grösser als beim Bergmolch. Der ganze Laich, inklusive Gallertenhülle und Eizelle, hatte beim Grasfrosch einen Durchmesser von 13mm und beim Bergmolch einen von 3.5mm. In den folgenden vier Tagen wuchs der Laich des Bergmolchs bei ca. 22°C mit 0.2mm kaum. Lediglich die Form des Laichs änderte sich und wurde von einer Kugel zu einem Ovoid. Nach zwei weiteren Tagen wuchs der Laich um 0.3mm grösser und hatte somit zu Schluss der Embryonalphase einen Durchmesser von 4mm erreicht.

Während der gesamten Embryonalentwicklung des Grasfrosches blieben der Durchmesser und die Form des Laichs gleich.

#### 3.1.2 Entwicklung der Keime

Beide Zygoten hatten kurze Zeit nach der Eiablage einen Durchmesser von 2mm und eine runde schwarze Form. Beim Grasfrosch waren erst nach einer Woche, bei konstanten 6°C, klare Veränderungen ersichtlich geworden. Der vorher regelmässige dunkle Kreis bekam Falten. Nach einem weiteren Tag veränderte sich die Gestalt des Embryos drastisch zu einem birnenförmigen Gebilde mit einem Spalt an der einen Seite. Der Embryo hatte nach acht Tagen eine Länge von 3mm erreicht und eine Breite von 1.7 mm an der engsten Stelle und eine von 2mm an der breitesten Stelle. 48 Stunden später, zehn Tage nach der Eiablage, konnten der Kopf- und Schwanzbereich klar erkannt werden. Die birnenförmige Gestalt war nicht mehr vorhanden. Am Kopfbereich waren zwei Ausbuchtungen zu sehen. Nun betrug seine Länge weiterhin 3 mm und seine mittlere Breite 1.5mm. Im Verlauf der nächsten 3 Tage nahm seine Länge um 2mm zu. Der Schwanzbereich wurde schmaler und der Kopfbereich breiter. Während seiner ganzen Embryonalphase veränderte sich seine Farbe kaum. Bis zum Schluss behielt die bald schlüpfende Larve eine schwarze Farbe, welche das Erkennen von Organen verhinderte. Insgesamt dauerte die ganze Entwicklung vom befruchteten Ei bis zum Schlüpfen der Larve, 13-14 Tage bei 6°C.

Schon kaum einen Tag nach der Eiablage bei ca. 22°C entstand an der einen Seite des Embryos eine Spitze, die innerhalb eines weiteren Tages zu einem leicht erkennbaren, kurzen Schwanz heranwuchs. Verglichen mit der Embryonalentwicklung des Grasfrosches waren keine Falten ersichtlich. Drei Tage nach der Eiablage war die Form des vorher runden Embryos nicht mehr zu erkennen. Über die Nacht, vier Tage nach der Eiablage, streckte sich der Keim und die rundliche Gestalt war nicht mehr vorhanden. Nun betrug seine Länge 5 mm und seine vorherige Breite von 1.7 mm verkleinerte sich auf 1.2mm. Die dunkle, fast schwarze Farbe des Embryos nahm kontinuierlich ab, sodass ein leicht bräunlicher Schimmer erkannt werden konnte. Noch bevor der Keim geschlüpft war, konnte schon festgestellt werden, dass die Bergmolchlarve eine spitzigere und dünnere Gestalt annehmen würde im Vergleich zur frisch schlüpfenden Kaulquappe. Der Kopfabschnitt war etwas breiter als der Schwanzabschnitt, welcher mit einer Spitze endete. Nach zwei weiteren Tagen verlängerte sich der Embryo um weitere 4mm. Der Schwanz wurde spitzer und beim genauem Hinschauen konnte auf der Haut ein gestreiftes Muster erkannt werden. Die äusseren Kiemen wie auch die Augen konnten durch die hellere Pigmentierung erkannt werden, was beim Grasfrosch nicht möglich war. Nach einer guten Woche war seine Embryonalentwicklung vollendet.

**Embryonalentwicklung Bergmolch:  
bei ca. 22°C**

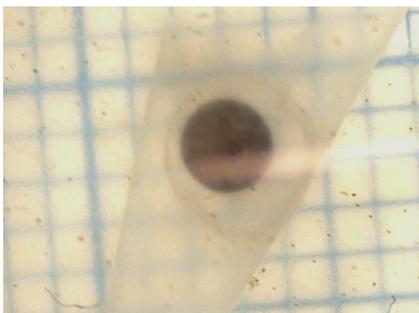


Abb.1 Laich eines Bergmolchs am Tag  
Der Eiablage

**Embryonalentwicklung Grasfrosch:  
bei 6°C**

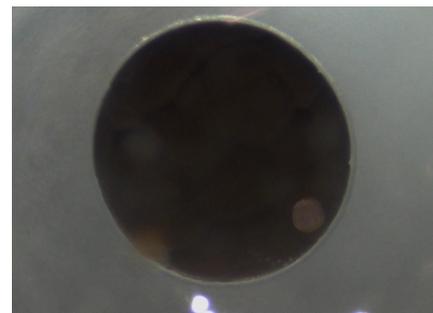


Abb 2. Eizelle eines Grasfrosches kurze  
Zeit nach der Eiablage

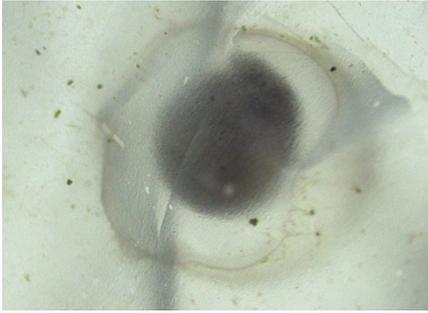


Abb.3 Laich eines Bergmolchs nach 1 Tag

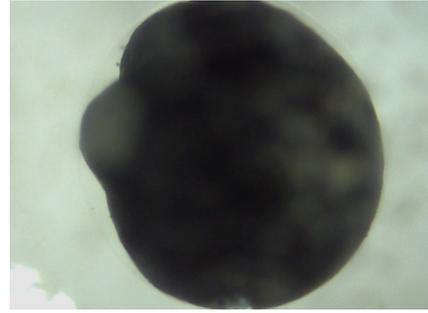


Abb.4 Embryo eines Grasfrosches nach 7 Tagen

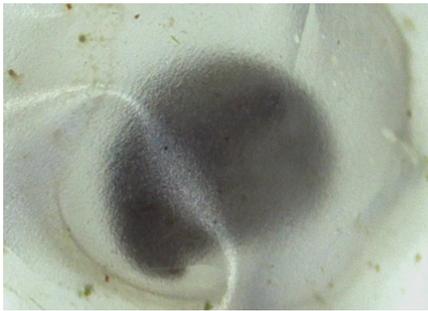


Abb. 5 Laich eines Bergmolchs nach 3 Tagen

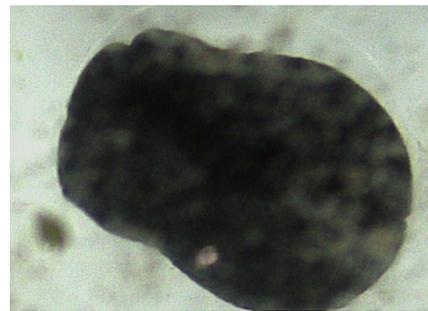


Abb. 6 Embryo eines Grasfrosches nach 8 Tagen



Abb. 7 Laich eines Bergmolchs nach 4 Tagen



Abb. 8 Embryo eines Grasfrosches nach 10 Tagen

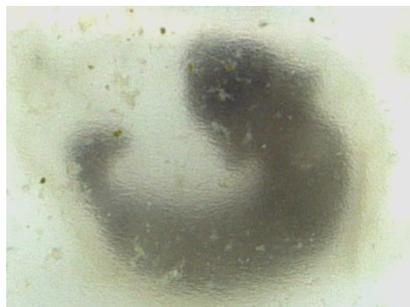


Abb.9 Laich eines Bergmolchs nach 6 Tagen

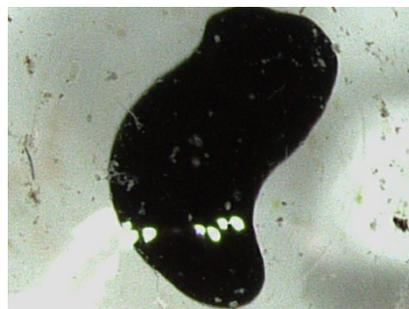


Abb. 10 Embryo eines Grasfrosches nach 12 Tagen

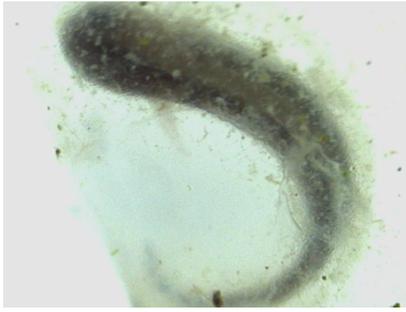


Abb. 11 Laich eines Bergmolchs nach 7 Tagen



Abb. 12 Embryo eines Grasfrosches nach 13 Tagen

## 3.2 Vergleich der Metamorphose eines Grasfrosches und eines Bergmolchs

### 3.2.1 Körperbau und Pigmentierung der jungen Larven nach dem Schlüpfen:

#### Unterschiede und Gemeinsamkeiten



Abb. 13 Bergmolchlarve am Tag des Schlüpfens



Abb. 14 Kaulquappe am Tag des Schlüpfens

Beide Larven hatten nach dem Schlüpfen eine Länge von ca. 10 mm und besaßen keine Extremitäten. Als Atmungsorgane dienten beiden äussere Kiemen in Form von drei Kiemenbüscheln auf jeder Kopfseite. Mit blossem Auge aus konnten bei der Kaulquappe aufgrund der stark pigmentierten Haut keine Organe im Körperinneren erkannt werden. Bei der jungen Bergmolchlarve waren mehr Organe, wie die Augen, die Kreislauforgane mit dem Herz und Blut, sichtbar. Der Körperbau beider Larven war ähnlich und konnte in einen Kopfbereich, einen Rumpf und einen Schwanz gegliedert werden. Der Schwanz des Bergmolchs war schmaler und spitzer, während die Kaulquappe einen breiteren und rundlicheren Abschluss besaß. Der ganze Körperbau der Bergmolchlarve war schmaler als bei, der Kaulquappe.

Der grösste Unterschied zwischen den beiden Larven war die Pigmentierung. Die Bergmolchlarve hatte eine hellere Pigmentierung mit zwei dunkleren, parallel zueinander verlaufenden Streifen, welche sich vom Kopfbereich bis zur Schwanzspitze zogen. Bei der Kaulquappe war jede Körperstelle gleich stark pigmentiert und kein Muster war vorhanden.

### 3.2.2 Ablauf der Metamorphosen: Unterschiede und Gemeinsamkeiten

Bei beiden Larven wuchsen die äusseren Kiemen nach dem Schlüpfen weiter heran und verzweigten sich mehr. Die grösste Länge, welche die Kiemen erreicht haben, mass bei der Kaulquappe 1.2 mm und beim Bergmolch fast 2mm. Bei der Kaulquappe bildeten sich Hautsäume um den Schwanz, welche transparenter waren als der Rest des Körpers. Der Schwanz der Bergmolchlarve bildete ebenfalls einen Flossensaum.

Nicht nur die äusseren Kiemen wurden grösser, auch die Körpergrösse nahm mit der Zeit bei beiden in der Länge und Breite zu. Beeindruckend war die Entwicklung des Grasfroschschwanzes, welcher seine Länge von 5mm auf 10 mm verdoppelte. Der Schwanz des Bergmolchs wuchs ebenfalls heran, doch sein Schwanz hörte nicht auf zu wachsen und übertraf die Leistung des Grasfrosches, da bei ihm der Schwanz noch lange Zeit nach der Metamorphose weiterwuchs. Die Pigmentierung der Bergmolchlarve wurde stärker und die zwei Pigmentstreifen wurden breiter und dunkler. Bei der Kaulquappe blieb die Pigmentierung gleich.

Beide besaßen Haftorgane an ihren Köpfen.



Abb. 15 Bergmolchlarve mit äusseren Kiemen

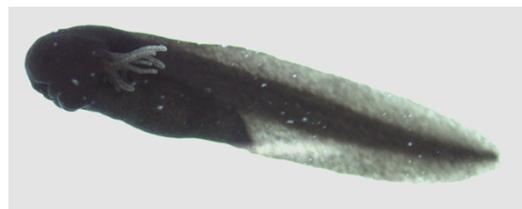


Abb. 16 Kaulquappe mit äusseren Kiemen

Bei der Kaulquappe bildeten sich mit der Zeit die äusseren Kiemen zurück und wurden durch innere Kiemen ersetzt. An ihrer linken Körperseite konnte ein Kiemenloch erkannt werden. Die dunkle Pigmentierung des Grasfrosches wurde schwächer, sodass seine Augen und Atmungsorgane im Körperinneren leicht sichtbar wurden.

Die äusseren Kiemen des Bergmolchs begleiteten ihn etwas länger.

Die Bergmolchlarve bekam Vorderbeine und ihre Haftorgane verschwanden daraufhin. Auch bei ihr veränderte sich ihre Pigmentierung. Aus einem gestreiften Muster sind viele Punkte, welche sich gleichmässig über dem Körper verteilten, entstanden. Nur am Schwanz häuften sich mehr Punkte an, die diesen dunkler erscheinen liessen.

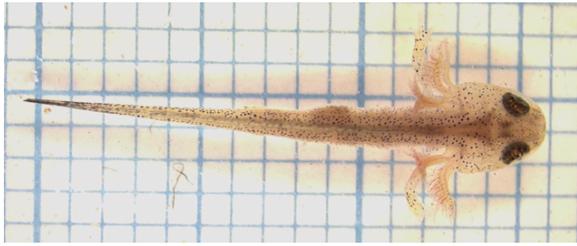


Abb. 17 Bergmolchlarve mit Vorderbeinen



Abb. 18 Kaulquappe während des Kiemenrückbaus

Bei der Kaulquappe häuften sich goldene Pigmentflecken am ganzen Körper an. Bei der Bergmolchlarve erschienen die Hinterbeinanlagen, welche sich zu den Hinterbeinen entwickelten. Die Zehen bildeten sich als letzte heran. Die Hinterbeine waren in der Mitte des Molchs platziert und trennten den Schwanzabschnitt vom Rumpfbereich. Der Schwanzbereich war fast gleich lang wie der Kopf- und Rumpfbereich. Der Körper der Bergmolchlarve war sehr schmal. Bis auf den breiten Kopf hatte der Rumpf eine maximale Breite von 2 mm. Der Körper der Bergmolchlarve wurde zur Schwanzspitze hin immer schmaler.

Der runde und breite Kopf der Kaulquappe, mit einer Breite von 6mm an der breitesten Stelle, war 3-mal breiter, als der Rumpfbereich der Bergmolchlarve.



Abb. 19 Bergmolchlarve mit allen Extremitäten



Abb. 20 Kaulquappe mit inneren Kiemen

Auch bei der Kaulquappe wuchsen Extremitäten heran. Zuerst sprossen die Hinterbeine. Die Hinterbeinanlagen waren unterhalb der Schwanzwurzel platziert. Der Schwanzabschnitt betrug bei der Kaulquappe rund  $\frac{2}{3}$  der gesamten Körperlänge. Ausserdem waren die Hinterbeine anders aufgebaut. Bei der Bergmolchlarve bestanden die Hinterbeine aus einem Abschnitt, an dessen Ende 5 Zehen einen Abschluss bildeten. Die Hinterbeine der Kaulquappe hatten mehrere Abschnitte und waren viel breiter und muskulöser. Auch die Kaulquappe hatte 5 Zehen an jedem Hinterbein.

Die Hinterbeine der Bergmolchlarven wurden immer breiter und stärker. Die Durchblutung verbesserte sich bei den Extremitäten.

Zudem nahm bei beiden Larven die Pigmentierung zu. Die Bergmolchlarve wurde immer dunkler und bei der Kaulquappe nahm die Anzahl der goldenen Pigmentflecke zu.

Der Bergmolch wurde immer breiter und grösser. Der Rumpfbereich hatte eine Breite von 5 mm erreicht. Nun war der Rumpfbereich gleich breit wie der Kopfbereich. Zwischen dem Kopfbereich und dem Rumpf gab es einen dünneren Abschnitt, an dem die Vorderbeinanlagen platziert waren.



Abb. 21 Bergmolchlarve mit äusseren Kiemen und allen Extremitäten

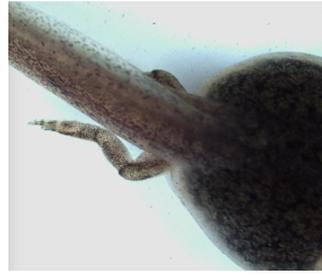


Abb. 22 Kaulquappe mit Hinterbeinen

Die Vorderbeine der Kaulquappe entwickelten sich im Körperinneren, ganz anders als bei der Bergmolchlarve. Die Haut um die Vorderbeine wurde immer dünner, sodass die Beine gut sichtbar wurden. Dann löste sich die Haut auf und die Vorderbeine brachen durch.

Beide Larven nahmen langsam die Gestalt ihres Adultstadiums an. Die Pigmentierung wurde immer stärker und beide Larven hatten nun eine bräunliche Farbe angenommen. Der Bergmolch hatte ein Muster mit einem helleren Strich über seiner Wirbelsäule entwickelt. Bei der Kaulquappe sind zwei hellere Striche entstanden, welche vom Kopfbereich bis zum Schwanz führten.

Die äusseren Kiemen des Bergmolchs wurden immer kleiner und die Atmungsorgane der Kaulquappe röteten sich deutlich.



Abb. 23 Bergmolchlarve Kopf mit äusseren Kiemen

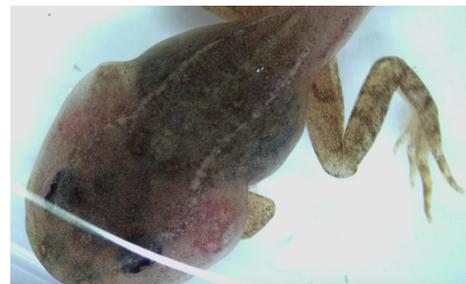


Abb. 24 Vorderbeine der Kaulquappe brachen durch

Die Kiemen beider Larven verschwanden und wurden durch Lungen ersetzt. Bei der Kaulquappe bildete sich der Schwanz zurück und die Beine wurden stärker und breiter. Bei der Bergmolchlarve, bzw. beim jungen Bergmolch, blieb der Schwanz vorhanden. Nur sein Flossensaum wurde abgebaut und der Schwanz wurde flacher. Von diesem Moment an begaben sich beide Jungtiere an Land.



Abb. 25 Schwanz des Bergmolches



Abb. 26 Schwanzrückbau der Kaulquappe

Ihre Häute wurden robuster und widerstandsfähiger. Die Augen des Bergmolches haben sich verändert. Aus einer durchsichtigen Hornhaut wurde eine dunkle mit einer gelblichen Iris. Die Augen des jungen Grasfrosches wurden ebenfalls dunkler und standen nun durch die Augenlieder heraus. Der Grasfrosch wurde schlanker und seine Proportionen passten sich dem Körper eines ausgewachsenen Grasfrosches an.



Abb. 27 Bergmolchkopf



Abb. 28 junger Grasfroschkopf

### 3.2.3 Körperbau nach der Metamorphose: Unterschiede und Gemeinsamkeiten



Abb. 29 junger Bergmolch



Abb. 30 junger Grasfrosch

Aus den beiden ähnlich aufgebauten Larven waren zwei unterschiedliche Amphibien entstanden.

Beim Vergleich ihrer Körperbaue konnten deutlich mehr Verschiedenheiten bestimmt werden. Unter anderem konnte festgestellt werden, dass der Molch sich eine längliche, schmale Figur, mit vier gleichlangen Beinen, angeeignet hatte. Der Grasfrosch war breiter und höher geworden. Die Hinterbeine waren länger und kräftiger gewachsen als seine Vorderbeine. An den Hinterbeinen besass der Grasfrosch 5 Zehen und an den Vorderbeinen jeweils 4. Der Bergmolch hatte bei den Vorder- wie auch bei den Hinterbeinen 4 Zehen.

Eine weitere Abweichung, welche schon auf den ersten Blick ersichtlich war, war das Fehlen eines Schwanzes beim Grasfrosch. Eine kurze Spitze (siehe Abb. 28) konnte als kleiner Schwanzabschluss bezeichnet werden.

Mit dem Schwanz war der Bergmolch viel länger geworden. Doch auch der Rumpf war beim Molch etwas länger.

Ihre Gesichtszüge unterschieden sich ebenfalls deutlich voneinander. Der Bergmolch zeigte runde Züge, bei denen die Augen nur leicht hervorstanden. Der Kopfabschnitt konnte leicht bestimmt werden, da der Übergangsbereich vom Kopf zum Rumpf etwas enger war und vom Rumpf deutlich abgesetzt war. Der Grasfrosch hatte durchaus markantere Augenlider, welche deutlich hervortraten. Die Nase hatte ebenfalls eine runde Form, doch das Gesicht wies viele Kanten auf. Zudem konnte der Kopfabschnitt nicht vom Rumpf unterschieden werden, da der kontinuierliche Übergang eine Bestimmung verhinderte.

Die Nasenlöcher konnten bei beiden Amphibien gut erkannt werden.

Auch die Pigmentierung war unterschiedlich. Der junge Bergmolch hatte eine bräunliche Pigmentierung mit einem Muster aus helleren Pigmentflecken, welche den ganzen Körper bedeckten. Beim Grasfrosch konnte ein unregelmässiges Muster erkannt werden, welches sich auf den Hinterbeinen und dem Rücken ausbreitete. Entlang des Rückens zeigten sich zwei gelbe Striche. Auf dem Gesicht konnte eine hellere Stelle unterhalb der Augen erkannt werden.

Die Haut des Bergmolchs war viel glatter als die des Grasfrosches, dessen ganzer Körper mit einer rauen Haut überzogen war.

## 4 Diskussion

### 4.1 Der zeitliche Ablauf

In dieser Arbeit konnte der zeitliche Ablauf der Metamorphose nicht verglichen werden, da sich die beiden Amphibienarten nicht unter den genau gleichen Bedingungen entwickelt haben und der Vergleich der Zeit somit nicht sinnvoll wäre. Einerseits haben sich die Kaulquappen zu Beginn im Kühlschrank befunden und wurden erst später den gleichen Bedingungen wie die Bergmolchlarven ausgesetzt, welche während ihrer ganzen Entwicklung unter den gleichen Einflüssen standen. Aus diesem Grund konnte nicht beschrieben werden, wie lange die einzelnen Entwicklungsschritte dauerten oder ob die einzelnen Schritte gleich lange andauerten. Lediglich die Abfolgen von Umgestaltungen konnten miteinander verglichen werden und wie diese abgelaufen sind.

### 4.2 Vergleich der Metamorphose

Die Frage, worin die Unterschiede zwischen der Metamorphose eines Grasfrosches und eines Bergmolchs liegen und welche Ähnlichkeiten die beiden Amphibienarten während ihrer Metamorphose aufweisen, liess sich nicht in einem Satz beantworten. Die Resultate haben deutlich gezeigt, dass sich einige Prozesse bei beiden Amphibienarten in gleicher Weise abgespielt haben, wie die Umschaltung von einer Kiemenatmung auf eine Lungenatmung, die Anpassungen der Augen auf das Landleben oder die Bildung der Extremitäten, wobei auch dort gesagt werden musste, dass Unterschiede zu Tage getreten sind.

#### 4.2.1 Unterschiedliche Abläufe

Auch ohne Berücksichtigen des Zeitfaktors konnten eine ausreichende Anzahl an Unterschieden gesammelt werden, welche die Aussage über das Existieren mehrerer Metamorphosearten bestätigen und beweisen konnten.

Einerseits waren die einzelnen Abläufe während der Metamorphosen nicht identisch, da sich bei den Grasfröschen beispielsweise die äusseren Kiemen abgebaut hatten, bevor ihre Extremitäten erschienen sind. Bei der Bergmolchlarve waren zuerst die Extremitäten erschienen und anschliessend wuchsen ihre äusseren Kiemen ein. Andererseits entwickelten sich beim Grasfrosch zuerst die Hinterbeine und erst später bekam die Kaulquappe ihre Vorderbeine. Beim Bergmolch sprossen die Vorderbeine vor den Hinterbeinen.

Somit musste gesagt werden, dass, obwohl beide Amphibienarten diese Umwandlungen

durchlaufen, die Aussage nicht stimmte, dass die Umwandlungen bei beiden gleich seien, denn ihre Abläufe stimmen nicht überein.

#### 4.2.2 Vergleich: Larvalstadium mit Jungtierstadium

Alleine das Betrachten der Larven und der Jungtiere nach ihrer Metamorphose führte zur Erkenntnis, dass die Bergmolchlarven ihre Gestalt mehr oder weniger beibehielten, was dazu führte, dass die Jungtiere ähnlich aussahen, wie ihre Larven. Beim Grasfrosch waren deutlich mehr Veränderungen erfolgt, was auch daran erkannt werden konnte, wie unterschiedlich die Larven im Gegensatz zu den Jungtieren nach der Metamorphose aussahen. Somit mussten viel mehr Körperteile umgewandelt werden, um nachher dem Aussehen eines Grasfrosches entsprechen zu können.

Zum einen veränderte sich die komplette Körpergestalt des Frosches von Kopf bis Fuss. Die Körpergestalt wurde breiter und durch das Einwachsen des Schwanzes waren die Körper der Kaulquappen und der Jungtiere kaum mehr vergleichbar. Doch auch das Gesicht des jungen Frosches stimmte mit dem Gesicht der Larve kaum überein. Beim Bergmolch veränderten sich die Gesichtszüge nicht so dramatisch und durch das Behalten des Schwanzes musste der Bergmolch eine drastische Umwandlung weniger vollziehen als der Grasfrosch.

Die Aussage, dass der Grasfrosch eine viel kompliziertere und vielfältigere Entwicklung durchmache, konnte dadurch bestätigt werden.

#### 4.2.3 Verschiedene Körpergestalten

Weshalb die Metamorphosen der Frosch- und Schwanzlurche unterschiedlich waren, hatte mit ihren Entwicklungen und Anpassungen während ihrer Evolution zu tun. Die Lebensweise der beiden Amphibienarten unterscheiden sich deutlich voneinander. Ihre Körpergestalt hatte sich im Laufe der Zeit so entwickelt, um die besten Überlebenschancen in ihrem Lebensraum zu erzielen. Den Frosch würde ein Schwanz nur stören, da mit ihm die Springfähigkeit stark beeinträchtigt wäre. Mit seinen langen Hinterbeinen und seiner verkürzten Wirbelsäule entstand ein geeigneter Sprungapparat, mit dem der Grasfrosch aussergewöhnlich weit springen konnte. [8]

Der Bergmolch war sehr schlank und lang und besass einen gut entwickelten Schwanz. Mit seiner Körpergestalt konnte sich der Bergmolch gut in kleinen feuchten Höhlen verstecken und sich in Bächen und Tümpeln aufhalten. Auch sein Körper hatte sich an seinen Lebensort bestens angepasst. [9]

Aus diesen Gründen unterschieden sich die Metamorphosen der Grasfrösche und der Bergmolche. Da beide Amphibienarten in ihren Adultstadien anders geformte Körper besaßen, mussten folgend ihre Körper während ihrer Metamorphosen teilweise verschiedene Körperbereiche umwandeln. Beim Grasfrosch musste der Schwanz beispielsweise abgebaut werden und beim Bergmolch nicht, da sein Körper so aufgebaut war, dass ihm der Schwanz von Nutzen war. Beim Bergmolch haben sich die Beine so entwickelt, dass alle vier Beine etwa gleichlang waren, was ihm das Laufen an Land ermöglichte. Hätte der Bergmolch zwei lange Hinterbeine und zwei kürzere Vorderbeine wie der Grasfrosch, wäre sein Leben deutlich schwieriger und seine Existenz wäre in Gefahr, da ihm das Laufen so nicht gelänge.

Aus diesen Gründen ist eine Metamorphose bei Grasfröschen nicht gleich eine Metamorphose bei Bergmolchen. Jeder Schritt in ihrer Entwicklung, vom Larvalstadium bis zum Adultstadium, hat seinen Sinn und Zweck und nur so können die Amphibien ihre Überlebenschancen aufrechterhalten.

## 4.3 Zweck der Metamorphose

### 4.3.1 Evolution

Wieso aber findet die Metamorphose überhaupt statt und wieso bekommt eine Larve nicht von Anfang an Lungen und beginnt ihr Leben an Land? Was ist der Sinn ihrer Umwandlung?

Schon die ersten Amphibien, oder genauer gesagt amphibienähnliche Tetrapoden, welche in der Karbon- bis zur Triaszeit lebten, vollzogen eine Metamorphose. Seit jener Zeit bis heute entwickelten sich diese Tetrapoden weiter und ihre Körper passten sich ihrem Lebensort an. Doch bis heute wird die Metamorphose von vielen Arten vollzogen. Warum die Wirbeltiere damals an Land gegangen sind, ist eine sehr umstrittene Frage und eine klare Antwort gibt es bis heute noch nicht. Einerseits wurde diskutiert, dass durch die Gefahr vor Austrocknung die Wirbeltiere gezwungen waren, von einem Flachgewässer zum anderen zu gehen, um andere, noch mit Wasser gefüllte Gewässer zu erreichen. Andererseits wurde vermutet, dass Sauerstoffarmut in den flachen Gewässern aufgrund von starker Besonnung die Wirbeltiere gezwungen hat, Sauerstoff aus der Atmosphäre zu nutzen. Wahrscheinlich war eine Kombination von vielen verschiedenen externen Einflüssen für das Wechseln der Lebensräume, vom Wasser zum Land, entscheidend gewesen. [7]

### 4.3.2 Getrennte Lebensräume

Wäre die Metamorphose nicht von Vorteil, dann hätten sich die Amphibien im Laufe der Zeit angepasst und eine andere Taktik entwickelt oder wären gar ausgestorben.

Dem ist aber nicht so. Trotz aller Kosten, welche eine Amphibie während ihrer Metamorphose auf sich nimmt, blieben die beiden Zeitzyklen erhalten.

Die Larven werden von anderen Gefahren bedroht als die Adulttiere. Wären die Larven imstande, an Land zu leben, wären die Larven möglicherweise mehr davon bedroht, von anderen Tieren aufgefressen zu werden. Im Wasser ist das Leben für Larven durchaus sicherer, da ein Grossteil der möglichen Fressfeinde nicht im Wasser jagt.

Zudem könnte die Sonne ein Problem darstellen, da ihre Strahlen die Larven auf dem Land austrocknen könnten.

Doch die Tatsache, dass die Larven im Wasser leben, führt dazu, dass, vor allem bei den Kaulquappen, die Ressourcen von zwei unterschiedlichen Lebensräumen genutzt werden können.

Somit können die Risiken eines Landlebens und eines Wasserlebens verteilt werden. [10]

### 4.4 Nachrecherchieren in Büchern

In dieser Arbeit konnten durch das Aufnehmen und Beobachten mit der Binokularlupe und der Kamera nur äusserliche Veränderungen festgestellt werden. Aus diesem Grund war das Nachrecherchieren in Büchern zwingend notwendig, um auch die vielen internen Vorgänge miteinbeziehen zu können. Auf diese Kenntnisse wurde genauer im Film genauer eingegangen. Auch die Steuerung der Metamorphose und die Beantwortung der Frage, wie die Metamorphose funktioniert, konnte nicht durch das Beobachten beantwortet werden. Auch hier musste das Wissen aus Fachbüchern bezogen werden.

### 4.5 Das Weiterführen dieser Arbeit

Um diese Arbeit weiterführen zu können und weitere Erkenntnisse zu gewinnen, wäre die Berücksichtigung des Zeitfaktors eine Möglichkeit. Bei einer neuerlichen Durchführung könnte dafür gesorgt werden, dass die Bedingungen für die Entwicklung beider Arten während des ganzen Versuchs genau gleich wären, damit die Zeit ebenfalls zu einem Kriterium würde, über das die Metamorphosen verglichen werden könnten. Zusätzlich könnte experimentell ermittelt werden, wie sich die Dauer der Metamorphosen bei unterschiedlichen Temperaturen

verändert. Ein Teil des Laichs könnte sich demzufolge beispielsweise im Kühlschrank entwickeln und ein anderer Teil von jeder Amphibienart bei Raumtemperatur.

Ausserdem könnte die Arbeit durch den Vergleich aller drei Amphibienarten vervollständigt werden. Die Entwicklung einer Amphibie aus der Art der Blindwühlen könnte ebenfalls beobachtet und mitverglichen werden.

Um auch die inneren Vorgänge dokumentieren und vergleichen zu können, könnte, falls dem Forscher/ der Forscherin der Zugang zu Tierversuchen offensteht, Versuche durchgeführt werden, um die Hormonkonzentration während der Entwicklung messen zu können oder die inneren Organe genauer betrachten zu können.

#### 4.6 Hindernisse und Schwierigkeiten

Durch das plötzliche Verkünden des Lockdowns infolge von Covid-19 stellten sich einige Hindernisse in den Weg. Da der Zugang zur Schule nicht mehr gestattet war, musste ein Weg gefunden werden, wie die Amphibien auch ohne Binokularlupe, welche sich in der Kantonsschule Limmattal befand, dokumentiert und aufgenommen werden konnten. Die verständnisvollen Lehrkräfte aus der Biologiefachschaft gestatteten mir, die Binokularlupe mit nach Hause zu nehmen, um mir die täglichen Beobachtungen zu ermöglichen. Im Folgenden wurden alle Geräte und die Amphibien zu mir nach Hause transportiert und das Problem konnte behoben werden.

Da mir das Rausgehen aus dem Haus mehr oder weniger verwehrt wurde, da ich zu der Risikogruppe gehöre, war die Aufnahmen von Amphibien in der Natur während einer langen Zeit nicht möglich. Dies brachte das geplanten Zeitkonzept durcheinander und führte dazu, dass ich kurz nachdem die Corona-Massnahmen gelockert worden waren, gezwungen war, viele Aufnahmen schnell nachzuholen.

Doch nicht nur Covid-19 forderten einen heraus, sondern auch das Aufnehmen der Amphibien. Da die Amphibien unter der Binokularlupe kaum stillstehen konnten, dauerte das Aufnehmen seine Zeit. Auch in der freien Natur musste viel Zeit investiert werden, um Amphibien zu sehen. Oftmals versteckten sich die Amphibien sofort und tauchten unter, wenn versucht wurde, sich ihnen zu nähern. Um gute Aufnahmen machen zu können, musste über längere Zeit abgewartet werden, bis sich ein Frosch an die Luft begab.

Eine ganz andere Schwierigkeit stellte das Auffinden von Bergmolchen dar. Bis auf das eine Bergmolchpaar, welches für den Laich sorgten, konnte kein anderer Bergmolch in der Natur gefunden werden. Somit konnten nur beim Freilassen der Bergmolche Aufnahmen gemacht

werden.

Die technischen Schwierigkeiten beim Bedienen der Software nahmen ebenfalls Zeit in Anspruch. Bis sich der Rhythmus beim Schneiden und Einfügen der Aufnahmen eingestellt hatte, musste geduldig gearbeitet werden. Oft traten unangenehme und mühsame Fehler auf, welche viel Arbeit forderten, um den Schaden wieder gut zu machen.

Im Grossen und Ganzen muss gesagt werden, dass das Erstellen eines Dokumentarfilms deutlich anspruchsvoller war als geplant.

## 5 Quellen

- [1] <https://www.duden.de/rechtschreibung/Amphibie>, 23.10.2020
- [2] Y.B. SHI (1999), "Amphibian Metamorphosis; From Morphology to Molecular Biology", 1. Auflage, John Wiley and Sons, Canada, Kapitel 1.1, S.1
- [3] <http://www.biologie-schule.de/amphibien.php>, 23.10.2020
- [4] H. FOX (1984): "Amphibian morphogenesis", 1. Auflage, HUMANA press, Clifton, Kapitel 1.1, S.3
- [5] <https://de.wikipedia.org/wiki/Grasfrosch>, 12.06 2020
- [6] <https://de.wikipedia.org/wiki/Bergmolch>, 14. Januar 2020
- [7] D. GLANDT (2016): "Amphibien und Reptilien: Herpetologie für Einsteiger", 1. Auflage, Springer Spektrum, Berlin Heidelberg, Kapitel 17.2-17.3, S.219
- [8] D. GLANDT (2016): "Amphibien und Reptilien: Herpetologie für Einsteiger", 1. Auflage, Springer Spektrum, Berlin Heidelberg, Kapitel 17.6, S.224
- [9] D. GLANDT (2016): "Amphibien und Reptilien: Herpetologie für Einsteiger", 1. Auflage, Springer Spektrum, Berlin Heidelberg, Kapitel 17.5, S. 223
- [10] <https://www.nzz.ch/article86VHS-1.404461>, 26.06.2002

### 5.1 Bilderverzeichnis

Abb. 1- 30. Eigene Aufnahme

## 6 Anhang

### 6.1 Text für den Dokumentarfilm

Die Amphibien sind eine ganz faszinierende Tierklasse. Auf Griechisch bedeutet Amphibien so viel wie „mit doppeltem Leben“. [1]

Zu ihnen gehören die sogenannten Schwanzlurche, die Froschlurche, wie auch die Blindwühlen. [2]

Es gibt rund 6000 verschiedene Amphibienarten auf unserer Welt und jede Einzelne unterscheidet sich von der anderen. Doch bei all ihren Unterschieden haben sie alle eine Gemeinsamkeit: Sie vollziehen die sogenannte Metamorphose. [1]

Die meisten Amphibien beginnen ihr Leben als Kaulquappe. Während ihrer Entwicklung wird aus einem Wassertier ein Landtier. Doch wie genau geschieht dies? Was überhaupt ist eine Metamorphose? Und ist sie bei allen gleich?

Obwohl Frösche und Molche beide bei Laich beginnen und sich zu einer Larve entwickeln [1], sehen beide Arten in ihrem Erwachsenenstadium komplett anders aus. Wie kann das passieren? Und genau um das wird es hier in diesem Film gehen. Ich werde euch zeigen, wie die Metamorphose funktioniert und wie sie sich bei verschiedenen Arten zeigt.

Bevor ich euch die Metamorphose eines Amphibiums zeige, muss der Begriff Metamorphose zuerst definiert werden. Was ist sie überhaupt?

Die Metamorphose ist nicht nur bei Amphibien anzutreffen. Auch in der Botanik hat sie von grosser Bedeutung. Dort versteht man unter der Metamorphose eine Umbildung, wie auch eine Veränderung der Funktionen der Grundorgane. [3], Das bedeutet, dass während ihrer Metamorphose ihre Blätter, Sprossen oder Wurzeln umgewandelt und dadurch an die neuen Lebensumstände angepasst werden.

In der Zoologie sind klassische Beispiele für die Metamorphose etwa die Metamorphose der Insekten und der Froschlurche. Darunter versteht man, die Umwandlung der Larvenform zum Adultstadium, also zu einem erwachsenen, geschlechtsreifen Tier. [4]

In diesem Film wird es hauptsächlich um die Metamorphose der Froschlurche gehen. Was da genau geschieht und wie diese Umwandlung ermöglicht wird, wird im Verlauf des Filmes erklärt.

Für diesen Film wurden zwei einheimische Amphibienarten ausgewählt, welche dann miteinander verglichen werden. Schliesslich bringt es etwas mehr, wenn man unsere heimischen Tiere besser kennt, statt zwei fremde Arten, welche irgendwo in Südamerika leben. Und deswegen sind meine zwei Vergleichskandidaten der einheimische Grasfrosch und der altbekannte Bergmolch.

Wir beginnen mit dem Grasfrosch. Der Grasfrosch gehört zu den Froschlurchen. Alle Amphibien, welche keinen Schwanz besitzen zählen zu den Froschlurchen. Sie machen den grössten Teil der Amphibien aus.

Das Leben eines Grasfrosches beginnt im Wasser. In seinem Leben bewältigt er eine aussergewöhnliche Verwandlung, um nachher an Land leben zu können. [5]

Während der Laichzeit im Frühling legen die Grasfrösche ihre Eier ins Wasser. [44] Sobald die Eier in Kontakt mit Wasser kommen, schwellen sie an. Es entsteht eine gelatinöse Membranhülle. Diese geleeartigen Eierklumpen können aus wenigen oder bis zu Hunderten von einzelnen Eier bestehen. [6]

Um hier aber die Entwicklung genauer untersuchen zu können, wurde der Laich aus dem Teich entnommen und in einem Glasgefäss aufbewahrt. Dieses wurde dann in einen Kühlschrank gestellt. Bei konstanten 6°C und einem geregelten Lichttagesrhythmus konnten sie sich ohne grosse Einflüsse entwickeln.

Nach den ersten 5 Tagen sieht das Ei von aussen noch ziemlich gleich aus, als wäre nichts passiert. Doch schaut man genauer hin, dann sind viele Veränderungen zu sehen.

Denn die Zelle teilte sich. Wenn ihr euch fragt, wie man sehen kann, dass eine Teilung passiert, dann muss man sich gut auf diese Rinnen achten. Denn diese Rinnen entstehen nicht einfach so, sondern erst nach einer Teilung. [7]

Je höher die Umgebungstemperatur ist, desto schneller ist die Entwicklung.

Bei 20°C Wassertemperatur würde die erste Teilung bei einer Zygote, die erste vollständige Zelle, schon zwei Stunden nach der Eiablage abgeschlossen sein. Bei mir gelten diese Zeitangaben nicht, da meine Keime sich unter anderen Bedingungen entwickelten. Man kann sich die Zygote auch als eine Erdkugel vorstellen, bei der die erste Teilung vom Nordpol in den Südpol geht.

Die darauffolgende Teilung trennt den Zweizellenkern ebenfalls mit einer Einschnürung in 4 gleich grosse Scheiben. Auch hier, vom sogenannten animalen zum vegetativen Pol.

Man nennt dies eine Furchungsteilung, da man auf der Oberfläche des Eies Furchen sieht, welche ich vorher als Rinnen bezeichnet hatte. Die entstandenen Teilprodukte werden Blastomere genannt. In der zweiten Teilung sind also nun 4 Blastomeren zu sehen. [8] Bei der Zellteilung werden alle Erbinformationen kopiert, so dass aus einer Zelle zwei genetisch identische Zellen entstehen. [45]

Die Eier des Grasfrosches furchen sich holoblastisch. Das bedeutet so viel, dass die Eizelle vollständig in zwei gleiche Tochterzellen geteilt wird. [9]

Die dritte Teilung entsteht rechtwinklig zu den beiden anderen. Dies ist die erste horizontale Teilung. Die nächste Teilung verläuft wieder vertikal, welches als Resultat ein 16-zelliges Blastom ist. [8]

Nachdem sich nun der Embryo erneut teilt, spricht man neu von einer Morula, oder dem Beerenstadium, denn sie besteht nun aus mehr als 30 Blastomeren. All diese Blastomeren sind ganz alleine durch die Furchungsteilung entstanden und haben kein Grössenwachstum gehabt. Jede neuentstandene Zelle ist nur noch halb so gross wie die vorhergehende. Das heisst also, dass die einzelnen Zellen immer und immer kleiner werden. Man nennt sie eine Morula, weil es der Form einer Brombeere ähnelt, bei der es auch ganz viele kleine kugelige, gleiche Zellen gibt. [10]

Natürlich ist dies nicht das gewünschte Endergebnis, denn am Schluss sollte aus dieser schwarzen „Kugel“ ein Grasfrosch werden. Doch es verlaufen so viele weitere Teilungen, dass es unmöglich ist, sie alle aufzuzählen.

Die Tendenz aber setzt sich fort, dass die Zellen im vegetativen Pol grösser werden, als im animalen Pol. Dies ist so, weil es viel mehr Dottermaterial im vegetativen Pol gibt, als im animalen, welche sich langsamer und schwerer teilen.

Obwohl der Keim aber während seiner Embryonalentwicklung im Ei keine Nahrung aufnimmt von aussen, wächst er, was eigentlich keinen Sinn macht. Denn man sagt doch, dass man nur gross und stark wird, wenn man viel isst. Der Grund dafür ist, dass der Keim von aussen Wasser aufnimmt, welches er in der primären Leibeshöhle speichert, welches Blastocoel genannt wird. Man muss es sich so vorstellen, dass sich ganz viel Flüssigkeit in einem Hohlraum ansammelt, wie ein Wasserballon. Ab diesem Moment spricht man von einer Blastula, [8] welche nun aus mehr als 128 Zellen besteht. [11]

Von aussen sieht man dieses Blastocoel leider nicht, da es im Inneren ist.

Nach dem eine Blastula entstanden ist, findet die sogenannte Gastrulation statt. [11]

Ein sichtbares Merkmal, welches während dieses Prozesses erscheint, ist der sogenannte Urmund. Der Urmund liegt etwas unterhalb des Äquators und ist eine Grube mit einer kleinen Öffnung. [12] Nun strömen viele Zellen, welche um den Urmund liegen, zur Öffnung und gelangen durch sie in den Blastocoel. [13]

An diesem Ort wird sich nachher die Kloake der Kaulquappe befinden. [12]

Was ist denn überhaupt die Gastrulation?

Um dies grob zu erklären, muss man sich vorstellen, dass sich die Zellen der Blastula nun neu ordnen, zu einem speziellen dreischichtigen Embryo, welcher als Gastrula bezeichnet wird. Dies passiert, damit die Zellen nun neue Wechselwirkungen machen können, da sie neben anderen Zellen liegen. [11] Die drei entstandenen Zellschichten haben alle unterschiedliche Zwecke. Nun ist es nicht mehr so, dass alle Zellen gleich sind, denn die Zellen differenzieren sich und bekommen nun eine neue Aufgabe. [14]

Ist die Gastrulation vollendet, so entwickeln sich aus den 3 Keimblättern die Organe und später bildet sich langsam das Nervensystem des Keims und ein biegsamer Stab, welcher später dann zu einer Wirbelsäure wird. Dieser biegsame Stab, auch Chorda genannt, streckt den Embryo. Der Prozess des Abplattens und Streckens setzt sich aber weiter fort. Nun sind der Schwanzabschnitt und die äusseren Kiemen klar ersichtlich. Auch wenn von aussen keine grossen Umformungen zu sehen sind, passieren hier im Inneren ganz viele, spannenden Sachen. [11]

Nach 2 weiteren Tagen bei 6° C sieht man schon klare Veränderungen. Langsam wird die Kopfreion erkennbar. Der Keim streckt sich immer mehr und wird immer flacher und schlanker. Neben der nun erkennbaren Mundregion sind nun zudem ganz schwach zwei Haftorgane zu erkennen. Und dann sieht man schon die ersten Muskelreaktionen. Dies ist dann der Moment, in welchem sich die Larven endlich aus ihrer Eihülle befreien.

Um sich zu befreien, sondern die Embryonen aus ihren Drüsenzellen am Kopf ein Enzym ab, welches die Gallerte auflöst. Ein Enzym ist eine Substanz, die wie ein Tintenkiller wirkt. Gleichzeitig bewegen sie sich stark und schlüpfen hinaus. Ab dem Moment haben sie ihre Embryonalentwicklung beendet und eine neue Entwicklung steht ihnen vor dem Weg, die Larvalentwicklung. [12] Nun beginnt die eigentliche Metamorphose, denn aus der kleinen Kaulquappe, welche momentan nur im Wasser lebt und schwimmt, muss ja schlussendlich ein Grasfrosch werden. Jetzt passieren die spannendsten Veränderungen!

Von nun an müssen sie sich selber ernähren, anfangs nur vom zurückgebliebenen

Dottermaterial des Eies, da der Mund und die Verdauungsorgane bis jetzt noch nicht funktionsfähig waren und somit die Nahrungsaufnahme von anderen Sachen nicht möglich war. [8]

Man nennt diese Tatsache Ovoviviparie, welches so viel bedeutet, dass sich Lebewesen nach dem Schlüpfen von ihrem Dottervorrat ernähren. [15]

Nach dem Schlüpfen sind die Kaulquappen rund 12 mm lang. Man kann kaum etwas sehen, da sie sehr stark pigmentiert sind. Betrachtet man sich den Kopf genauer an, können nicht einmal die Augen und das Maul erkannt werden.

Was man jedoch schnell sieht ist, sind die kleinen, kurzen, äusseren Kiemen. Auf jeder Kopfseite hat sie 3 Büschel davon. Und natürlich sieht man den starken Ruderschwanz mit Flossensaum. [16] Dank den speziellen Haftorganen, welche sie im Mundbereich hat, kann sie sich an ihrer zurückgebliebenen Gallerthülle festhalten.

Nach jedem Tag kann festgestellt werden, dass die Kaulquappen langsam grösser und stärker werden. Langsam öffnet sich ihr Maul und ihr Ruderschwanz wächst weiter und wird durch Hautsäume breiter. Diese Hautsäume sind etwas transparenter und können dadurch gut bemerkt werden. [17] Im Körperinneren formieren sich ausserdem ihr Darm und ihr After. Jetzt haften sie sich nicht nur an ihrer Gallerthülle fest, sondern schwimmen auch in ihrer Umgebung herum und suchen sich ihre Nahrung selbst. [18]

Zudem haben sich deren Kiemen nun verändert.

Sie haben sich innert ein paar Tagen vergrössert und werden nun langsam von einer Hautfalte überwachsen.

Dank eines Kiemenlochs an ihrer linken Körperseite können sie im Wasser Gasaustausch betreiben. [16]

Jetzt ist sie selber verantwortlich, sich zu ernähren. In ihrem Mundfeld hat sie Hornkiefer, mit denen sie Algen, ganz kleine Organismen und Bakterien essen kann. [16]

Ausserdem haben sie um die Mundöffnung herum viele Mundrandpapillen. Auf der Oberlippe gibt es zwei, und auf der Unterlippe drei Zahnreihen[19]

Wie auch bei anderen Orten, können im Gesicht langsam ein Paar Umgestaltungen festgestellt werden. So zum Beispiel die Nasenöffnung und die Augen. Die Augen sind sehr dunkel und können kaum erkannt werden.

Seitdem sie sich selber ernähren können, fällt auf, dass sie viel schneller wachsen und sich

verändern.

Bis anhin war die Kaulquappe immer schwarz. Ist ein Grasfrosch aber nicht grün oder braun? Doch ist er. Es dauert aber eine Weile, bis der Frosch seine Zielfarbe erreicht hat. Mit der Zeit sind langsam kleine goldgelbe Pigmentflecken zu sehen.

Die schwarze Pigmentierung lässt immer mehr nach, damit man die Organe etwas besser sieht, wie die Augen oder die Atmungsorgane.

Wenn man ganz genau hinschaut, dann kann leicht bemerkt werden, dass langsam die Hinterbeine anfangen heranzuwachsen.

Hat aber ein Frosch nicht 4 Beine, ja hat er! Die zwei Vorderbeine wachsen nur langsam im Körperinneren heran. Man kann es daran erkennen, dass im Bereich des Kiemenraumes eine leichte Ausbuchtung entsteht. Und plötzlich aus dem Nichts hat dann die Larve 4 Beine. Natürlich reißt die Haut nicht gerade, damit die Vorderbeine „freigelassen werden können“. Dank eines Enzyms wird die Haut dort sehr dünn, so dass man, kurz bevor die Beine durchbrechen, diese noch im Körperinneren erkennen kann. Diese Haut löst sich also, damit dann die Beine herauskommen können. [18]

Zwischen den Zehen hat der Grasfrosch spezielle Schwimmhäute, welche ihn zu einem geschicktem Schwimmer machen! Die Hinterbeine sind zudem länger als die Vorderbeine. Mit seinen starken Sprungbeinen wird er sich zudem auf dem Land schnell bewegen können.

Auch die Pigmentierung hat sich in den letzten paar Wochen rasant verändert. Sie hat an Farbe zugenommen, so dass nun eine bräunliche Färbung erkennbar ist. Die neuen Beine bekommen mit der Zeit eine noch stärkere Pigmentierung. Auf dem Rücken sind zwei etwas hellere Streifen entstanden, welche parallel zueinander sind.

Der junge Frosch hat nun eine Länge von rund 5 cm erreicht.

Jetzt sieht sie schon fast wie ein Frosch aus, nicht wahr?

Nur noch der Schwanz muss weg! Nun begibt sich die Kaulquappe langsam aus dem Wasser und aus einem Wassertier wird ein Landtier! Sobald sie nicht mehr im Wasser ist, bildet sich der Schwanz langsam zurück, da er auf dem Land nur noch stören würde. Während der Zeit, in der sich der Frosch umwandelt, isst er nichts mehr. Er lebt nur noch vom sich zurückbildenden Schwanz [20], indem er ihn vom Körperinneren her verdaut. [21]

Nicht nur der Schwanz stört nun das neue Landtier, seine Zähne ebenso. Seine Hornkiefer und Lippenzähnen sind nun nicht mehr geeignet, da sich nun das Nahrungsangebot des Landtiers ändert. Aus einem Pflanzenfresser wird nach und nach ein Fleischfresser, welcher natürlich nun ein geeignetes Maul braucht.

Unter anderem wächst jetzt eine Zunge und der Mund bereitet sich auf seine neue Nahrung vor.  
[18]

Mit der neuen Nahrung muss natürlich auch der Darm desgleichen neu angepasst werden. Es gibt eine Umbildung des vorher langen Larvendarms ohne Magen. Der Frosch bekommt einen komplett neuen Verdauungsapparat!

Die Kiemen bringen ihm nun nicht mehr viel. Sie werden abgebaut und nach und nach durch Lungen ersetzt. [22] Dies wird ermöglicht, weil die Kiemen vom Gefässnetz separiert und aufgelöst werden. [23]

Durch die neuen Lungen werden die Blutgefäße umkonstruiert. Die Arterien in den Kiemenbögen verändern sich und die Kardinalvenen werden durch neue Gefäße ausgetauscht, [24] denn das Kardinalvenensystem hat ein Amphibium nur am Anfang seiner Entwicklung.  
[25]

Sieht man sich sein Gesicht genauer an, dann kann man erkennen, dass dort ebenso viele Veränderungen eingetreten sind. Die markanten Augenlider, welche neu ausgebildet wurden, geben dem neuen Frosch ein wichtiges Merkmal. [22]

Die wasserdurchlässige, dünne Haut der Larven muss sich dem neuen Lebensort anpassen. An Land braucht der Frosch nun eine starke, vielschichtige Haut. [21] Die Haut hat aber eine weitere wichtige Aufgabe, denn die Lunge alleine reicht dem Frosch nicht aus zum Atmen. Er ist auch auf die Haut angewiesen, welche ebenfalls atmen kann. Etwa ein Viertel der Sauerstoffversorgung kommt aus dieser sogenannten Hautatmung. [26]

Das waren noch lange nicht alle Umgestaltungen, welcher der kleine Frosch nun innert einigen Wochen bewältigt hat.

Es ist also, wie ihr sieht, ein komplett anderes Leben auf dem Land als im Wasser. Der ganze Körper muss sich speziell darauf vorbereiten und umwandeln. Und dies kann die Kaulquappe, beziehungsweise der neue Frosch innerhalb von einigen Wochen bewerkstelligen.

Doch wie funktioniert die Metamorphose eigentlich? Passiert sie einfach so? Durch was wird sie gesteuert?

Wie kann der Körper einer Amphibie wissen, was sie zu tun hat, dass sie nun die Kiemen abbauen muss und Lungen bilden sollte?

Die Antwort darauf ist, dass Hormone diese ganze Umwandlung beeinflussen.

Die Metamorphose wird durch ein Prinzip der dualen, antagonistischen Steuerung ermöglicht.  
[27]

Der Körper besitzt verschiedene Botenstoffe, sogenannte Hormone.

Das Hormon Prolactin beispielsweise, welches zu den Wachstumshormonen gehört, begünstigt unter anderem das Wachstum, bremst aber den Umbau des Körpers.

Ein anderes Hormon Thyroxin wiederum ist genau für das Gegenteil zuständig, denn es drosselt das Wachstum und fördert die Umwandlung beziehungsweise die Metamorphose.

Bei Amphibien gibt es eine Signalkette, welche die Metamorphose steuert.

Beginnen tut alles im Hypothalamus. Er produziert ein Hormon, [28] welches auf die Hypophyse, die Hirnanhangsdrüse, zielt. Die Hypophyse setzt daraufhin das Hormon TSH frei, welches die Schilddrüse zum Start der Metamorphose anregt. Die Schilddrüse setzt das Hormon Thyroxin frei. Über den Blutkreislauf wird das Hormon im ganzen Körper verteilt. [29] Gelangt das Hormon zu seiner Zielzelle, so dockt es am Rezeptor der Zielzelle an. Das Hormon und der Rezeptor passen perfekt zusammen. Dieses Prinzip wird Schlüssel-Schloss-Prinzip genannt. Ist das Hormon an der Zielzelle angedockt, so werden in ihr Stoffwechselfvorgänge ausgelöst. [30] Im Verlaufe der Metamorphose erhöht sich die Konzentration des Prolactins im Blut der Kaulquappe, welches eigentlich keinen Sinn macht, da dieses Hormon die Metamorphose bremst.

Doch so muss es sein, denn während der Metamorphose müssen viele Gewebe und Organe zuerst heranwachsen und können noch nicht gerade umgewandelt werden. Das Hormon bereitet manche Gewebe sozusagen vor, damit sie später richtig auf das Hormon Thyroxin reagieren können.

Sind die Organe genug gross für den nächsten Schritt, dann sorgt das Hormon Thyroxin, dass seine Zielzellen die Metamorphose vollziehen dürfen. [28]

Es ist ziemlich faszinierend, dass durch wenige Hormone so viele verschiedene Umwandlungen ermöglicht werden. Wie kann das möglich sein? Jedes hormonelle Signal wird von jedem Gewebe etwas anders beantwortet. Es ist also nicht so, dass ein Hormon eine Aufgabe erteilt, die für jeden gleich ist, sondern für jedes Gewebe ist die Information etwas anders. Ein einziges Hormon kann also extrem vieles bewirken! Natürlich gibt es mehr Hormone als nur Thyroxin und Prolactin.

Eine wichtige Rolle spielen die Hormone Cortisol und Aldosteron, welche den Frosch auf seine neuen Gegebenheiten in der Natur vorbereiten. Cortisol zum Beispiel hilft ihm, dass sein Organismus bereit ist auf lange Zeiten der Entbehrung. Aldosteron ist für die Steuerung der Nierenfunktion zuständig. [31]

Es gibt aber noch einen weiteren Auslöser für die Metamorphose. Nämlich die externen Umweltfaktoren. So spielen die Tageslänge und die Temperatur des Wassers eine wichtige Rolle für den Start seiner Metamorphose. Ist eine Larve bereit für seine Veränderung, so muss zuerst eine Wassertemperatur von mindestens 7°C erreicht werden. Auch steigende Temperaturen können die Entwicklung deutlich beschleunigen [32]

Das also war nun die Entwicklung unseres lieben Grasfrosches, ganz faszinierend, nicht wahr? Nun wissen wir auch noch, durch was die Metamorphose gesteuert wird.

Wir haben aber noch einen weiteren Kandidaten den wir uns genauer betrachten wollen.

Der Bergmolch.

Wie ich vorhin schon erwähnt habe, beginnen beide Amphibienarten mit einem Laich. Doch welche Unterschiede werden wir nun in seiner Metamorphose antreffen?

Wir sind gespannt!

Um an Laich zu gelangen, habe ich eine etwas andere Art angewandt. Anstatt nach Laich in der Natur zu suchen, habe ich hier ein wunderschönes Bergmolchpaar und ich hoffe sehr, dass sie sich versöhnen und das Weibchen demnächst Eier legen wird.

Bei den Molchen gibt es ein sehr spannendes Ritual der Männchen. Man nennt es Hochzeitsspiel.

Seht ihr diese speziellen Bewegungen des Schwanzes? Das ist es!

Wenn ein Männchen im Gewässer ein Weibchen antrifft, so beginnt er mit dem Hochzeitsspiel.

Und dies geschieht folgendermassen:

Das Männchen platziert sich vor ihr, biegt die Spitze seines Schwanzes zu ihr und beginnt mit ihm zu fächeln. Durch diese fächelnde Bewegung fließt ein Wasserstrom zum Weibchen. Zur gleichen Zeit gibt er Duftstoffe ab, welche mit diesem Strom zu ihr gelangen. [33]

Dieses Parfüm und die optischen Signale des Männchens sollten dem Weibchen zeigen, dass er sich paaren will. Wenn nun das Weibchen ebenfalls paarungswillig ist, so folgt sie ihm und stößt mit ihrem Kopf leicht an seinen Schwanz.

Leider konnte ich diesen Teil des Balzrituals nicht mehr aufnehmen, doch das Männchen hat nachher aus seiner Kloake eine Spermatophore ausgesetzt. Die Kloake ist die gemeinsame

Mündung des Enddarms, des Harnleiters und des Geschlechtsorgans, eine Spermatophore ist ein Samenträger.

Nachdem er diese Spermatophore auf den Boden gesetzt hat, läuft das Weibchen darüber, bis sie mit ihrer Kloake über diesen Samenträger steht und nimmt ihn in ihre Kloake auf. Diese wird dann in ihren Blindsäcken gespeichert. [34]

Am nächsten Tag sind unverhofft ganz viele kleine Eier zu sehen. Und schon hier sind ein paar Unterschiede zum Froschlaich feststellbar.

Auffällig ist die unterschiedliche Grösse der Eier. Kurz nach dem Ablaichen waren die Molcheier mit fast 4 mm zirka halb so gross wie die der Grasfrösche, welche einen Durchmesser von fast 1 cm haben.

Doch auch die Art, wie beide Amphibienarten laichen ist sehr unterschiedlich! Anders als bei den Fröschen, welche hunderte bis tausende Eier in Klumpen laichen, laicht der Bergmolch die Eier einzeln ab. Jedes einzelne Ei wird vom Weibchen in Blätter von Wasserpflanzen eingewickelt. [34] Wie ihr sieht, sind diese durchsichtigen Streifen natürlich keine Wasserpflanzen. Damit man die Entwicklung des Eies etwas genauer beobachten kann, habe ich anstatt Wasserpflanzen eine Attrappe aus durchsichtigen Plastikstreifen erstellt, doch das sollte den Molchen ebenfalls gut passen.

Die Zellteilung ist bei beiden Amphibienarten sehr ähnlich. Zunächst teilt sie sich in 4 gleich grosse Zellen, dann teilt sie sich, wie auch beim Grasfrosch bei der 3. Teilung horizontal. Die horizontale Teilung verläuft nicht gerade in der Mitte durch, sondern etwas oberhalb der Mitte. Somit entstehen nach der 3. Teilung oben 4 kleinere und unterhalb 4 etwas grössere Zellen.

Vergleichbar zum Grasfrosch, teilt sich der Keim nun immer und immer weiter, ohne wirklich an Grösse zu gewinnen. [34] Nach einem Tag besteht der Keim aus ca. 8192 Zellen. Von diesem Zeitpunkt an teilen sich die Zellen nicht mehr zur gleichen Zeit wie bis anhin. Hier bildet sich im Inneren gleichermassen ein Hohlraum. Ein bis zwei Tage später entstehen beim Bergmolchkeim genauso drei Schichten, die äussere, mittlere und das innere Keimblatt. Ein paar Tage später sind die Organe im Körper leicht erkennbar. [35]

Leider ist es etwas schwierig, die Eier in den Plastikstreifen genau zu beobachten. Genaue Details sind schwer zu erkennen. Was sich gut beobachten lässt, ist die Form der bald schlüpfenden Larven. Der Kopfabschnitt und der Schwanz werden nach und nach immer auffälliger. Schon vor dem Schlüpfen der Larve kann gesagt werden, dass sie viel schmäler aufgebaut ist, als die Kaulquappe im gleichen Stadium. Wenn man ganz genau hinschaut, dann sind die äusseren Kiemen sichtbar.

Es dauert ungefähr eine Woche bei 22°C, bis die Larve ihre Eihülle verlässt. So sieht sie aus, wann sie geschlüpft ist. [35] Fällt euch etwas auf? Sie sieht ganz anders aus als jene des Grasfrosches. Vor allem die Farbe und der Aufbau des Körpers!

Schon nach dem Schlüpfen hat die Larve eine viel hellere, leicht bräunlich grüne Farbe. Sie ist viel schmäler als die Larven des Grasfrosches in der gleichen Phase. Von der Länge her, sind aber beide etwa gleich lang.

Zunächst sieht man drei Kiemenstränge. Diese vergrössern und verästeln sich in den nächsten paar Tagen. Wenn man die beiden nebeneinander betrachtet, dann sehen die äusseren Kiemen des Molchs etwas aus wie Tannenbaumäste. Und die des Grasfrosches ein bisschen wie eine Koralle.

Wie beim Grasfrosch sind zu Beginn noch keine Extremitäten zu sehen. [36]

Einer der grössten Unterschiede ist jedoch die Pigmentierung und die Farben der beiden Vergleichskandidaten. Bei der Kaulquappe konnte kaum etwas erkannt werden, ausser seine äusseren Kiemen. Durch die leichtere und hellere Pigmentierung des Molchs kann viel mehr erfasst werden, wie das Gehirn und das Herz.

Die Larven des Grasfrosches waren ganz schwarz und hatten kein Muster. Im Gegensatz dazu die Larve des Bergmolchs, welches ein typisches, streifiges Muster besitzt. Die Augen sind beim Bergmolch viel besser sichtbar, was bei der Kaulquappe zu Beginn kaum möglich war.

Schon nach einer guten Woche sind weitere Veränderungen zu sehen. Die Pigmentierung ist stärker geworden und das gestreifte Muster lässt mit der Zeit immer mehr nach. Es sind viele kleine Punkte entstanden.

Anders als bei der Kaulquappe ist sein Dotter schon praktisch aufgebraucht worden. Die Larve muss sich also schon kurz nach dem Schlüpfen sein eigenes Essen suchen. [36]

Im Vergleich zum Grasfrosch isst er von Anfang an kleine Wassertiere und ist kein Vegetarier. [37]

Die beiden Schwänze der beiden Amphibienarten unterscheiden sich schon jetzt deutlich voneinander. Die Larven des Bergmolchs haben einen eher schmalen und spitzigen Schwanz. Im Vergleich dazu hat die Kaulquappe einen breiteren und rundlicheren Schwanz.

Zudem hat die Molchlarve zwei Haftorgane, welche ihr für den Anfang durchs Leben helfen. Diese bilden sich aber mit der Zeit langsam zurück, da nun die neugebildeten Vorderbeine ihre

Funktion übernehmen. [38]

Bei den Kaulquappen war es genau umgekehrt. Zuerst sind die Hinterbeine gewachsen und danach erst die Vorderbeine. Auch wachsen die Vorderbeine der Molchlarve nicht im Körperinneren heran, sondern Stück nach Stück, wie die Hinterbeine der Kaulquappen.

Etwa in der Mitte der Molchlarve werden langsam die Anlagen der Hinterbeine erkennbar und nach einer guten Woche sind sie dann schon hier! Anfangs werden sie nur leicht durchblutet, bis sie sich dann mehr entwickelt haben und weitere Blutgefässe entstanden sind.

Seine Pigmentierung wird immer stärker. Die Molchlarve wird immer dunkler und die gepunktete Pigmentierung wird immer intensiver.

Die äusseren Kiemen bleiben bei der Bergmolchlarve viel länger aktiv als beim Grasfrosch. Beim Grasfrosch sind seine äusseren Kiemen schon eingewachsen, noch bevor er seine Beine bekommen hat.

Mit der Zeit wächst der junge Molch immer mehr heran. Er wird länger und breiter. Die Pigmentierung nimmt immer mehr zu, so dass ein bräunlicher Stich entsteht. Seine Pigmentierung bildet langsam ein Muster über seinen ganzen Körper mit helleren und dunkleren Bereichen. Entlang seiner Wirbelsäure entsteht langsam ein dunkler Strich. Mit den neuen 4 Beinen kann er nun viel besser jagen und kann sich somit schnell entwickeln.

In den nächsten paar Wochen sieht man von aussen keine neuen Veränderungen, ausser dass der Molch immer grösser und stärker geworden ist. Doch im Inneren bereitet sich der Körper auf den neuen Lebensort vor. Ist der Molch genug gross, so bauen sich die äusseren Kiemen langsam zurück. Und kurz nachdem sie nicht mehr vorhanden sind, begibt sich der Molch aus dem Wasser. Wie auch beim Grasfrosch müssen sich nun viele Organe auf die neue Umgebung schnellstens anpassen. Die Haut wird stärker, die Augenlieder differenzieren sich, welches man gut an den Farben erkennen kann. Aus den durchsichtigen Augenlieder entstehen nun dunkle Augenlieder mit einer gelben Iris. Anders als beim Grasfrosch behält der Bergmolch ein Leben lang seinen Schwanz.

Der Molch bekommt ebenfalls Lungen. Die Hautatmung hat beim Molch eine noch grössere Bedeutung als beim Grasfrosch, denn circa  $\frac{3}{4}$  der notwendigen Luft nimmt er durch seine Haut auf. Der Grund, wieso die Hautatmung so bedeutend ist, ist, dass Molche im Wasser überwintern. Während der Überwinterung tauchen die Molche kaum an die Wasseroberfläche, um zu atmen. Das bedeutet also, dass sie ihr Sauerstoff aus dem Wasser holen müssen und dadurch die Haut besonders viel Sauerstoff durchlassen muss. [26]

Je grösser er wird, desto grössere Insekten frisst er. Während seiner Umwandlungsphase isst

der Bergmolch nicht viel. Er ernährt sich von seinem zurückbildenden Schwanzflossensaum, welcher er nun auf dem Land nicht mehr benötigt. Sobald er auf dem Land ist, häutet er sich. [37]

Der junge Bergmolch hat seine Entwicklung problemlos vollzogen. Nun ist sein Körper bereit für ein langes Leben voller Abenteuer! Selbstverständlich wächst er nun noch mehr heran, doch es finden keine anderen Umwandlungen mehr statt.

Hier ist nochmals ein kleiner Vergleich um zu zeigen, wie unsere Kandidaten am Anfang ausgesehen haben und wie sie jetzt aussehen: komplett anders.

Aus einer kleinen schwarzen Kaulquappe ist ein starker Grasfrosch mit kurzen Vorderbeinen mit jeweils 4 Zehen und zwei starken, langen Hinterbeinen mit jeweils 5 Zehen entstanden.

Aus unserer Bergmolchlarve ist nun ein grosser, schlanker Molch entstanden mit vier gleich grossen Hinter- und Vorderbeinen und einem starken Schwanz.

Wie ihr gesehen habt, ist es nicht so, dass alle Amphibien die gleiche Metamorphose durchlaufen. Auch wenn viele Aspekte gleich sind, gibt es durchaus grosse Unterschiede.

Aus diesem Grund hat man bei den Amphibien drei verschiedene Metamorphosenarten bestimmt.

Man unterscheidet die Metamorphose in Urodeles, in Caecilians und in Anurans.

Unser lieber Grasfrosch vollzieht die Metamorphose in Anurans und unser Bergmolch, in Urodeles. [39]

Nun was bedeutet das den genau?

Die Metamorphose in Urodeles zeichnet sich dadurch aus, dass der Körper der Larve ähnlich aussieht, wie der des Erwachsenen.

Natürlich verändern sich auch bei ihm einige Sachen, wie wir es gesehen haben.

Einerseits werden die äusseren drei Kiemenbüschel abgebaut und die Schwanzflosse verändert sich. [39] Auch die Pigmentierung entwickelt sich während der Metamorphose und deren Skelett und Muskulatur. Das Hormon Thyroxin spielt bei beiden eine wichtige Rolle, denn sie kontrolliert die ganze Entwicklung.

Die Metamorphose in Anurans ist die meisterforschte und dramatischste Metamorphose bei den Amphibien. [40] Da in ihrem Verlauf so viele Veränderungen vollzogen werden, hat man sie in drei Stadien unterteilt. Die Premetamorphose, Prometamorphose und der Metamorphose Klimax. In der Premetamorphose ist das Hormon Thyroxin nicht anwesend. Es ist eine kurze Periode zwischen der Embryonalentwicklung und der frühen Kaulquappenentwicklung.

In der Prometamorphose verändert sich das hintere Glied der Kaulquappe. Die Hinterbeine wachsen heran. Ab diesem Stadium setzt das Hormon Thyroxin seine Wirkungen frei.

In der Metamorphose Klimax geschehen die meisten Umwandlungen. Der Schwanz wird abgebaut, es geschehen viele externe Anpassungen und interne Transformationen. [41]

In der ganzen Entwicklungszeit gibt es vor allem drei grosse Arten von Veränderungen.

Die erste wäre die Resorption aller spezifischen Kaulquappenorgane, unter anderem der Schwanz [42] und die Kiemen, welche nach und nach durch die Lungen ersetzt werden. [43]

Auf der anderen Seite entwickeln sich komplett neue froschspezifische Organe.

Und die dritte grosse Veränderung ist der Umbau von den schon existierenden Organen, wie die Leber und der Darm. [42]

Wir kommen nun langsam zum Schluss des Filmes. Um alles kurz zusammenzufassen, kann grob gesagt werden, dass der Grasfrosch eine viel kompliziertere und vielseitigere Metamorphose durchläuft als der Molch. Auch wenn viele Punkte, wie der Abbau der äusseren Kiemen und die Umschaltung auf eine Lungenatmung bei beiden gleich sind, haben beide Arten auch eigene Punkte, welche bei der anderen Art nicht vorkommen.

Das Hormon Thyroxin spielte bei beiden Amphibien eine besonders wichtige Rolle.

Ich hoffe, ihr konntet viel Wissenswertes lernen, und wenn ihr nun im Frühling in einem Teich Laich seht, dann wisst ihr nun, welche faszinierenden Umwandlungen dem Laich noch bevorstehen.

## 6.2 Quellen für den Dokumentarfilm

- [1] T. MARENT (2009): "Frösche und andere Amphibien", 1. Auflage, Dorling Kindersley Verlag, München, Klapptext
- [2] <http://www.karch.ch/karch/de/home/amphibien.html>, 7.3.20
- [3] <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/metamorphose/7535>, 5.10.20
- [4] [https://www.biologie-seite.de/Biologie/Metamorphose\\_\(Zoologie\)](https://www.biologie-seite.de/Biologie/Metamorphose_(Zoologie)), 5.10.20
- [5] T. MARENT (2009): "Frösche und andere Amphibien", 1. Auflage, Dorling Kindersley Verlag, München, Kapitel Fortpflanzung; Laichen im Wasser, S.214
- [6] KIRSCHNER, DAVID, G. COGGER H., R. ZWEIFEL (1999): "Enzyklopädie der Reptilien und Amphibien", 1. Auflage, Weltbild, Augsburg, S.81
- [7] D. GLANDT (2016): "Amphibien und Reptilien: Herpetologie für Einsteiger", 1. Auflage, Springer Spektrum, Berlin Heidelberg, Kapitel 6.2, S.60
- [8] R. GÜNTHER (1990): "Die Wasserfrösche Europas (Anura- Froschlurche)", 1.Auflage, A. Ziemsen Verlag, DDR Wittenberg Lutherstadt, Kapitel 5.1, S.54
- [9] W. A. MÜLLER, M. HASSEL (2018): "Entwicklungsbiologie und Reproduktionsbiologie des Menschen und bedeutender Modellorganismen", 6. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, Kapitel 5.1, S.115
- [10] <http://www.embryology.ch/allemand/evorimplantation/furchung01.html>, 14.8.20
- [11] <http://n.ethz.ch/~nielssi/download/1.%20Semester/GL%20der%20Biologie%20IA%20Allgemeine%20Biologie/Unterlagen/W.%20Krek/WKrek%20Kapitel%20Entwicklung%20011.pdf>, 14.8.20
- [12] R. GÜNTHER (1990): "Die Wasserfrösche Europas (Anura- Froschlurche)", 1.Auflage, A. Ziemsen Verlag, DDR Wittenberg Lutherstadt, Kapitel 5.2, 61
- [13] W. A. MÜLLER, M. HASSEL (2018): "Entwicklungsbiologie und Reproduktionsbiologie des Menschen und bedeutender Modellorganismen", 6. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, Kapitel 5.1.4, S.120
- [14] <https://de.wikipedia.org/wiki/Keimblatt>, 22.7.20
- [15] R. HOFRICHTER (1998): "Amphibien: Evolution, Anatomie, Physiologie Ökologie und Verbreitung Verhalten Bedrohung und Gefährdung", 1. Auflage, Naturbuch, Augsburg, S.94
- [16] <https://de.wikipedia.org/wiki/Kaulquappe>, 2.10.20

- [17] W-R GROSSE (1994): "Der Laubfrosch: Hyla arborea", Band 615, Westarp Wissenschaften, Magdeburg, Kapitel 8.7, S.159
- [18] R. GÜNTHER (1990): "Die Wasserfrösche Europas (Anura- Froschlurche)", 1.Auflage, A. Ziemsen Verlag, DDR Wittenberg Lutherstadt, Kapitel 5.2, S.62
- [19] W-R GROSSE (1994): "Der Laubfrosch: Hyla arborea", Band 615, Westarp Wissenschaften, Magdeburg, Kapitel 8.6, S.154-155
- [20] J. WALTER, E. KNAPP, A.KREBS, W. ETTMÜLLER (1976): "Amphibien unserer Heimat", Nr.29/1977, Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen, Thayngen-Schaffhausen, Kapitel: Die Larvenentwicklung der Froschlurche, S.17
- [21] D. GLANDT (2016): "Amphibien und Reptilien: Herpetologie für Einsteiger", 1. Auflage, Springer Spektrum, Berlin Heidelberg, Kapitel 6.2, S.63
- [22] R. GÜNTHER (1990): "Die Wasserfrösche Europas (Anura- Froschlurche)", 1.Auflage, A. Ziemsen Verlag, DDR Wittenberg Lutherstadt, Kapitel 5.2, S.63
- [23] Y.B. SHI (1999), "Amphibian Metamorphosis; From Morphology to Molecular Biology", 1. Auflage, John Wiley and Sons, Canada, Kapitel 3.2.2, S.40
- [24] [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-07055-0\\_22.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-07055-0_22.pdf), 19.8.20, S.515
- [25] <https://de.wikipedia.org/wiki/Kardinalvene>, 30.10.18
- [26] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie/artikel/lurche>, 8.9.20
- [27] [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-07055-0\\_22.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-07055-0_22.pdf), 19.8.20, 512
- [28] W. A. MÜLLER, M. HASSEL (2018): "Entwicklungsbiologie und Reproduktionsbiologie des Menschen und bedeutender Modellorganismen", 6. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, Kapitel 20.2, S. 577
- [29] W. A. MÜLLER, M. HASSEL (2018): "Entwicklungsbiologie und Reproduktionsbiologie des Menschen und bedeutender Modellorganismen", 6. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, Kapitel 20.2, S. 578
- [30] [https://www.planet-wissen.de/natur/anatomie\\_des\\_menschen/hormone/pwiewirkungsweisederhormone100.html](https://www.planet-wissen.de/natur/anatomie_des_menschen/hormone/pwiewirkungsweisederhormone100.html), 13.1.20
- [31] W. A. MÜLLER, M. HASSEL (2018): "Entwicklungsbiologie und Reproduktionsbiologie des Menschen und bedeutender Modellorganismen", 6. Auflage, Springer-Verlag GmbH,

Heidelberg, Kapitel 20.2, S.579

- [32] W. A. MÜLLER, M. HASSEL (2018): "Entwicklungsbiologie und Reproduktionsbiologie des Menschen und bedeutender Modellorganismen", 6. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, Kapitel 20.2-20.3, S.580
- [33] J. WALTER, E. KNAPP, A.KREBS, W. ETTMÜLLER (1976): "Amphibien unserer Heimat", Nr.29/1977, Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen, Thayngenschaffhausen, Kapitel: Das Hochzeitsspiel der Molche, S.11
- [34] J. WALTER, E. KNAPP, A.KREBS, W. ETTMÜLLER (1976): "Amphibien unserer Heimat", Nr.29/1977, Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen, Thayngenschaffhausen, S.12
- [35] J. WALTER, E. KNAPP, A.KREBS, W. ETTMÜLLER (1976): "Amphibien unserer Heimat", Nr.29/1977, Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen, Thayngenschaffhausen, Kapitel: Eiablage und Keimentwicklung bei Molchen, S.13
- [36] B. THIESMEIER, U. SCHULTE (2010): "Der Bergmolch: Im Flachland wie im Hochgebirge zu Hause", 1. Auflage, Laurenti-Verlag, Bielefeld, Kapitel 8.3, S.97
- [37] [https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/naturschutz/artenschutz/anleitung\\_zur\\_haltung\\_von\\_amphibien.pdf](https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/naturschutz/artenschutz/anleitung_zur_haltung_von_amphibien.pdf), Juni 2006
- [38] D. GLANDT (2016): "Amphibien und Reptilien: Herpetologie für Einsteiger", 1. Auflage, Springer Spektrum, Berlin Heidelberg, Kapitel 6.6, S.74
- [39] Y.B. SHI (1999), "Amphibian Metamorphosis; From Morphology to Molecular Biology", 1. Auflage, John Wiley and Sons, Canada, Kapitel 1.3, S.4
- [40] Y.B. SHI (1999), "Amphibian Metamorphosis; From Morphology to Molecular Biology", 1. Auflage, John Wiley and Sons, Canada, Kapitel 1.3, S.5
- [41] Y.B. SHI (1999), "Amphibian Metamorphosis; From Morphology to Molecular Biology", 1. Auflage, John Wiley and Sons, Canada, Kapitel 1.3, S.6
- [42] Y.B. SHI (1999), "Amphibian Metamorphosis; From Morphology to Molecular Biology", 1. Auflage, John Wiley and Sons, Canada, Kapitel 3.1, S.36
- [43] Y.B. SHI (1999), "Amphibian Metamorphosis; From Morphology to Molecular Biology", 1. Auflage, John Wiley and Sons, Canada, Kapitel 3.2, S.37
- [44] <http://www.amphibien-reptilien.com/info-grasfrosch-rana-temporaria.html>, 13.03.2014

[45] <https://de.serlo.org/biologie/genetik-gentechnik/zytogenetik-genetik-zelle/mitose-zellteilung>, 16.10.20

### 6.2.1 Musikquellen:

Creations by Rafael Krux

Link: <https://filmmusic.io/song/5623-creations->

License: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

### 6.2.2 Abbildungen im Film:

W-R GROSSE (1994): "Der Laubfrosch: *Hyla arborea*", Band 615, Westarp Wissenschaften, Magdeburg, Kapitel 6.6, S. 154, Abb.84: Hylidenlarve (schematisch). Zeichnung: ERBE

W-R GROSSE (1994): "Der Laubfrosch: *Hyla arborea*", Band 615, Westarp Wissenschaften, Magdeburg, Kapitel 6.6, S.155, Abb. 85: Mundfeldbezahnung (schematisch). Zeichnung ERBE,

W. A. MÜLLER, M. HASSEL (2018): "Entwicklungsbiologie und Reproduktionsbiologie des Menschen und bedeutender Modellorganismen", 6. Auflage, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, Kapitel 20.1.2, S. 574, Abb. 20.3: Metamorphose des Frosches und ihre hormonale Kontrolle (aus Müller und Frings 2015, verändert)

## 7 Danksagung

Ein riesiges Dankeschön geht an Frau Ingrid Wenk-Siefert für die Beratungen und die Unterstützung während des ganzen Prozesses.

Ein weiteres grosses Dankeschön geht an Herr Thomas Maag für die Unterstützung, das Finden eines Bergmolchpaars und für die Tipps für das Halten von Amphibien.

Zudem wird Paulo Sigg gedankt, für die Hilfe beim Aufnehmen der Amphibien mit einer Kamera.

Ausserdem wird Mathias Amrein gedankt für das orthographische und grammatikalische Korrigieren der Arbeit und an die Biologiefachschaft der Kantonsschule Limmattal. Die Fachschaft der Kantonsschule stellte für die Maturitätsarbeit die Binokularlupe zur Verfügung und haben während der Pandemiezeit angeboten, die Binokularlupe mit nach Hause zu nehmen.

## 8 Eigenständigkeitserklärung

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

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

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

28. Oktober 2020

Evastueten