

**Welchen Einfluss hat die Beschattung von Bahnböschungen
durch Lärmschutzwände auf den Fortpflanzungserfolg
der Zauneidechse *Lacerta agilis* ?**

Diplomarbeit
der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern



Vorgelegt von
Petra Graf
2007

Leiter und Koleiter der Arbeit:

Prof. Dr. Marcel Güntert
Naturhistorisches Museum der Burgergemeinde Bern
und
Dr. Benedikt Schmidt
Zoologisches Institut der Universität Zürich

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

1	Einführung	4
1.1	Aktueller Anlass der Studie	4
1.1.1	Bahnböschungen als wichtige Reptilienhabitats	4
1.1.2	Lärmschutzwände an Bahnböschungen: Eine Bedrohung für Reptilien?	4
1.2	Untersuchungsmodell	5
1.2.1	Zielart	5
1.2.2	Status in der Schweiz	5
1.2.3	Brutbiologie der Zauneidechse	5
1.3	Hypothesen und Voraussagen	6
2	Material und Methoden	8
2.1	Versuch mit trächtigen Zauneidechsen im Klimaraum	8
2.1.1	Herkunft und Fang der Tiere	8
2.1.2	Haltungsbedingungen im Terrarium	8
2.1.3	Experimentelles Design	9
2.1.4	Datenerhebung	9
2.2	Versuch mit den gelegten Eiern	11
2.2.1	Inkubationseinrichtung	11
2.2.2	Experimentelles Design	11
2.2.3	Datenerhebung	12
2.3	Datenerhebung der Jungtiere	13
2.3.1	Vorgeschichte der Weibchen und Inkubationsbedingungen	13
2.4	Statistische Analyse	14
3	Ergebnisse	15
3.1	Versuch mit trächtigen Zauneidechsen im Klimaraum	15
3.1.1	Körpertemperatur der Weibchen	15
3.1.2	Das Verhalten der Weibchen	15
3.1.3	Gewicht der Weibchen	15
3.1.4	Eiablage	15
3.1.5	Gelegegröße	17
3.1.6	Ort der Eiablage	17
3.1.7	Ektoparasiten	17
3.2	Versuch mit den gelegten Eiern	18
3.2.1	Unbefruchtete und befruchtete Eier	18
3.2.2	Inkubationsdauer	19
3.3	Daten der Jungtiere	21
3.3.1	Vorgeschichte der Weibchen und Inkubationsbedingungen	21
4	Diskussion	26
4.1	Versuch mit trächtigen Zauneidechsen im Klimaraum	26
4.2	Versuch mit den gelegten Eiern:	29
4.3	Körperkondition der Jungtiere:	30
4.4	Ausblick	33
5	Danksagung	35
6	Literatur	36
7	Appendix	38

Zusammenfassung

In den vergangenen Jahrzehnten hat die Zauneidechse (*Lacerta agilis* LINNAEUS 1758) besonders durch die Intensivierung der Landwirtschaft gravierende Bestandeseinbrüche erlitten. In der aktuellen Roten Liste der gefährdeten Reptilienarten der Schweiz (2005) wird sie als gefährdet (vulnerable) eingestuft. Etwa 20% aller bekannten Vorkommen in der Schweiz liegen heute innerhalb eines 40 m breiten Streifens entlang von Bahnlinien. Diese wichtigen Lebensräume sind gefährdet, denn die Schweizerischen Bundesbahnen planen darin vielerorts die Erstellung kilometerlanger Lärmschutzwände. Durch diese Bauwerke werden optimale Zauneidechsenhabitate in Fragmente zerstückelt. Zusätzlich beschatten die rund 2 m hohen Lärmschutzwände, je nach Exposition, beträchtliche Teile des potenziellen Lebensraums. Deshalb stellt sich die Frage, ob sich die Zauneidechse unter solchen Bedingungen längerfristig halten und fortpflanzen kann.

In dieser Arbeit wurde der Einfluss der Beschattung auf die Kondition und den Fortpflanzungserfolg von Zauneidechsen untersucht. Zu diesem Zweck wurden zwei Experimente durchgeführt:

In einem ersten Experiment wurden im Freiland bereits befruchtete Weibchen gefangen und im Labor bei unterschiedlichen Temperaturbedingungen gehalten. Die Temperatur wurde variiert durch unterschiedlich lange Beleuchtungsdauer mit wärmespendenden Glühlampen, unter denen sich die Echtenweibchen „sonnen“ konnten. Ihr Verhalten, die Körpertemperatur, die Gewichtsveränderungen vor und nach der Eiablage sowie ihre Reproduktionsleistung wurden in Abhängigkeit von der Beleuchtungsdauer analysiert.

Im zweiten Experiment wurden die Eier dieser Weibchen einerseits im Labor unter verschiedenen Temperaturbedingungen, andererseits in Freilandgehegen mit und ohne künstliche Beschattung bis nach dem Schlüpfen der Jungtiere aufgezogen. Als abhängige Variablen wurden Inkubationsdauer, Schlupfrate sowie Gewicht und Körperlänge der geschlüpften Jungtiere erfasst. Die Resultate zeigten, dass die „kalten“ Weibchen (die einem „Schatten-Faktor“ ausgesetzt wurden) eine deutlich reduzierte Fitness erfuhren, verglichen mit Weibchen ohne „Schatten-Faktor“: Erstens erfolgte die Eiablage später im Jahr, zweitens war die Inkubationsdauer tendenziell länger und drittens schlüpften kleinere und leichtere Jungtiere.

Eine klare Antwort gaben auch die enormen Unterschiede der ermittelten Schlupfraten. Nur aus der Hälfte der unter Lärmschutzwandbedingung vergrabenen Eier schlüpfte jeweils ein Jungtier, im Vergleich zu einer 88 %-igen Schlupfrate unter nicht manipulierten Bedingungen!

Zusammengenommen zeigten die Resultate ein deutliches Bild: Der Schattenwurf einer Lärmschutzwand hatte einen negativen Einfluss auf den Reproduktionserfolg der Zauneidechsen und könnte mittelfristig einen massiven Rückgang oder sogar das Erlöschen der Population bewirken.

1 Einführung

1.1 Aktueller Anlass der Studie

1.1.1 Bahnböschungen als wichtige Reptilienhabitate

Die Zauneidechse (*Lacerta agilis* LINNAEUS, 1758) ist in der Schweiz gemäß der Roten Liste 2005 (Monney und Meyer 2005) als verletzlich eingestuft. Hauptgrund der Bestandesabnahme ist der Verlust von geeigneten Lebensräumen.

Die Zauneidechse ist eine Kulturfolgerin und besiedelt oft Habitate in der traditionellen Kulturlandschaft. Dazu gehören auch Bahnlinien, Bahndämme und Ruderalflächen auf Bahnhöfen, welche gerade im Schweizer Mittelland zu den letzten Habitaten für Reptilien zählen. Das Mittelland ist das Hauptverbreitungsgebiet der Zauneidechse, und zusammen mit der Blindschleiche (*Anguis fragilis*) kommt sie vielerorts als einzige Reptilienart vor. Da *Lacerta agilis* kaum Populationsreserven in den Alpen vorweist und aus diesem Grund besonders stark von der Veränderung der Landschaft durch Überbauung und intensive Landwirtschaft betroffen ist, zählt sie zu den hochgradig schutzbedürftigen Arten. Die Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (karch) hat sich deshalb zum Ziel gesetzt, Klein- und Kleinstpopulationen der Zauneidechse sowie deren Lebensräume zu vernetzen, eidechsenfreundlich aufzuwerten und/oder zu vergrößern (Monney und Meyer 2005). Eine Priorität im Schweizer Reptilienschutz ist gezieltes Informieren und Beraten, zum Beispiel von Bahnunternehmen. Die Informationen beinhalten Eidechsen begünstigende Aufwertungsmaßnahmen an Bahnböschungen, Schaffung von Kleinstrukturen (insbesondere Steinhäufen, Totholzhaufen und Steinlinsen) sowie naturnahe Pflege von Böschungen und ähnlichen Flächen (Monney und Meyer 2005). Mit der Frage, die ich mir in meiner Diplomarbeit stelle, erarbeite ich Fakten, die der Argumentation besonders in diesem Arbeitsbereich dienen.

1.1.2 Lärmschutzwände an Bahnböschungen: Eine Bedrohung für Reptilien?

Bahnböschungen stellen ein wichtiges Habitat für die Zauneidechse dar, nicht zuletzt aus dem Grund, weil sie als Korridore für die Vernetzung fungieren. Im Rahmen der Lärmsanierungsprojekte der Bahnen werden in den nächsten Jahren viele wertvolle Zauneidechsen-Habitate durch den Bau von Lärmschutzwänden an Qualität beeinträchtigt. Die oft sehr langen Lärmschutzwände beschatten mit ihrer Höhe von rund 2m beträchtliche Teile des potenziellen Zauneidechsenlebensraums. Dabei spielt die Böschungsexposition eine besondere Rolle. Südexponierte Bahnböschungen werden durch eine Lärmschutzwand keine Qualitätseinbuße durch zusätzliche Beschattung verzeichnen, betroffen sind hingegen west- und ostexponierte Bahndämme. Auch in diesen Situationen sprechen wir nicht von einem Dauerschatten, vielmehr von einer Abnahme der Sonnenscheindauer um eine gewisse Zeit. Ob und wie gut sich die Zauneidechsen in einem auf diese Weise abgewerteten Lebensraum halten und fortpflanzen können, ist Ziel dieser Untersuchung.

1.2 **Untersuchungsmodell**

1.2.1 Zielart

Die Zauneidechse zählte im 2005 zu den populärsten Tieren der Schweiz. Pro Natura hat sie zum Tier des Jahres erkoren. Mit ihrem gedrungenen, eher kräftig gebauten Körper stellt sie für viele Laien den Inbegriff einer Eidechse dar. Wie bei allen Schuppenkriechtieren (Squamata) ist ihr Körper mit vielen kleinen Schuppen bedeckt. Sie misst samt Schwanz bis zu 24 Zentimeter, wobei die Kopf – Rumpf – Länge (KRL) etwa die Hälfte ausmacht. In der Farbzeichnung unterscheiden sich die Männchen besonders im Frühling deutlich von den Weibchen. Sie fallen durch leuchtend grüne Flanken und Kehle auf, während die Weibchen ein braunes Tarnkleid tragen. Beiden Geschlechtern gemeinsam ist der helle Rückenstreifen mit individuellen Augenflecken und brauner Grundfärbung. Anhand dieser Zeichnung können die gefangenen Tiere individuell wieder erkannt werden (Märtens und Grosse 1996). Die Augenflecke sind ebenso bei Jungtieren deutlich zu sehen.

1.2.2 Status in der Schweiz

Gemäß der aktuellen Roten Liste (Monney und Meyer 2005) wurde die Zauneidechse in der Schweiz als verletzlich eingestuft, d.h. es besteht ein hohes Risiko, dass diese Art in unmittelbarer Zukunft in der Natur ausstirbt. Die Rote Liste (Monney und Meyer 2005) spricht von einer Abnahme der Bestände um 11,2%. Das gegenwärtige Besiedlungsgebiet beschränkt sich auf eine Fläche von 1156 km². Die karch räumt der Zauneidechse einen Platz ein unter den Prioritäten im Reptilienschutz.

1.2.3 Brutbiologie der Zauneidechse

Die Brutpflege der Zauneidechsenweibchen beschränkt sich auf die Auswahl und Herrichtung eines geeigneten Eiablageplatzes. Zentrale Faktoren hinsichtlich der Qualität eines Gelegestandes sind unter anderem Substratbeschaffenheit und potenzielle Inkubationstemperatur. Untersuchungen haben ergeben, dass ein ideales Bodensubstrat häufig aus einem Sand-Kiesgemisch besteht (Blanke 2004). Sand bietet eine gute Drainage, erwärmt sich relativ rasch und die Belüftung ist gewährleistet, genauso wie die Verfügbarkeit von Kontaktwasser (Rykena und Nettmann 1987). Viele sonnenexponierte Bahnböschungen in der Schweiz erfüllen die Ansprüche an eine optimale Eiablagestelle.

Die Temperatur ist maßgeblich am Schlupferfolg beteiligt. Hohe Temperaturen (28°C) beschleunigen die Eientwicklung, während tiefe Temperaturen (< 20°C) die Inkubationszeit verlängern und die Schlupfrate senken. Zu hohe Temperaturen (>30°C) können sich letal auswirken (Rykena und Nettmann 1987, Rykena 1988b). Diese Erkenntnisse wurden größtenteils in Laborversuchen gewonnen (Rykena und Nettmann 1987, Rykena 1988b); im Gegensatz dazu fielen Felduntersuchungen bisher spärlich aus (House und Spellerberg 1980, Strijbosch 1987).

In höheren Lagen dürfte das Vorhandensein geeigneter Eiablageplätze der limitierende Faktor sein (Meyer, A., pers. Mitt.). Das erklärt auch das Fehlen grösserer Populationen in den Alpen. Im Schweizer Mittelland scheinen die Bedingungen günstiger zu sein, doch gibt es hierzu noch keine genaueren Untersuchungen.

1.3 Hypothesen und Voraussagen

Hypothese 1:

Durch die experimentelle Behandlung (mehr oder weniger Licht) werden die Zauneidechsenweibchen in ihrer Thermoregulation eingeschränkt.

Voraussage: Poikilotherme Organismen können ihre Körpertemperatur nicht selbst regulieren, sondern sind mehr oder weniger gleich warm wie die Umgebungstemperatur. Aus diesem Grund werden die "kalten Weibchen" nicht dieselben Körpertemperaturen erreichen wie die „warmen Weibchen“, da ihnen weniger Wärmeenergie (Beleuchtungsdauer) zur Verfügung steht.

Hypothese 2:

Die Behandlungsmethode „weniger Licht“ hat einen negativen Einfluss auf die Gewichtszunahme der trächtigen Zauneidechsen.

Voraussage: Sonnenenergie und Wärme fördern die Verdauungsrate der Nahrung. 16 von 32 Weibchen sind in der benachteiligten Lage, weniger Strahlungsenergie zu erhalten. Ich stelle mir vor, dass diese Tiere das Futter weniger schnell verwerten können und weniger an Gewicht zunehmen im Vergleich zu den anderen 16 Weibchen mit doppelter Strahlungsenergie.

Hypothese 3:

Die experimentelle Behandlung (mehr oder weniger Licht) wirkt sich auf die Tiefe des Eiablageorts im Terrarium aus.

Um einen möglichst günstigen Eiablageort in der Natur zu finden, kann es durchaus vorkommen, dass Weibchen weite Strecken zurücklegen (Blanke 2004). Geeignete Eiablageplätze zeichnen sich durch die Substratbeschaffenheit und Exposition aus, andererseits durch die Möglichkeit, Gelege verschieden tief einzugraben. Die günstigste Tiefe ergibt sich aus den Eigenschaften des Gelegestandes und der Witterung während der Inkubationszeit. Eier, die in sandigem Substrat nahe der Oberfläche gelegt werden, erfahren größere Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen.

Hypothese 4:

Der Faktor „Schatten“ verlangsamt den Ei-Entwicklungsprozess im Muttertier.

Voraussage: Zauneidechsenweibchen benötigen während der Eientwicklung viel Sonnenenergie. Wärme treibt die Entwicklung der heranreifenden Eier voran. Daher gehe ich davon aus, dass Weibchen mit längerer Beleuchtungsdauer früher ihre Eier ablegen, als Weibchen, die weniger Wattleistung erhalten.

Hypothese 5:

Eine teilweise Beschattung hat einen negativen Einfluss auf den Schlupferfolg der Zauneidechse.

Voraussage: Unter optimalen Bedingungen ist eine 100%-ige Schlupfrate nicht selten. Ich nehme an, dass unter guten Inkubationsbedingungen (mehr Sonnenenergie) auch größere Schlupfraten zu verzeichnen sind.

Hypothese 6:

Der Eiablagezeitpunkt sowie die Bedingungen der Beschattung wirken sich auf den Phänotyp der Jungtiere aus. Die Jungen, die insgesamt mehr Sonnenenergie als Embryonen erhielten, sind schwerer und größer im Vergleich zu den anderen Versuchsgruppen (weniger Sonnenlicht).

Voraussage: Der Eiablagezeitpunkt und der daraus resultierende frühe oder spätere Schlupftermin wirken sich besonders im ersten Winter auf die Überlebenswahrscheinlichkeit der Jungtiere aus. Dass sich die Jungtiere phänotypisch infolge der unterschiedlichen Entwicklungsdauer - bedingt durch die Beschattung - unterscheiden, ist anzunehmen.

2 Material und Methoden

Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau und gibt eine erste Übersicht. Die 32 trächtigen Zauneidechsen (rotes Kästchen) wurden im Frühling gefangen und unter zwei verschiedenen Bedingungen (blaues Kästchen) bis zur Eiablage gehalten. Die daraus resultierenden Gelege wurden halbiert und die Eier unter verschiedenen Inkubationsbedingungen ausgebrütet (grüne Kästchen). Eine Gelegehälfte setzte ich im Laborversuch ein, die andere Hälfte im Feldversuch.

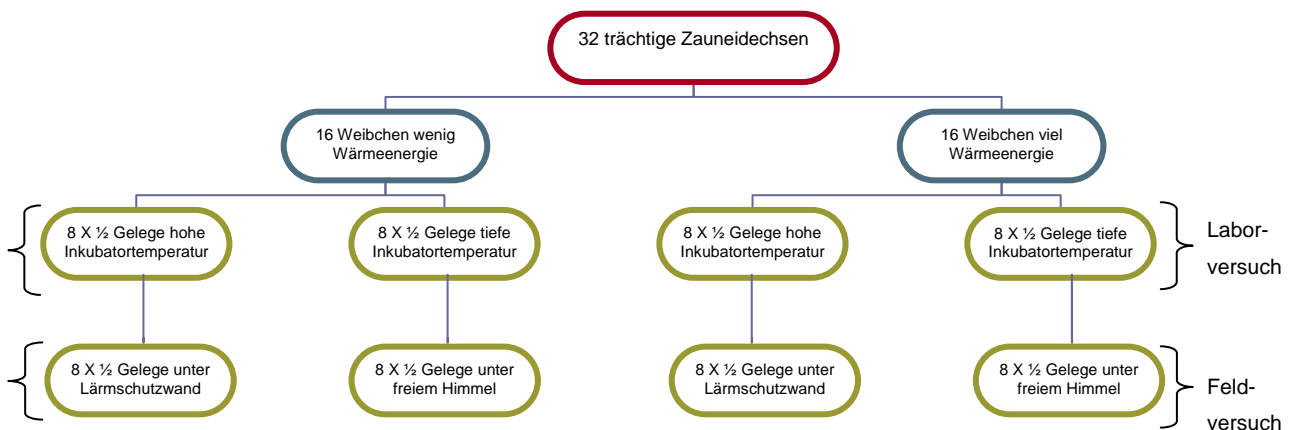


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung der Eier. Zusätzlich zeigt das Diagramm die Vorgeschichte der Muttertiere.

2.1 Versuch mit trächtigen Zauneidechsen im Klimaraum

2.1.1 Herkunft und Fang der Tiere

Für meine Studie erhielt ich vom NSI (Naturschutzinspektorat des Kantons Bern) eine Fang- und Haltebewilligung für Zauneidechsen. Die karch (Koordinationsstelle für Amphibien und Reptilienschutz in der Schweiz) beriet mich in der Standortwahl und empfahl mir aufgrund der Populationsgröße, die Untersuchung an zwei Orten durchzuführen: an einer Bahnböschung in der Nähe des Bahnhofs Uttigen bei Thun (Appendix, Abbildung I) und in einem Habitat in Hinterkappelen, nördlich der Stadt Bern (Appendix, Abbildung II).

Am 11.05.06 fing ich das erste Weibchen mit klar erkennbaren, frischen Bisspuren an der Schwanzwurzel. Die durch den Paarungsbiss verfärbte Stelle galt als Zeichen für eine Paarung (Appendix, Abbildung III). Die gefangenen Tiere wurden schnellstmöglich ins Labor gebracht. Dort nahm ich ihre Masse (Abschnitt 2.1.4.), fotografierte sie und zählte und entfernte ihnen die Ektoparasiten (*Ixodes ricinus*). Während eines Monats an insgesamt zehn Tagen fing ich 14 trächtige Zauneidechsen in Hinterkappelen und 21 Tiere in Uttigen (Appendix, Tabelle I).

Der Begriff „Fangdatum“ bezieht sich auf den Tag, an welchem das erste Weibchen gefangen wurde. Dieser galt als Stichtag. 32 Tage später fing ich die letzten Weibchen für meine Untersuchung.

2.1.2 Haltungsbedingungen im Terrarium

Die Haltungsbedingungen entsprachen erprobten Labormethoden (Olsson et al. 2005). Die Weibchen wurden bis zur Eiablage in einem Klimaraum gehalten und etwas später wieder zum

Fangort zurück gebracht. Im Klimaraum betrug die Temperatur tagsüber durchschnittlich 25°C. In der Nacht wurde die Raumtemperatur auf durchschnittlich 19°C abgesenkt. Die Beleuchtung schaltete morgens um 07.30 Uhr ein und ging abends um 22.00 Uhr aus. Das galt für alle Tiere gleich, da alle Tiere im selben Klimaraum untergebracht waren.

Die Weibchen wurden einzeln in gläsernen Terrarien (50x30x25cm) gehalten. Die Einrichtung der Terrarien bestand aus einer 6 bis 7 cm dicken Schicht Natursand, einer 40-Watt Glühbirne, unter welcher eine Ziegelscherbe lag und als Versteck- und Sonnenplatz diente, sowie kleinen Steinen und einer handvoll Laub. Zusätzlich stand ein Wasserbehälter (Topfpflanzenuntersatz aus Plastik, Ø 5cm) mit Wasser zur Verfügung. Alle drei bis vier Tage nässte ich die Terrarien leicht, damit der Sand feucht blieb. Täglich erhielten sie zwei bis drei Heimchen (*Acheta domesticus*) der Grösse „d“ (16-20 mm). Bevor ich die Heimchen den Zauneidechsen verfütterte, wurden sie mit Protectal 199 (Appendix, Zusammensetzung) bepudert, damit die Weibchen wegen Calciummangel nicht in Legenot kamen.

2.1.3 Experimentelles Design

Die Bedingung mit und ohne Lärmschutzwand vereinfachte ich auf einen Faktor, das Licht. Um den Effekt eines Beschattungsfaktors auf trüchtige Weibchen zu testen, hälterte ich die Tiere unter zwei verschiedenen Bedingungen (Wapstra, 2000). Die 16 Weibchen unter guten Bedingungen erhielten täglich neun Stunden Licht („warme Weibchen“), die anderen 16 Weibchen unter weniger guten Bedingungen nur 4.5 Stunden („kalte Weibchen“). Auf der Tonscherbe unter der Glühbirne (40-Watt) stieg die Temperatur bis auf gute 34°C innerhalb von einer halben Stunde (Appendix, Tabelle II). Die Tiere und die Terrarien ordnete ich *zufällig* einer der beiden experimentellen Behandlungen zu (Abbildung 2).

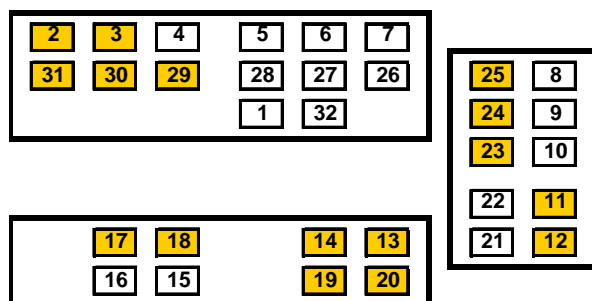


Abbildung 2: Versuchsanordnung im Klimaraum: Auf den drei Regalen (drei grosse Rechtecke), standen die Terrarien. Gelb markierte Terrarien beherbergten die „warmen Weibchen“, die weißen die „kalten Weibchen“. (Die Ziffern dienten der Datenaufnahme, jedes Terrarium erhielt eine Nummer)

2.1.4 Datenerhebung

Vom 11.05.06 bis am 29.07.06 besuchte und kontrollierte ich die Weibchen täglich ein Mal und investierte pro Tier fünf bis zehn Minuten in die Datenaufnahme:

2.1.4.1 Körpertemperatur der Weibchen

Die Körpertemperatur maß ich mit einem Infrared Thermometer (Fluke 61, Auflösung: 0.2°C). Dank der Laserstrahl-Methode musste ich die Tiere nicht jedes Mal in die Hand nehmen und minimierte so den Stressfaktor für die Tiere. Während der ganzen Beobachtungszeit notierte ich täglich bei der „Visite“ die Körpertemperatur der Weibchen. Für die Analysemittelte ich die Werte pro Tier und Anzahl Beobachtungstage.

2.1.4.2 *Das Verhalten der Weibchen*

Gleichzeitig mit der Körpertemperaturmessung beobachtete ich das jeweilige Verhalten des einzelnen Tieres. Bei jedem Kontrollgang notierte ich das zuerst beobachtete Verhaltensmuster. Um eine sinnvolle Datenerhebung zu gewinnen, musste ich die beobachteten Verhaltensmuster gliedern. Ich definierte sechs Kategorien: „Sonnen“, „ruhen“, „verstecken“, „flüchten“, „graben“ und „fressen“.

Diese sechs Verhaltensweisen ließen sich eindeutig voneinander unterscheiden (Appendix, Tabelle III). Für die Analyse nahm ich jeweils die Summe pro Verhaltensmuster, rechnete es prozentual auf die Dauer der jeweiligen Beobachtungszeit aus und transformierte die Prozentwerte mit Hilfe der Winkeltransformation, um eine Normalverteilung der Residuen zu erreichen ($\arcsin(\sqrt{x})$).

2.1.4.3 *Gewicht und Größe der Weibchen*

Mit einer elektronischen Laborwaage (Mettler PE 600, Präzision: 0,01g) gewann ich die Gewichtswerte der Zauneidechsenweibchen. Die Handhabung, die diese Methode mit sich brachte, war für die Tiere mit Stress verbunden. Aus diesem Grund sollten sie Zeit erhalten, sich an meine tägliche Anwesenheit und an die neue Umgebung (Terrarium) zu gewöhnen und wurden erst nach 14 Tagen das zweite Mal gewogen, von da an in einem siebentägigen Intervall und unmittelbar nach der Eiablage. Die Weibchen hielt ich noch eine weitere Woche in „Untersuchungshaft“, um den Erholungsverlauf zu verfolgen. Waren die Gewichtswerte im Bereich dessen, was sie zu Beginn gewogen hatten, wurden sie wieder zum Fangort zurück gebracht. Für die weitere Analyse berechnete ich die Steigung der Gewichtszunahme innerhalb der jeweiligen Beobachtungszeit.

Gleichzeitig mit den Gewichtswerten gewann ich die Kopf-Rumpf- und Schwanzlängen durch Anlegen an ein Lineal (Glandt und Bischoff 1988b). Die Krümmung der Tiere verursachte eine maximale Differenz von ± 7 mm. Das veranlasste mich, für die weiteren Analysen jeweils den Mittelwert mehrerer Messungen zu nehmen.

2.1.4.4 *Gelegegröße, Ort der Eiablage und Eiablagedatum*

Beim Ausgraben der Eier ging ich immer gleich systematisch vor. Sobald ich das Gelege fand, maß ich, wie tief die Eier vom Terrariumboden weg gelegt wurden (in cm) und wo im Terrarium sie lagen. Ich notierte auch die Gelegegröße und das Datum.

2.2 Versuch mit den gelegten Eiern

2.2.1 Inkubationseinrichtung

Die meisten Weibchen legten ihre Eier am späten Abend, sodass ich erst am darauf folgenden Tag das Gelege ausgrub. Nachdem ich die Eier freigelegt hatte, bettete ich sie sorgfältig in dafür vorbereitete Behälter. Zwei verschiedene Gefäße kamen dafür in Frage, Plastik-Rund-Brutbehälter (10x5cm) und Torftöpfe (6x10cm). Als Inkubationsmaterial diente ein feuchtigkeitsspeicherndes Granulat (Perlite).

Die Gelege wurden halbiert, eine Hälfte (130 Eier) wurde im Labor ausgebrütet.

Jeden einzelnen Plastik-Rund-Behälter löcherte ich auf 40 Löcher, damit die Sauerstoffzufuhr gewährleistet war. Danach füllte ich die „Becher“ mit Perlit und bettete sorgfältig die Eier hinein. Unter künstlichen Bedingungen, in insgesamt vier FB-50-Inkubatoren der Firma Jäger und Pfrommer, lagen sie nun unter zwei verschiedenen Temperaturen (28°C und 24°C) bis zum Schlupftermin.

Die andere Hälfte der Gelege (123 Eier) vergrub ich im Freiland, an zwei Böschungen in der Kiesgrube Bergacher (Appendix, Abbildung IX). Alle Eier, die ich im Freiland in einem Torftöpfchen vergrub, bettete ich in extra dafür hergerichtete uniforme „Freiland-Brutkästen“ (Appendix, Abbildung IV), bestehend aus einem Sandbett (0.3m³), umgeben von einem Schneckenzaun (Höhe 30cm) und bedeckt mit einem Vogelnetz. Die Umzäunung der Gelegestandorte sollte nicht nur einer Verwechslung der Gelege mit frei lebenden Echsen vorbeugen, sondern auch helfen, die frisch geschlüpften Tiere zusammenzuhalten, bis die biometrischen Daten erhoben waren. Die Netze dienten als Prädationsschutz. Im Freiland-Gehege wurden einige Steine so ausgelegt, dass sich die Jungtiere nach dem Schlüpfen verstecken oder sich darauf sonnen konnten.

2.2.2 Experimentelles Design

Mit dem experimentellen Design testete ich, ob der Schlupferfolg schlechter unter manipulierten Bedingungen (teilweise Schatten) ausfällt und ob sich in der Körperkondition der Jungtiere ein Unterschied zeigen würde.

Ich konzipierte vier Lärmschutzwand-Attrappen (Panzerrolle 8m x 2.80m), drei dieser „Schattenspenden“ standen an der Böschung Nr. 1, und eine „Wand“ stellte ich an der Böschung Nr. 2 auf (Appendix, Abbildung V). Zusammen waren es 16 Gelegestandorte, welche durch eine Lärmschutzwandattrappe beschattet und 16 Brutbeete, die nicht beschattet wurden. An welchem Gelegestandort (beschattet oder nicht) welche Eier vergraben wurden, entschied der Zufall.

Den Grund für die Bebrütung im Labor sah ich vor allem in ethischen Grundsätzen. Die Wahrscheinlichkeit, dass im Labor Jungtiere schlüpfen würden, schien mir größer und mit weniger Risikofaktoren behaftet im Vergleich zum Feldversuch. Darüber hinaus überlegte ich mir, dass der Faktor „Vorgeschichte Weibchen“ im Labor deutlicher eruiert werden könnte als draußen auf dem Feld. Laborbedingungen sind zwar unnatürlich, können aber konstante Bedingungen schaffen und Störfaktoren besser ausschließen. Die Kunstglucken brüteten Tag und Nacht bei konstanter Temperatur (entweder 24°C oder 28°C).

2.2.3 Datenerhebung

2.2.3.1 *Unbefruchtete Eier*

Zu einem späteren Zeitpunkt, nach der eigentlichen Schlupfzeit (Anfang September), bestimmte ich durch Sezieren der Eier, wie viele der Eier befruchtet und wie viele unbefruchtet waren. Ich untersuchte sie unter dem Binokular und achtete besonders auf Strukturen wie Gefäßrosetten oder Blastocysten. Deformationen ließen sich gut unter der Lupe studieren.

2.2.3.2 *Inkubationsdauer*

Die Inkubationsdauer definiert sich vom Eiablagezeitpunkt bis zum Schlupf. Dabei zählte ich pro Individuum die Inkubationstage und mittelte für die weitere Analyse die Werte pro „Brutkästchen“ (= ein halbes Gelege).

2.3 Datenerhebung der Jungtiere

2.3.1 Vorgeschichte der Weibchen und Inkubationsbedingungen

2.3.1.1 Schlupfraten

Für die statistische Analyse zählte ich, wie viele Jungtiere aus einem „Brutkästchen“ schlüpften, rechnete es prozentual aus und transformierte die Prozentwerte mit der gleichen Winkeltransformation ($\arcsin(\sqrt{x})$) wie bereits beschrieben (Abschnitt 2.1.4.2), um eine Normalverteilung der Residuen zu erreichen.

2.3.1.2 *Geschlecht und biometrische Werte (Geschlecht der Juvenilen, Gewicht, KRL, Schwanzlänge, Gesamtlänge)*

Der größte Teil der Datenerhebung wurde im Juli und August durchgeführt, sobald die Jungen schlüpften. Jeden Tag kontrollierte ich die Inkubatoren im Labor und setzte die frisch geschlüpften Tiere aus ihren Plastik-Rund-Brutbehältern in ein größeres Gefäß mit einer Versteckmöglichkeit. Die Jungtiere wurden nun gezählt, gewogen, vermessen und fotografiert. Ähnlich wie schon bei den Muttertieren wog ich sie mit derselben elektronischen Laborwaage, die Längenmessung erfolgte auf zwei unterschiedliche Weisen, einerseits durch vorsichtiges Anlegen an einen Lineal und andererseits durch die „Röhrchentechnik“. Bei der „Röhrchentechnik“ wurden sie in ein schmales Glasröhrchen geleitet, welches eine Körperverkrümmung weniger gut zuließ und eine problemlose Längenmessung ermöglichte (Appendix, Abbildung VI). Durch Drehen des Röhrchens konnten die Jungtiere dazu gebracht werden, wieder aus dem Röhrchen zu schlüpfen. Für die weiteren Analysen benutzte ich den Mittelwert aus beiden Messungen, mit einer maximalen Differenz von ± 3 mm bei der Kopf-Rumpf-Länge und ± 4 mm bei der Schwanzlänge. Die Bauch und Rücken fotografieren (Appendix, Abbildung VII) dienten der Geschlechtsbestimmung (Märtens 1996). Nach der Datenerhebung wurden die Tiere am gleichen Tag wieder in die Freiheit entlassen. Dieselbe Datenaufnahme erfolgte für die „Freiland-Schlüpflinge“ mit dem Unterschied, dass sie für die Datensammlung ins Labor gebracht und erst am darauf folgenden Tag frei gelassen wurden. Damit bei der Schlupfratenzählung kein Fehler unterlief, kontrollierte und sammelte ich zusätzlich die Eischalen. Gut leserlich angeschrieben bewahrte ich Eischalen und unbefruchtete Eier in 75%igem Ethanol auf.

2.3.1.3 *Data Loggers*

Die Charakterisierung der sommerlichen Witterung erfolgte nach meteorologischen Standarddaten der Station Bern / Zollikofen (Koordinaten: 601929/204409). Ich erhielt die Stundenwerte von Sonnenscheindauer (min), Mitteltemperaturwerte ($^{\circ}\text{C}$), und Niederschlagsmenge (ml) während der Periode 01.04 – 30.09.06.

Weitere Daten erhoffte ich mir von drei Data Loggers, die mir über die ganze Zeit Temperaturen in 10 cm Bodentiefe aufzeichnen sollten. Damit erhob ich Temperaturwerte von der beschatteten und der unbeschatteten Situation. Die Logger sammelten in 20-minütigen Intervallen die Temperaturdaten während der Zeitspanne vom 28.06.06 bis am 29.08.06. Leider waren die Daten wegen ungenügender Messgenauigkeit für die Auswertung unbrauchbar.

2.4 **Statistische Analyse**

Die gewonnenen Daten wurden mit einer Varianzanalyse ausgewertet. Ich arbeitete mit dem Programm JUMP. Im Versuch „warme und kalte Weibchen“ untersuchte ich die Wirkung des Lichtfaktors auf folgende Werte:

- Die Körpertemperatur der Weibchen vor und nach der Eiablage (°C, Mittelwert und Standardabweichung)
- das Verhalten (winkel-transformierte Prozentwerte)
- die Körperkondition (Steigung der Gewichtszunahme)
- den Eiablagezeitpunkt (Anzahl Tage)
- die Gelegegröße (Anzahl Eier)
- den Ort der Eiablage (Tiefe, in cm)
- den Schlupferfolg (transformierte Prozentwerte)

Für all diese verschiedenen Analysen führte ich eine ANOVA durch. Mit diesem Verfahren untersuchte ich, ob sich die einzelnen Variablen in den zwei verschiedenen Gruppen („warm/kalt“) signifikant unterschieden. Die Signifikanz der ermittelten Gruppeneinteilung ließ sich anhand der F-Verteilung testen. Die Werte in dieser Verteilung sind die Prüfgröße der Varianzanalyse.

Für die weitere Auswertung (d.h. Versuchsteil mit den Eiern) führte ich eine zweifaktorielle Varianzanalyse durch, wobei ich die Vorgeschichte der Weibchen („warm / kalt“) als Faktor in die Analyse mit einbezog. Die zweifaktorielle Varianzanalyse berücksichtigte zur Erklärung der Zielvariablen also zwei Faktoren. Diese Form der Varianzanalyse wendete ich an bei der Frage, ob die experimentelle Behandlung der Eier (Temperatur bzw. Schatten/Sonne) und die Vorgeschichte der Weibchen („warm / kalt“) einen Einfluss hatten auf die Messgrößen (Inkubationsdauer, Kondition der Jungtiere, etc.).

Die Körpertemperaturvarianzen gaben mir einen Richtwert der Präzision innerhalb der untersuchten Gruppen („warm und kalte Weibchen“, vor oder nach der Eiablage) an.

3 Ergebnisse

3.1 Versuch mit trächtigen Zauneidechsen im Klimaraum

3.1.1 Körpertemperatur der Weibchen

Sämtliche Resultate zu diesem Abschnitt (3.1) sind in der Tabelle 1 aufgeführt. Die Auswertungen der Körpertemperaturdaten der Weibchen bestätigen, dass mit dem gewählten experimentellen Design die erwünschten Temperaturunterschiede tatsächlich erreicht wurden. Die „warmen Weibchen“ (mit 9 h Licht pro Tag) waren über die ganze Beobachtungszeit gesehen signifikant wärmer als die „kalten Weibchen“ (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 27.13$ °C, SD = 1.18, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 25.15$ °C, SD = 1.07, $P < 0.0001$), egal ob vor oder nach der Eiablage. Im Allgemeinen hatten die Weibchen vor der Eiablage eine niedrigere Körpertemperatur ($\bar{x} = 25.8$ °C, SD = 1.40) als nach der Eiablage ($\bar{x} = 27.75$ °C, SD = 2.19); sie regulierten also während der Trächtigkeit ihre Temperatur präziser als nach der Eiablage. Die Varianzwerte der „warmen Weibchen“ waren vor der Eiablage am kleinsten (SD = 0.986) und somit war die Thermoregulation dieser Gruppe zu diesem Zeitpunkt am präzisesten. Die Streuung um den Mittelwert war bei den „warmen und kalten Weibchen“ kleiner vor als nach der Eiablage.

3.1.2 Das Verhalten der Weibchen

Auch im Verhalten unterschieden sich die beiden Gruppen voneinander. Die „warmen Weibchen“ sonnten sich öfter (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 80.71\%$, SD = 25.41, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 55.77\%$, SD = 14.89, $P < 0.002$) und versteckten sich im Vergleich zu den „kalten Weibchen“ viel seltener (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 54.41\%$, SD = 24.81, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 75.88\%$, SD = 23.23, $P < 0.003$). Andere Verhaltensweisen zeigten keine signifikanten Unterschiede.

3.1.3 Gewicht der Weibchen

In meiner Untersuchung hatte die Behandlungsform (viel oder wenig Licht) keinen Einfluss auf die Körperkondition der Weibchen. Mehr oder weniger Licht zeigte keinen Effekt auf die Gewichtszunahme der Weibchen bis zur Eiablage (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 0.18$ g/t, SD = 0.09, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 0.25$ g/t, SD = 0.32, $P < 0.51$), genauso wenig wie auf den Gewichtsverlust infolge Eiablage und die anschließende Gewichtszunahme (ANOVA, Gewichtsabnahme infolge Eiablage: „warme Weibchen“: $\bar{x} = 3.05$ g, SD = 0.83, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 3.54$ g, SD = 1.20, $P < 0.21$. Gewichtsregeneration nach der Eiablage: „warme Weibchen“: $\bar{x} = 1.80$ g, SD = 1.42, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 1.89$ g, SD = 0.91, $P < 0.85$).

3.1.4 Eiablage

Von 33 Zauneidechsenweibchen legten vier (12%) überhaupt keine Eier. Auf den Eiablagezeitpunkt machte es keinen Unterschied, ob die Weibchen viel oder weniger Licht erhielten. Entgegen meinen Erwartungen legten die „warmen“ Weibchen ihre Eier nicht signifikant früher ab im Vergleich zu den „kalten Weibchen“ (ANOVA, Eiablage „warme Weibchen“: $\bar{x} = 166.2$ Tage seit Jahresbeginn, SD = 7.47, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 168.4$ Tage, SD = 5.25, $P < 0.34$). Die ersten Eier fand ich am 05. Juni 2006. Zeitlich fiel die Eiablage mit den ersten Fängen, die ich

gemacht habe, zusammen. Die zuerst gefangenen Weibchen legten auch früher ihre Eier (Abbildung 3). Des Weiteren fand ich einen Zusammenhang in der Körpergröße und dem Eiablagezeitpunkt. Grosse Weibchen legten ihre Eier früher ab im Vergleich zu kleineren Weibchen (Abbildung 4). Frühe Gelege waren tendenziell größer als späte (Abbildung 4) Aus diesen frühen Gelegen resultierten dann auch größere Jungtiere (Abbildung 5).

Der Zeitpunkt der Eiablage und die KRL der Weibchen hatten einen signifikanten Einfluss auf den prozentualen Schlupferfolg (KRL: $r = 0.429$, $P < 0.02$, Zeitpunkt der Eiablage: $r = -0.614$, $P < 0.0005$). Weibchen, die ihre Eier früh ablegten und groß waren, hatten einen besseren Schlupferfolg als Weibchen, die ihre Eier spät ablegten und in der KRL kleiner waren (Abbildung 5).

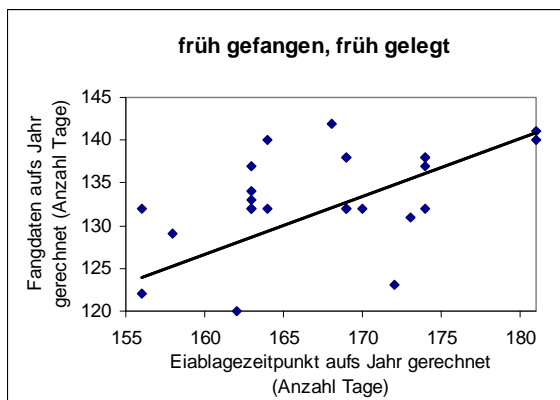


Abbildung 3: Korrelationen der Fangdaten der Weibchen (Anzahl Tage seit Jahresbeginn) zu dem Eiablagezeitpunkt (Anzahl Tage seit Jahresbeginn) $r = 0.56$, $P < 0.004$.

Weibchen, die früh im Jahr gefangen wurden, legten auch früh ihre Eier ab.

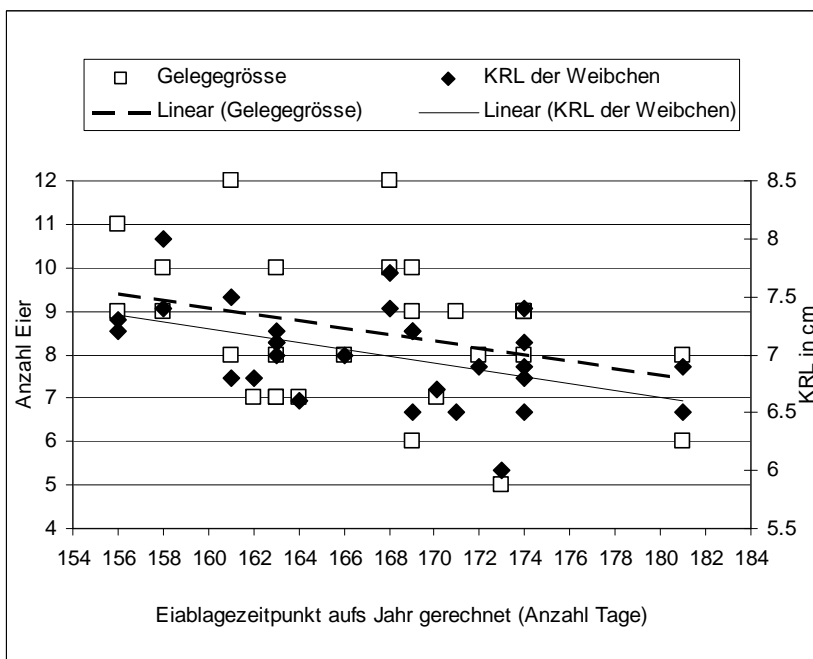


Abbildung 4: Korrelationen der Gelegegröße und der KRL der Weibchen mit dem Eiablagezeitpunkt aufs Jahr gerechnet. Korrelation von Größe der Weibchen zu Eiablagezeitpunkt: $r = -0.48$, $P < 0.0085$ Korrelation von Gelegegröße zu Eiablagezeitpunkt: $r = -0.32$, $P < 0.09$

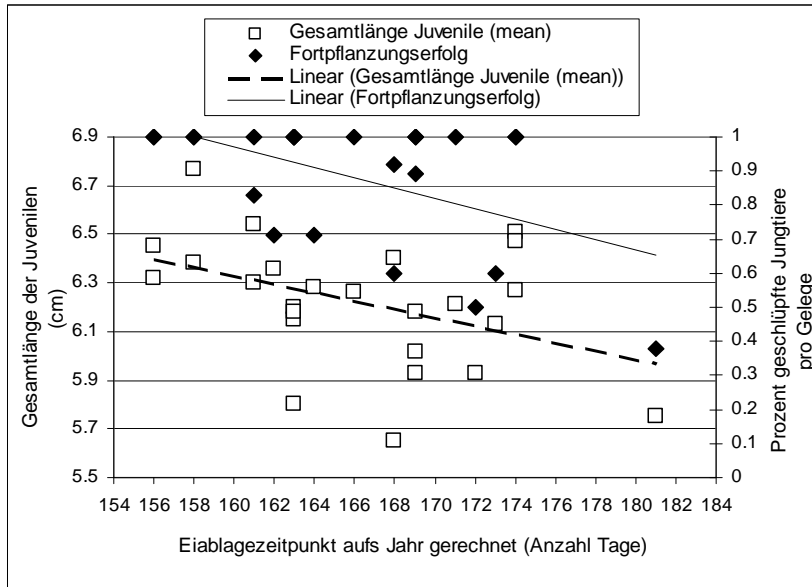


Abbildung 5: Korrelationen der Gesamtlänge der Jungtiere und der Schlupfrate mit dem Eiablagezeitpunkt aufs Jahr gerechnet. Korrelation von Größe der Juvenile zu Eiablagezeitpunkt: $r = -0.422$, $P < 0.0356$, Korrelation der prozentualen Schlupfrate zu Eiablagezeitpunkt: $r = 0.429$, $P < 0.02$

3.1.5 Gelegegröße

Ebenfalls unbeeinflusst durch die experimentelle Methode war die Gelegegröße (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 7.00$ Eier, $SD = 3.37$, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 7.13$ Eier, $SD = 3.96$, $P < 0.920$). Für die Gelegegröße war die Körpergröße der Weibchen maßgeblich (Korrelation der Gelegegröße zu der KRL: $r = 0.469$, $P < 0.006$, Abbildung 6).

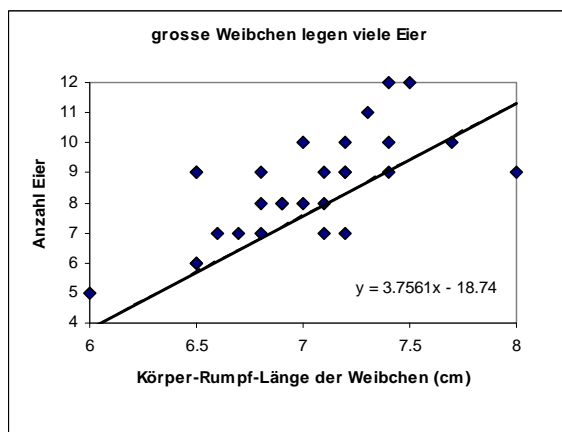


Abbildung 6: Die Korrelation der Gelegegröße (Anzahl Eier) in Abhängigkeit zu der Grösse der Weibchen. Je grösser die Weibchen, desto mehr Eier legten sie.

3.1.6 Ort der Eiablage

Der Ort der Eiablage unterschied sich in der Tiefe signifikant, abhängig davon, ob sich das Weibchen in einem „warmen“ oder „kalten“ Terrarium befand (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 5.43$ cm, $SD = 0.93$, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 3.91$ cm, $SD = 1.3$, $P < 0.001$). Die „warmen Weibchen“ legten ihre Eier tiefer in die Erde, zum Teil sogar unmittelbar auf den Terrarienboden, in 7-8 cm Tiefe.

3.1.7 Ektoparasiten

Die untersuchten Zauneidechsen waren mit einigen wenigen Ausnahmen von Ektoparasiten der Familie Ixodidae befallen. Die Parasiten wurden entfernt und gezählt, jedoch nicht auf Art oder Entwicklungsstadium bestimmt. Im Durchschnitt fand ich 3.6 Zecken pro adulte weibliche Zauneidechse (Appendix, Tabelle V). Der Parasitenbefall hatte auf keine der überprüften Variablen

(Verhalten, Gewichtszunahme oder Gewichtsabnahme...) einen Einfluss, genauso wenig hatte es mit dem Herkunftsort zu tun.

Tabelle1: Resultate mit dem Faktor experimentelle Behandlung der Weibchen (viel und wenig Licht) in Abhängigkeit verschiedener Eigenschaften (Verhalten, Körpertemperaturen, Gelegegröße und Eiablage).

Eigenschaften	n	Mittelwert \pm SD	Mittelwert \pm SD	P-Wert
		„warme Weibchen“	„kalte Weibchen“	
<u>Verhalten (%)</u>				
Sonnen	33	80.71 \pm 25.41	55.77 \pm 14.89	0.002
Verstecken	33	53.41 \pm 24.81	75.88 \pm 23.23	0.003
<u>Körpertemperatur (°C)</u>				
ganze Beobachtungszeit	26	27.13 \pm 1.18	25.15 \pm 1.07	0.0001
Körpertemperatur vor der Eiablage	26	26.68 \pm 0.99	24.86 \pm 1.14	0.0002
Körpertemperatur nach der Eiablage	26	29.13 \pm 1.33	26.36 \pm 2.02	0.0004
<u>Gewicht (Gramm)</u>				
Gewichtszunahme bis zur Eiablage (g/t)	27	0.18 \pm 0.28	0.25 \pm 0.33	0.506
Gewichtsverlust durch die Eiablage (g)	27	3.05 \pm 0.83	3.54 \pm 1.20	0.206
Gewichtsregeneration nach der Eiablage (g)	27	1.80 \pm 1.42	1.89 \pm 0.91	0.850
<u>Gelege</u>				
Eier gelegt? (%)	33	0.84 \pm 0.38	0.81 \pm 0.40	0.823
Gelegegröße (Anzahl Eier)	29	7.00 \pm 3.37	7.13 \pm 3.96	0.920
Ort der Eiablage (Tiefe in cm)	29	5.43 \pm 0.93	3.91 \pm 1.30	0.001

3.2 Versuch mit den gelegten Eiern

3.2.1 Unbefruchtete und befruchtete Eier

Ich erhielt von 33 Weibchen 29 Gelege mit insgesamt 261 Eiern. Im Durchschnitt lagen die Gelegegrößen bei 9, das Minimum bei 5 und die maximale Gelegegröße bei 12. Von den 29 Gelegen waren 21 zu 100% befruchtet, die übrigen 6 Gelege waren im Durchschnitt zu 56% befruchtet. Dabei war zwischen den beiden Behandlungsgruppen („warme und kalte Weibchen“) kein Unterschied feststellbar (ANOVA, „warme Weibchen“: \bar{x} = 85.44% befruchtete Eier, SD = 34.35, „kalte Weibchen“: \bar{x} = 82.38% befruchtete Eier, SD = 26.17, P < 0.79). Ein Weibchen hatte sogar in ein Zweitgelege investiert, diese Eier wurden aber in der statistischen Analyse nicht berücksichtigt. Aus den 222 befruchteten Eiern schlüpften alles in allem 196 Jungtiere (88 %).

In meiner Studie entwickelten sich 20 Eier überhaupt nicht und ließen auch keine Blastocyste oder Gefäßrosette beim Sezieren erkennen. Ich konnte also davon ausgehen, dass es sich hierbei um unbefruchtete Eier handelte. Interessant war, dass die unbefruchteten Eier von Weibchen stammten, die spät im Jahr ihre Eier legten (Korrelation von befruchteten Eiern zum

Eiablagedatum: $r = 0.439$, $P < 0.017$, Abbildung 7). Die befruchteten Eier standen nicht im Zusammenhang mit dem Wegfangdatum der Muttertiere (Korrelation von befruchteten Eiern zum Wegfangdatum der Weibchen: $r = 0.098$, $P > 0.64$). Die Weibchen wurden also nicht zu früh gefangen.

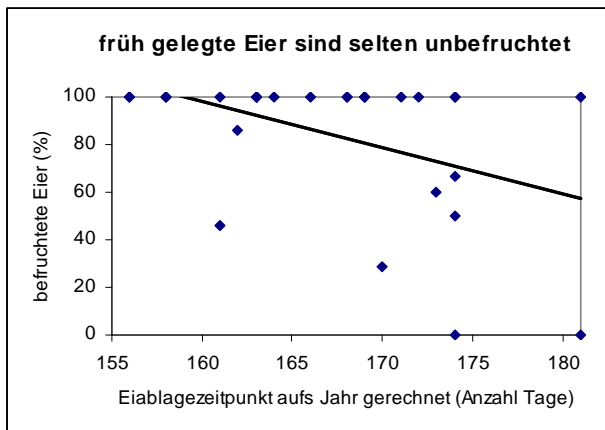


Abbildung 7:
Korrelationen der befruchteten Eiern (%) mit dem Eiablagezeitpunkt (Anzahl Tage seit dem ersten Januar).

Bei sechs Eiern, aus denen keine Jungtiere schlüpften, entdeckte ich beim Sezieren Embryos, die in einem frühen Entwicklungsstadium gestorben sind. Zum Teil handelte es sich um stark deformierte Formen, die nicht überlebensfähig gewesen wären (Appendix: Abbildungen VIII). Es gab des Weiteren unter den Geschlüpften schwach deformierte Formen, die wiesen zum Beispiel statt fünf Zehen nur vier auf und hatten einen leicht verkürzten Unterkiefer. Ich zählte insgesamt 13 Fälle von Deformationen. Die Ursache der Deformationen liess sich nicht feststellen und hatte auch nichts mit den experimentellen Bedingungen „warme/kalte Weibchen“ zu tun, da pro Gruppe je zwei Gelege betroffen waren.

3.2.2 Inkubationsdauer

Die Inkubationsdauer der Eier, die im Schatten der Lärmschutzwand lagen, war signifikant länger als bei unbeschatteten Eiern (ANOVA, „mit Lärmschutzwand“: $\bar{x} = 51.25$ Tage, $SD = 4.52$, „ohne Lärmschutzwand“ = 45.07 Tage, $SD = 6.00$, $P < 0.007$). Unter der Beschattung einer Lärmschutzwand dauerte die Inkubationszeit somit ca. eine Woche länger (Abbildung 8). In der Abbildung 8 sind Tendenzen zwischen den beiden Gruppen „warme und kalte Weibchen“ im Feldversuch sichtbar. Die Eier von „warmen Weibchen“ entwickelten sich unbedeutend schneller als diejenigen von „kalten Weibchen“ (ANOVA, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 48.45$ Tage, $SD = 5.68$, „warme Weibchen“ $\bar{x} = 47.54$ Tage, $SD = 6.60$, $P > 0.71$). Die Interaktion der beiden Faktoren: „mit/ohne Lärmschutzwand“ und „warme/kalte Weibchen“ stellte sich als unbedeutend heraus (ANOVA, $P > 0.90$, Abbildung 8).

Hochsignifikant war der durch die Inkubationstemperatur verursachte Unterschied in der Inkubationsdauer der „Labortiere“. Bei tiefen Temperaturen (24°C) dauerte die Inkubation im Schnitt 42 Tage und bei hohen Temperaturen (28°C) nur 34 Tage (ANOVA, „tiefe Temperatur“: \bar{x} = 41.54 Tage, SD = 4.56, „hohe Temperatur“: \bar{x} = 33.53 Tage, SD = 1.84, P > 0.0001, Abbildung 9). Die Vorgeschichte der Weibchen hatte keinen Effekt auf die Inkubationsdauer (ANOVA, „kalte Weibchen“: \bar{x} = 38.18 Tage, SD = 4.56, „warme Weibchen“: \bar{x} = 36.53 Tage, SD = 4.24, P > 0.36, Abbildung 9). Genauso wenig konnte eine Interaktion der beiden Faktoren „hohe/tiefe Inkubationstemperatur und warme/kalte Weibchen“ nachgewiesen werden (ANOVA, P < 0.926, Abbildung 9).

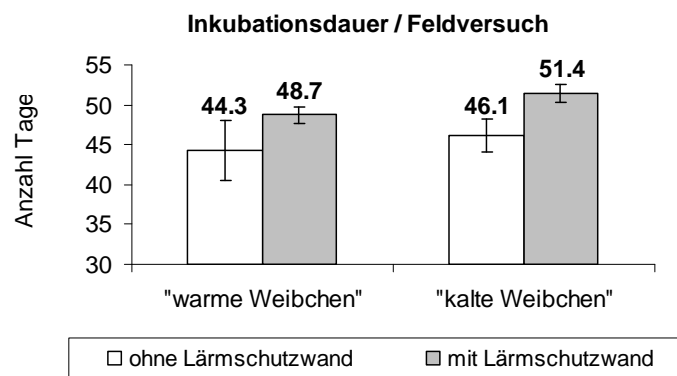


Abbildung 8: Feldversuch.
Vergleich der beiden Gruppen:
„warme und kalte Weibchen“.
Innerhalb dieser beiden Gruppen
der Vergleich der Inkubations-
dauer mit oder ohne
Lärmschutzwandbedingung.

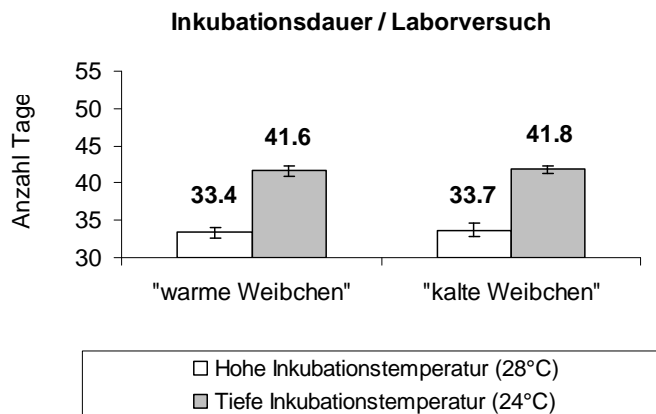


Abbildung 9: Laborversuch.
Vergleich der beiden Gruppen:
„warme und kalte Weibchen“.
Innerhalb dieser beiden Gruppen
der Vergleich der Inkubations-
dauer mit den Inkubations-
temperaturen hoch und niedrig.

3.3 Daten der Jungtiere

3.3.1 Vorgeschichte der Weibchen und Inkubationsbedingungen

3.3.1.1 Schlupfraten

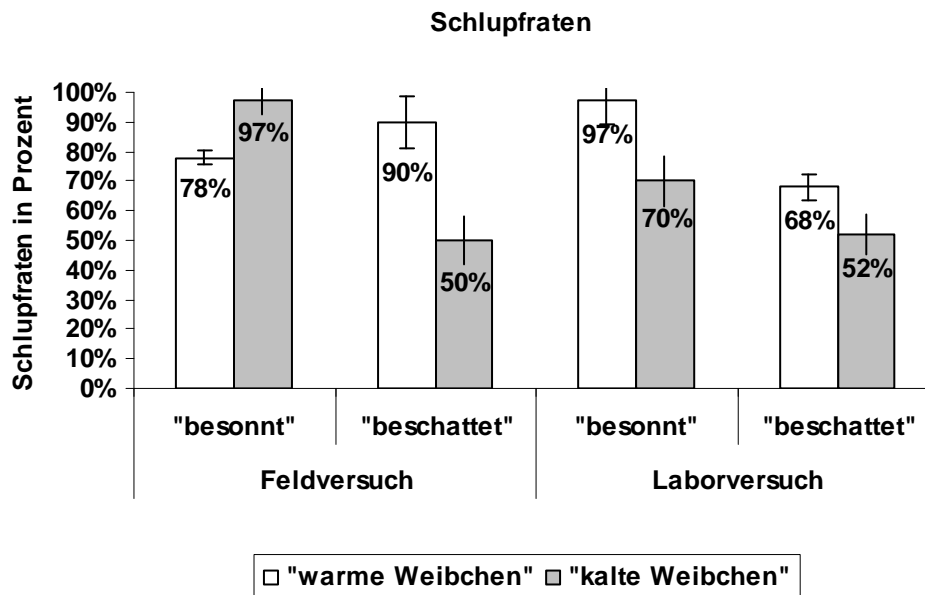


Abbildung 10: Vergleich der beiden Versuchsgruppen (Labor und Feld). Innerhalb der Versuchsgruppen ein Vergleich der Vorgeschichte der Weibchen und der Inkubationsbedingungen. „Beschattet“ steht im Feldversuch für die Bedingung „mit Lärmschutzwand“ und im Laborversuch für „tiefe Inkubationstemperaturen“. „Besonnt“ symbolisieren die Bedingungen im Feldversuch: „ohne Lärmschutzwand“ und im Laborversuch: „hohe Inkubationstemperaturen“.

Die Bedingungen „kalte Weibchen/ohne Lärmschutzwand“ und „warme Weibchen/hohe Inkubationstemperaturen“ erzielten mit je 97% die besten Schlupferfolge. Am schlechtesten schnitten die Gruppen „kalte Weibchen/mit Lärmschutzwand“ und „kalte Weibchen/tiefe Inkubationstemperaturen“ mit je ca. 50% Schlupferfolg ab. Unter den Bedingungen „warme Weibchen/mit Lärmschutzwand“ entwickelten und schlüpften 90% der Jungtiere (Abbildung 10).

Signifikante Unterschiede gab es jedoch nur wenige. Im Feldversuch interagierte der Faktor „warme/kalte Weibchen“ mit dem Faktor „mit/ohne Lärmschutzwand“ (ANOVA, $P < 0.0049$, Abbildung 10). Die Schlupfraten der Gruppen, „mit und ohne Lärmschutzwand“ unterschieden sich nicht signifikant (ANOVA, „mit Lärmschutzwand“: $\bar{x} = 70.83\%$ geschlüpft, $SD = 45.02$, „ohne Lärmschutzwand“: $\bar{x} = 63.69\%$ geschlüpft, $SD = 44.53$, $P < 0.65$). Auch die Vorgeschichte der Weibchen hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Schlupfrate im Feldversuch (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 77.94\%$ geschlüpft, $SD = 39.41$, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 57.29\%$ geschlüpft, $SD = 47.91$, $P < 0.19$). Im Gegensatz zum Laborversuch, bei welchem sich die Schlupferfolge signifikant in Abhängigkeit der „Vorgeschichte der Weibchen“ unterschieden. „Warme Weibchen“ hatten unabhängig von der Inkubationstemperatur bessere Fortpflanzungserfolge im Vergleich zu „kalten Weibchen“ (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 72.94\%$ geschlüpft, $SD = 39.17$, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 41.04\%$ geschlüpft, $SD = 41.44$, $P < 0.03$, Abbildung 10). Die Inkubationstemperatur schien keinen Einfluss auf die Schlupfrate zu nehmen (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 54.52\%$

geschlüpft, $SD = 45.34$, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 56.89\%$ geschlüpft, $SD = 41.76$, $P < 0.88$), ebenso die Interaktion der Faktoren: „warme/kalte Weibchen“ und „Inkubationstemperatur“ (ANOVA, $P < 0.703$, Abbildung 10).

3.3.1.2 Geschlecht und biometrische Werte (Geschlecht der Juvenilen, Gewicht, KRL, Schwanzlänge, Gesamtlänge,)

Zusammenfassend sind die Resultate zu diesem Abschnitt (3.3.1.2.) in der Tabelle 2 (Seite 25) aufgeführt.

Das Geschlechterverhältnis der Juvenilen war nahezu 1:1 (89 Weibchen und 81 Männchen). Die experimentellen Behandlungen (Vorgeschichte Weibchen und Inkubationsbedingungen) zeigten keinen Einfluss auf das Geschlechterverhältnis.

Im Feldversuch liessen die Gewichtsmessungen der geschlüpften Zauneidechsen eine unerwartete Aussage zu. Im Schatten der Lärmschutzwände schlüpften (nicht signifikant) schwerere Jungtiere als im unbeschatteten Gelände (ANOVA, „mit Lärmschutzwand“: $\bar{x} = 0.52$ g, $SD = 0.01$, „ohne Lärmschutzwand“: $\bar{x} = 0.50$ g, $SD = 0.01$, $P < 0.17$, Abbildung 11). Es machte keinen Unterschied, ob diese Jungtiere von „warmen“ oder „kalten“ Weibchen stammten (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 0.52$ g, $SD = 0.04$, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 0.50$ g, $SD = 0.05$, $P < 0.48$, Abbildung 12), ebenso verhielt es sich mit der Interaktion der beiden Variablen „mit/ohne Lärmschutzwand“ und „warme/kalte Weibchen“ (ANOVA, $P < 0.40$, Abbildung 12). Die KRL (Kopf-Rumpf-Länge), die Gesamtlänge und die Schwanzlänge der frisch geschlüpften Eidechsen unterschieden sich nicht unter den experimentellen Bedingungen. Die Resultate zeigten ein ähnliches Muster wie die Gewichtsmessungen (Abbildung 13).

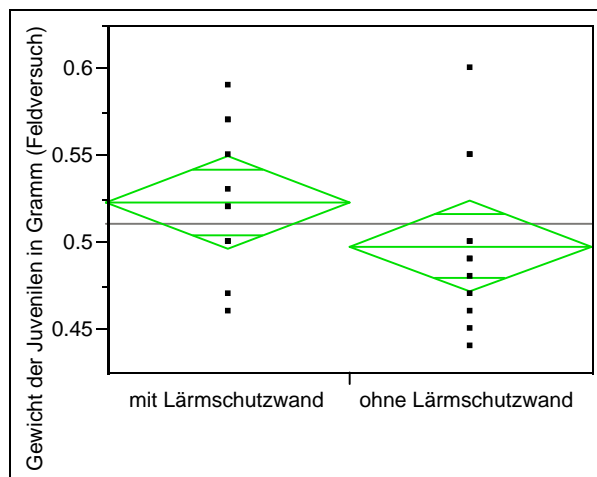


Abbildung 11: Unter der Bedingung „mit Lärmschutzwand“ kamen tendenziell (aber nicht signifikant) schwerere Jungtiere zur Welt.

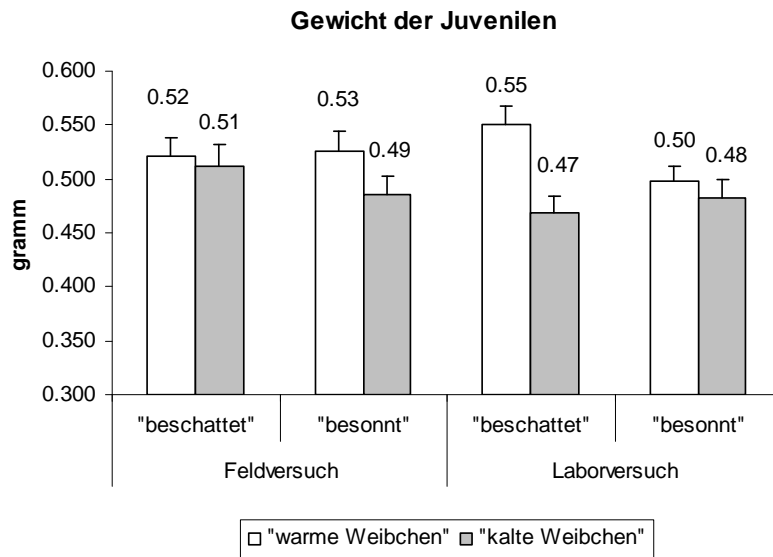


Abbildung 12: Vergleich der verschiedenen Gruppen bezogen auf das Gewicht der Jungtiere (in Gramm). „Beschattet“ steht im Feldversuch für die Bedingung „mit Lärmschutzwand“ und im Laborversuch für „tiefe Inkubationstemperaturen“. „Besonnt“ symbolisieren die Bedingungen im Feldversuch: „ohne Lärmschutzwand“ und im Laborversuch: „hohe“ Inkubationstemperaturen.

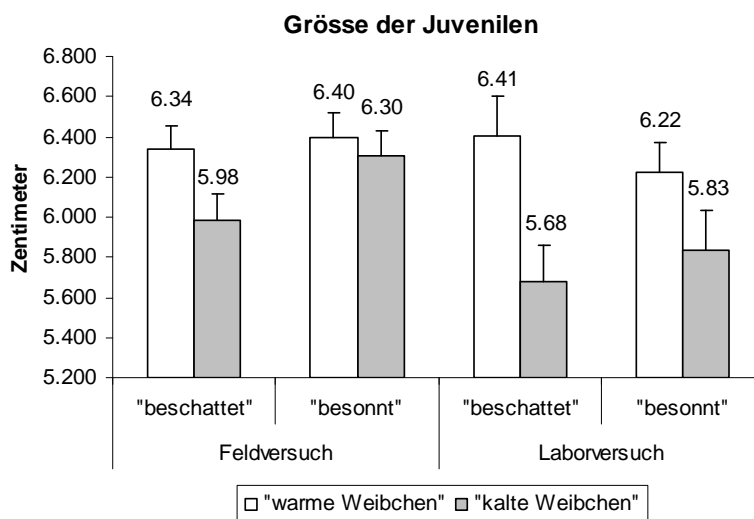


Abbildung 13: Vergleich der verschiedenen Gruppen bezogen auf die Grösse der Jungtiere (in Zentimeter). „Beschattet“ steht im Feldversuch für die Bedingung „mit Lärmschutzwand“ und im Laborversuch für „tiefe Inkubationstemperaturen“. „Besonnt“ symbolisieren die Bedingungen im Feldversuch: „ohne Lärmschutzwand“ und im Laborversuch: „hohe“ Inkubationstemperaturen.

Im Laborversuch waren die Gewichte der Juvenilen signifikant unterschiedlich (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 0.52$ g, SD = 0.05, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 0.47$ g, SD = 0.04, $P > 0.02$, Abbildung 14). Interessanterweise unterschied sich die Körperkondition der Jungtiere aus dem Labor (Gewicht, Gesamtlänge, KRL, Schwanzlänge) nicht in den beiden Gruppen „hohe oder tiefe Inkubationstemperatur“. Es gab keine signifikante Interaktion der beiden Faktoren „warme/kalte Weibchen“ und „hohe/tiefe Inkubationstemperaturen“ auf das juvenile Gewicht bezogen (ANOVA, $P < 0.06$, Abbildung 12).

Die Länge der Jungen unterschied sich von den „warmen“ zu den „kalten Weibchen“ signifikant. (ANOVA, „warme Weibchen“: $\bar{x} = 6.30$ cm, SD = 0.27, „kalte Weibchen“: $\bar{x} = 5.75$ cm, SD = 0.57, $P > 0.005$, Abbildung 15). Der Faktor „Hohe/tiefe Inkubationstemperatur“ hatte keinen Einfluss auf die Gesamtlänge der Labor-Schlüpflinge (ANOVA, „hohe Inkubationstemperatur“: $\bar{x} = 6.07$ cm,

SD = 0.44, „tiefe Inkubationstemperatur“: \bar{x} = 6.01 cm, SD = 0.59, $P > 0.77$, Abbildung 13). Die Interaktion der beiden Faktoren „hohe/tiefe Inkubationstemperatur“ und „warme/kalte Weibchen“ war nicht signifikant (ANOVA, $P < 0.06$, Abbildung 13).

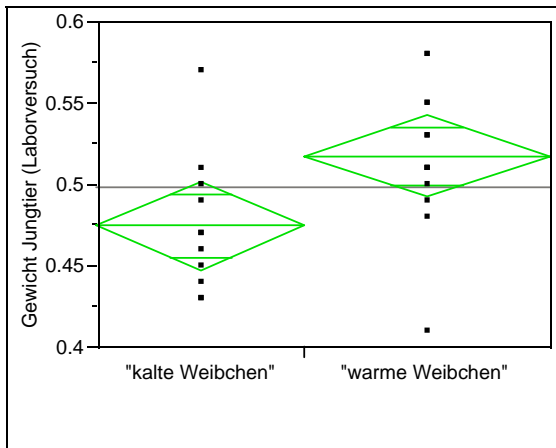


Abbildung 14: „Warme Weibchen“ brachten schwerere Jungtiere zur Welt im Vergleich zu den „kalten Weibchen“ (Laborversuch).

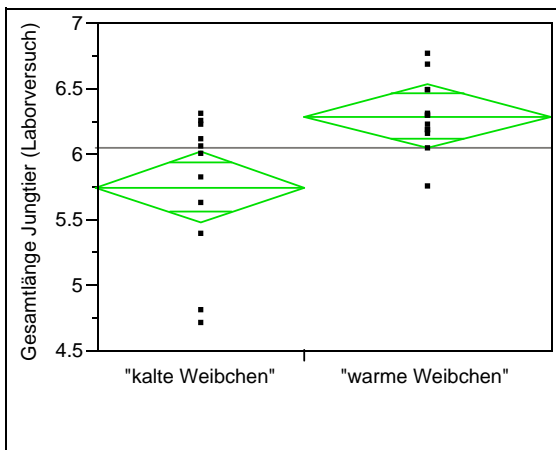


Abbildung 15: „Warme Weibchen“ brachten längere Jungtiere zur Welt im Vergleich zu den „kalten Weibchen“ (Laborversuch).

Nachdem ich die Jungtiere aus den Inkubatoren befreite, maß ich ihre Temperaturen und entdeckte dabei, dass die Juvenilen von „warmen Weibchen“ im Durchschnitt wärmer waren, unabhängig von den Inkubationsbedingungen (24°C oder 28°C Inkubationstemperatur). Ich hatte aber von jedem Individuum nur eine Körpertemperaturmessung genommen.

Als ich das Gewicht und die Gesamtlänge beider „Versuchs-Gruppen“ (Mittelwert aller Jungtiere eines Geleges, einerlei ob Feldversuch oder Laborversuch) untersuchte, kam dabei heraus, dass „warme Weibchen“ schwerere und größere Jungtiere hervorbrachten im Vergleich zu den „kalten Weibchen“. (ANOVA, Grösse der Juvenilen von „warmen“ Weibchen abstammend: \bar{x} = 6.35 cm, SD = 0.19, Grösse der Juvenilen von „kalten“ Weibchen abstammend: \bar{x} = 6.05 cm, SD = 0.26, $P < 0.003$, Gewicht der Juvenilen von „warmen“ Weibchen abstammend: \bar{x} = 0.52 g, SD = 0.03, Gewicht der Juvenilen von „kalten“ Weibchen abstammend: \bar{x} = 0.49 g, SD = 0.04, $P < 0.039$, Tabelle 2).

Tabelle 2: Resultate einiger Variablen der Körperkondition der Jungtiere (Gewicht, Gesamtlänge, KRL, Schwanzlänge, Geschlecht und Körpertemperatur), getestet auf die beiden experimentellen „Behandlungsfaktoren“: „warme/kalte Weibchen“ und „Inkubationsbedingungen“. (LSW = Lärmschutzwand und Ink.temp. = Inkubationstemperatur. Beide Versuchsgruppen zusammen = Mittelwert der „Labor-Jungtiere + der „Feld-Jungtiere“).

Eigenschaften der Juvenilen		n	Mittelwert ± SD „warme Weibchen“	Mittelwert ± SD „kalte Weibchen“	P- Wert	Mittelwert ± SD „mit LSW“ / "tiefe Ink.temp."	Mittelwert ± SD „ohne LSW“ / "hohe Ink.temp."	P- Wert
<u>Geschlechter- verhältnis (#):</u>								
Feldversuch	Geschlüpfte Weibchen	24	3.92 ± 1.50	3.45 ± 2.47	0.573	3.58 ± 1.98	3.83 ± 2.04	0.763
Laborversuch	Geschlüpfte Männchen	24	3.15 ± 1.91	3.64 ± 2.34	0.583	3.69 ± 2.25	3.00 ± 1.90	0.429
	<u>Gewicht (g):</u>	24	0.52 ± 0.04	0.50 ± 0.05	0.480	0.52 ± 0.01	0.50 ± 0.01	0.176
	<u>Längenmasse (cm):</u>							
Feldversuch	Gesamtlänge	24	6.36 ± 0.20	6.16 ± 0.41	0.119	6.19 ± 0.40	6.35 ± 0.21	0.226
	KRL	24	2.60 ± 0.09	2.56 ± 0.08	0.273	2.57 ± 0.07	2.60 ± 0.10	0.406
	Schwanzlänge	24	3.76 ± 0.13	3.69 ± 0.23	0.371	3.71 ± 0.19	3.35 ± 0.19	0.546
	<u>Gewicht (g)</u>	24	0.47 ± 0.04	0.52 ± 0.05	0.024	0.50 ± 0.05	0.51 ± 0.05	0.491
	<u>Längenmasse (cm):</u>							
Laborversuch	Gesamtlänge	24	6.29 ± 0.27	5.75 ± 0.57	0.005	6.07 ± 0.44	6.01 ± 0.59	0.769
	KRL	24	2.59 ± 0.08	2.50 ± 0.10	0.041	2.55 ± 0.07	2.56 ± 0.14	0.807
	Schwanzlänge	24	3.70 ± 0.21	3.32 ± 0.42	0.009	3.59 ± 0.22	3.45 ± 0.50	0.367
beide Versuchs- gruppen zusammen	<u>Gesamtlänge (cm)</u>	25	6.35 ± 0.19	6.05 ± 0.26	0.003			
	<u>Gewicht (g)</u>	25	0.52 ± 0.03	0.49 ± 0.04	0.039			
Laborversuch	<u>Körpertemp. (°C):</u>	24	30.51 ± 1.83	28.68 ± 1.63	0.020	29.15 ± 2.23	30.16 ± 1.48	0.220

4 Diskussion

4.1 Versuch mit trächtigen Zauneidechsen im Klimaraum

Hypothese 1:

Durch die experimentelle Behandlung (mehr oder weniger Licht) werden die Zauneidechsenweibchen in ihrer Thermoregulation eingeschränkt.

Eine der wesentlichen Fragen meiner Studie ist die Konsequenz der eingeschränkten Möglichkeit zur Thermoregulation bei Reptilien. Dabei stellt sich auch die Frage, wie präzise die Eidechsen ihre Temperatur regulieren können. Die „warmen Weibchen“ sonnen sich öfter und erzielen dadurch höhere Körpertemperaturen als die „kalten Weibchen“, welche sich signifikant häufiger verstecken (Abschnitt: 3.1.2.). Die „kalten Weibchen“ sind daher weniger flink und suchen bei Gefahr eher ein Versteck auf, die Fluchtbereitschaft nimmt zu. Im Vergleich dazu fühlen sich die „warmen Weibchen“ wahrscheinlich genug warm und flink, um sich weiter zu sonnen.

Beide Gruppen („warme und kalte Weibchen“) zeigten vor der Eiablage kühlere Körpertemperaturen als nach der Eiablage. Es scheint, als unterscheidet sich das Körpertemperaturoptimum für die Eireifung vom Optimum während der Regeneration. Im Widerspruch zu den Befunden von Beuchat (1986) und meinen Ergebnissen (Abschnitt: 3.1.1) beobachteten Daut und Andrews (1993) bei *Chalcides ocellatus* (viviparen Skinken) höhere Körpertemperaturen während der Trächtigkeit im Vergleich zu männlichen und zu nicht trächtigen Individuen. Es ist jedoch anzunehmen, dass in dieser Hinsicht vivipare Arten nicht mit oviparen vergleichbar sind.

Weiter stellte sich heraus, dass Zauneidechsenweibchen vor der Eiablage ihre Körpertemperatur sehr präzise regulieren (Tabelle 1). Diese Beobachtung haben bereits Beuchat (1986) und Mathies und Andrews (1997) beim viviparen Zaunleguan *Sceloporus jarrovi* gewonnen; dieses Phänomen dürfte also bei Echsen allgemein anzutreffen sein.

Eine präzise Thermoregulation versuche ich wie folgt zu erklären: Während des Entwicklungsprozesses spielt die Temperatur eine zentrale Rolle (Gier 1989). Wie bei allen biochemischen Reaktionen nimmt auch bei den enzymatischen die Reaktionsgeschwindigkeit mit Erhöhung der Temperatur zu. Ab einem bestimmten Punkt, dem Temperaturoptimum, geht die Reaktionsgeschwindigkeit allerdings zurück. Bei zu hohen Temperaturen beginnen die Enzyme ihre räumlichen Strukturen zu verändern, sie denaturieren. Das bedeutet für den Organismus, dass diese Grenze nicht überschritten werden darf, da ansonsten wichtige Enzyme ausfallen können. Zu hohe Inkubationstemperaturen können sich also nachteilig auf den Embryo auswirken. Die trächtigen Zauneidechsen versuchen, durch die präzise Thermoregulation ein Optimum zu erreichen, damit sich der Embryo schnell entwickelt, ohne dabei Schaden zu nehmen.

Die Frage bleibt allerdings bestehen, warum die „kalten Weibchen“ vor der Eiablage nicht dieselbe Temperatur zeigen wie die „warmen Weibchen“ (Tabelle 1). Auch unter experimentellen Bedingungen wären die „kalten Weibchen“ in der Lage, die Körpertemperatur der „warmen Weibchen vor der Eiablage“ zu erreichen (Tabelle 1). Fehlende Möglichkeiten zur Thermoregulation können nicht der Grund dafür sein, sonst hätten die „kalten Weibchen“ nach der Eiablage auch nicht höhere Werte erzielt. Die „kalten Weibchen“ scheinen sich für diese kühlere Temperatur vor der Eiablage zu entscheiden. Ist das eine „Akklimatisierung“ der Eier auf die

anschliessende „kalte“ Inkubation im Schatten der Lärmschutzwand? Es scheint, als ob es in der „Thermo-Ökologie“ der Echsen noch spannende Fragen zu beantworten gibt.

Hypothese 2:

Die Behandlungsmethode „weniger Licht“ hat einen negativen Einfluss auf die Gewichtszunahme der trächtigen Zauneidechsen.

„Warme Weibchen“ nahmen nicht stärker an Gewicht zu als die „kalten Weibchen“ (Abschnitt: 3.1.3.). Ebenfalls Wapstra (2000) hat in ihrer Arbeit mit viviparen Skinken (*Niveoscincus ocellatus*) keine signifikanten Gewichtsunterschiede innerhalb der beiden Behandlungsgruppen „warme/kalte Weibchen“ festgestellt, genauso wenig wie Mathies und Andrews (1997) bei *Sceloporus jarrovi*. Dabei hat doch das Wetter einen entscheidenden Einfluss auf die Nahrungsaufnahme der Eidechsen (Olsson 1997). Durch gezieltes Aufsuchen geeigneter Mikrohabitate können die Echsen ihre Körpertemperatur steuern (Abschnitt: 3.1.1.). Sonnenenergie bzw. Wärme beschleunigen die Verdauung der Nahrung. Die Geschwindigkeit und Effektivität des Stoffwechselgeschehens verdoppelt sich im Allgemeinen bei einem Temperaturanstieg von 10°C. Deshalb erwartete ich, dass die „warmen Weibchen“ effizienter verdauen und an Gewicht mehr zunehmen als die „kalten Weibchen“. Nicht außer Acht zu lassen ist, dass demzufolge auch die Stoffwechselrate ansteigt und mit ihr der Energieverbrauch, sodass es möglicherweise keine Netto-Gewichtszunahme zu verzeichnen gibt.

Wahrscheinlich ist die Temperatur nicht der einzig limitierende Faktor. Nach Eggert (1936) steht der Gesamtstoffwechsel nicht nur im Zusammenhang mit der Umgebungstemperatur, sondern wird stark durch die Schilddrüsenfunktion gesteuert.

Der Faktor „Schatten“ wirkt sich nicht auf die Gelegegröße der Zauneidechsenweibchen aus:

Nicht beeinflusst durch die experimentelle Methode ist die Gelegegröße (Tabelle 1). Es ist empirisch belegt, dass die Anzahl Eier pro Gelege durch den im Vorsommer angelegten Fettvorrat bestimmt wird (Rykena, 1988a). Die Gelegegrößen meiner Untersuchung stimmen mit denen der Literatur relativ gut überein, sie liegen sogar leicht über dem Mittel (Abschnitt: 3.2.1.). In der Literatur werden 4 Eier als durchschnittliche Gelegegröße für dreijährige Muttertiere und ab dem siebten Lebensjahr 8 Eier genannt (Strijbosch 1988).

Hypothese 3:

Die experimentelle Behandlung (mehr oder weniger Licht) wirkt sich auf die Tiefe des Eiablageorts im Terrarium aus.

Damit die Eier der „kalten Weibchen“ genügend Wärme erhalten, werden sie nahe der Oberfläche gelegt (Abschnitt: 3.1.6.). Dank der höheren Umgebungstemperatur können es sich die „warmen Weibchen“ leisten, tiefer im Boden ihre Eier zu legen; trotz niedrigerer Mittelwerte wird die Temperatur zur Inkubation ausreichen. Dies hat den Vorteil, dass die beiden abiotischen Faktoren Temperatur und Feuchtigkeit durch zunehmende Bodentiefe besser gepuffert werden (Elbing 1993). Im Klimaraum war die Luft sehr trocken, und obwohl ich alle drei Tage die Terrarien nässte, sind die ersten zwei Zentimeter Sandschicht jeweils ausgetrocknet. Gut vorstellbar, dass diese wenigen Zentimeter Tiefenunterschied der Eiablage Auswirkungen auf den Bruterfolg haben könnten. Zugegebenermaßen entspricht das Raumklima im Labor, im Speziellen die tiefe Luftfeuchtigkeit, nicht den natürlichen Bedingungen unserer Klimazone.

Hypothese 4:

Der Faktor „Schatten“ verlangsamt den Ei-Entwicklungsprozess im Muttertier.

Die Ende Mai bis Anfang Juni gelegten Eier zählen zu den frühesten Gelegen im Jahr (Blanke 2004). Weshalb die „warmen Weibchen“ nicht früher als die „kalten Weibchen“ ihre Eier legen, ist unklar (Abschnitt: 3.1.4.). Vielleicht sind langsam gebildete Eier besser als solche, die schnell produziert werden? Also lohnt es sich womöglich nicht, auf hohe Temperaturen zu reagieren? Oder vielleicht waren die Temperaturunterschiede zwischen den beiden Gruppen „warme/kalte Weibchen“ zu gering? Wapstra (2000) schreibt über vivipare Skinke (*Niveoscincus ocellatus*), dass „warme Weibchen“ (10 h Licht pro Tag) früher gebären als „kalte Weibchen“ (4 h Licht pro Tag). *Niveoscincus ocellatus* bringt unter guten Bedingungen die Jungen signifikant früher zur Welt. Shine und Harlow (1993) arbeiteten mit *Eulamprus heatwolei* (vivipar) und erhielten ähnliche Resultate. Doch ist die Tragzeit eines viviparen Tiers nicht vergleichbar mit der Eireifung einer eierlegenden Art.

Die Eientwicklung im trächtigen Tier wird durch die Temperatur beeinflusst. Besonders tangiert durch die Temperatur ist der Hypothalamus, der über so genannte „Releasing-Hormone“ die Aktivität der Hypophyse steuert. Die Hypophyse wiederum hilft bei der Produktion von Hormonen, die eine zentrale Rolle spielen bei Wachstum und Reifung der Follikel. Unmittelbar nach der Eiablage ist die Entwicklung im Keimscheibenstadium angelangt (Köhler 2004).

Die Inkubationsdauer wird mit zunehmender Temperatur kürzer. Deshalb spielt es eine wesentliche Rolle, ob die Eier unter hohen oder tiefen Inkubationstemperaturen ausgebrütet werden (Rykena und Nettmann 1987, Rykena 1988b, Strijbosch 1988, Elbing 1993, Blanke 1995). Gleiches stellte ich in meinen Versuchsreihen fest (Abbildung 8 und 9).

Jungtiere aus früh gelegten Eiern haben oft viel grössere Überlebenschancen als solche aus spät gelegten Eiern (Olsson 2001, Olsson und Shine 1997). Olsson und Shine (1997) schreiben von frühen grossen Gelegen mit grossen Jungen. Dabei erwähnen sie auch, dass grosse Weibchen kleinere Jungtiere produzieren, dass aber sowohl Weibchengröße und Jungtiergröße negativ mit dem Eiablagedatum korreliert sind. Meine Untersuchung zeigte, dass große Weibchen früh im Jahr viele Eier legten, aus denen grosse Jungtiere schlüpften (Abbildung 4 und 5). Aus diesen „erfolgreichen“ Gelegen schlüpften dementsprechend auch nahezu 100 % juvenile Eidechsen (Abbildung 5). Dies kann auch in der Richtung interpretieren werden, dass es sich hierbei um „Superweibchen“ handelte, ähnlich den „superfleas“ in der Arbeit von Reznick et al. (2000). Offenbar gibt es Weibchen, die einfach „besser“ sind als andere: Sie legen früher im Jahr grössere Gelege, aus denen ein grösserer Anteil Jungtiere schlüpft – und diese sind erst noch grösser.

4.2 Versuch mit den gelegten Eiern:

Weibchen von *Lacerta agilis* können ihre Eier in einem gewissen Entwicklungsstadium resorbieren. Meyer (1903) schreibt über Zerfallsvorgänge von Ovarialeiern unter chemischen Einflüssen. Deshalb wäre es denkbar, dass unter schlechten Bedingungen („kalte Weibchen“) die Eier resorbiert werden. Für meine Versuche habe ich die Weibchen in einem bereits weit entwickelten Trächtigkeitsstadium gefangen (Abbildung 3). Deswegen gehe ich davon aus, dass die Weibchen, die keine Eier legten (Abschnitt: 3.1.4.) entweder unfruchtbar sind oder in diesem Jahr mit der Reproduktionsaktivität „aussetzten“, aber nicht, dass sie ihre Eier resorbierten. Nach Blanke (2004) ist die jährliche Reproduktion die Regel, jedoch gibt es auch hier Ausnahmen. Das Aussetzen der Fortpflanzung einzelner Tiere kann auf ganz unterschiedliche Faktoren wie fehlende Paarungspartner, mangelhaftes Sperma, Krankheit, zu kleiner Fettvorrat oder weitere physische Unzulänglichkeiten zurückgeführt werden (Blanke 2004). Das Argument der fehlenden Paarungspartner steht im Kontrast zu der Arbeit von Elbing (1997), welche eine sehr kleine Population von Zauneidechsen beschreibt und wie sie sich trotzdem gegenseitig zur Paarung finden. Je öfter sich ein Weibchen paart, desto erfolgreicher ist die Reproduktion. Monogame Weibchen haben weniger „fite“ Jungtiere als polygame Individuen. *Lacerta agilis* Weibchen sind bis zu einem gewissen Grad zur Spermienselektion fähig (Olsson und Madsen 1995), und es scheint, als ob der am wenigsten nah verwandte Vater den Spermienwettkampf gewinnen würde. Die Mechanismen dazu sind noch unbekannt (Olsson und Shine 1997). Die spät gefangenen Weibchen hatten mehr Zeit, sich zu verpaaren und dadurch grössere Chancen, „gute Gene“ von ihren Partnern zu erhalten. Aus meinen Resultaten (Abschnitt: 3.1.4.) ist eine solche Tendenz jedoch nicht ersichtlich.

Olsson und Shine (1997) diskutieren die Möglichkeit, dass Weibchen, die früh im Jahr ihre Eier legen, das Risiko einer erfolglosen Kopulation akzeptieren. Nach diesen Autoren haben Männchen, die sich sogleich nach der Überwinterung verpaaren, kleinere Chancen zur Befruchtung als bei späteren Kopulationen. Ferner wird bei beiden Geschlechtern die Befruchtungswahrscheinlichkeit mit der zunehmenden Zahl von Paarungen verschiedener Partnern erhöht.

Spät gefangene Weibchen neigten dazu, ihre Eier spät abzulegen, auch trugen sie nicht selten unbefruchtete Eier (Abbildung 7). Diese Tendenz hat jedoch nichts mit den Deformationen zu tun. Anomalien können aufgrund der Temperatur entstehen (Elbing 2000), kommen jedoch in beiden Gruppen („warme/kalte Weibchen“) gleich häufig vor (Abschnitt: 3.2.1.). Natürlich könnte auch eine genetische Komponente verantwortlich sein. Hingegen sei Mangel an Vitaminen oder an Sonnenstrahlung nicht der Grund dieser Deformationen (Dres. Oevermann und Robert, Vetsuisse Fakultät der Universität Bern, pers. Mitt.).

4.3 **Körperkondition der Jungtiere:**

Hypothese 5:

Eine teilweise Beschattung hat einen negativen Einfluss auf den Schlupferfolg der Zauneidechse.

Im Feldexperiment schlüpfte unter der Bedingung „ohne Lärmschutzwand“ ein höherer Prozentsatz als unter der Bedingung „mit Lärmschutzwand“ (wenn auch nicht signifikant). Ein Vergleich der vier Gruppen (Feldversuch: „ohne Lärmschutzwand“, „mit Lärmschutzwand“, Laborversuch: „hohe Inkubationstemperaturen“, „tiefe Inkubationstemperaturen“) zeigt, dass die Gruppe mit den natürlichsten Bedingungen (d.h. Feldversuch „ohne Lärmschutzwand“) die höchste Schlupfrate überhaupt erzielte (Abbildung 10).

Im Feldexperiment war die Interaktion „Vorgeschichte x Inkubationsbedingungen“ entscheidend (Abbildung 10). Die Vorgeschichte der Muttertiere beeinflusst die Schlupfrate unter der Bedingung „ohne Lärmschutzwand“ nicht so stark wie unter der Bedingung „mit Lärmschutzwand“. „Warme Weibchen/mit Lärmschutzwand“ ist für die Analyse zwar spannend, jedoch in der Natur eine unrealistische Situation, denn dann müssten sich die Weibchen im Schatten der Lärmschutzwand sonnen können. Interessant sind auch die Schlupfraten der Gruppe „kalte Weibchen/ohne Lärmschutzwand“. Weibchen, die ihre Eier unter der Beschattung einer Lärmschutzwand austragen (die Eier entwickeln sich langsam) und danach ihre Eier an einem besonnten Eiablageplatz „ohne Lärmschutzwand“ ablegen können, haben Aussicht auf eine sehr gute Schlupfrate (Abbildung 10). Unter der Bedingung „kalte Weibchen/mit Lärmschutzwand“ ist dagegen nur jedes zweite Ei geschlüpft (Abbildung 10).

Im Labor minimieren sich die unbekannteren Faktoren unter den künstlich hergestellten Voraussetzungen. Wie erwartet nimmt die Schlupfrate mit besser werdenden Bedingungen zu (Abbildung 10). Unter der besten Prämisse („warme Weibchen/hohe Inkubationstemperatur“) ist die Erfolgsquote bei 97%. Mit anderen Worten ist eine warme Durchschnittstemperatur während der Trächtigkeitsdauer sowie der Inkubationszeit das beste Rezept für eine hohe Schlupfrate. Die Beschattung durch eine Lärmschutzwand verunmöglicht einen solchen Erfolg.

Hypothese 6:

Der Eiablagezeitpunkt sowie die Beschattung wirken sich auf den Phänotyp der Jungtiere aus. Die Jungen, die als Embryonen insgesamt mehr Sonnenenergie erhielten, sind schwerer und grösser im Vergleich zu den anderen Versuchsgruppen (weniger Sonnenlicht).

Im Laborversuch zeigte sich ein deutlicher Unterschied in der Grösse und im Gewicht der Juvenilen, je nach Vorgeschichte der Muttertiere. „Warme Weibchen“ produzierten längere und schwerere Junge als „kalte Weibchen“ (Abschnitt: 3.3.1.2. Reproduktionseigenschaften). Die meisten ektothermen Lebewesen reagieren auf niedrige Temperaturen und mangelnde Nahrungsverfügbarkeit mit reduziertem Größenwachstum (Berrigan et al. 1994). Olsson und Shine (1997), Elbing (1993) und Wapstra (2000) beobachteten, dass Wetterkonditionen einen Einfluss auf die Grösse und Länge der Jungechsen haben. Größere Schlüpflinge wachsen schneller, überstehen schlechte Umweltbedingungen besser, erreichen eher das Reifealter und sind erfolgreicher im Erjagen von Beutetieren im Vergleich zu kleinen Schlüpflingen (Sinervo et al. 1992). Olsson (2001) schreibt, dass grosse Jungtiere bessere Chancen haben, den ersten Winter zu überstehen, da sie im Spätsommer genügend Zeit haben, sich Fettreserven anzufressen. Dies

alles spricht für die „warmen Weibchen“ mit ihren „fitten“ Juvenilen.

Metcalfe (2001) beleuchtet das Thema Wachstum von einer ganz anderen Seite. Er diskutiert verschiedene Beispiele und Muster von kompensiertem Wachstum. Zum Beispiel durchleben einige Tiere eine bestimmte Wachstumsphase schneller, um „verlorene“ Zeit zu kompensieren. Es gibt Schmetterlinge, die können schneller wachsen, wenn sie spät in der Saison schlüpfen. Mit dem schnellen Wachstum kompensieren sie sozusagen die „verlorene“ Zeit, damit es vor Wintereinbruch noch zur Verpuppung reicht. Dieses ausgleichende Wachstum kann schnelle Vorteile bringen, aber verursacht auch einige Kosten. Eine dieser physiologischen „Kosten“ ist eine geringere Resistenz gegenüber Hungerperioden.

Möglicherweise sind die leichteren Eidechsenjungtiere, die unter der Bedingung „ohne Lärmschutzwand“ schlüpften (Abbildung 11), ein weiteres Beispiel für kompensiertes Wachstum. Die Kosten der raschen Entwicklung bezahlen sie mit geringerem Gewicht. Diesen Verlust kompensieren sie wiederum mit der gewonnenen Zeit, um sich Fettreserven anzulegen.

Über diese Spekulation und Widersprüchlichkeit von Sinervo et al. (1992) und Metcalf (2001) kann man sich streiten. Noch einmal aus einem anderen Blickwinkel behandelt Elbing (2000) dieses Thema. Sie betrachtet die Beeinflussung des Sauerstoffpartialdrucks im Gelegebereich. Sinkt der Sauerstoffpartialdruck zu stark ab, so kann der Stoffwechsel der Embryonen gehemmt werden. Geringere Schlupfgrößen können die Folgen davon sein. Besonders unter Laborbedingungen denke ich, diesen Faktor mehr oder weniger vernachlässigen zu dürfen (Abschnitt: 2.2.1.).

Beuchat (1986) und Mathies und Andrews (1997) beschreiben bei viviparen Arten das Gegenteil: Weibchen mit höheren Temperaturen während der Trächtigkeit gebären kleinere Jungtiere. Diesen Sachverhalt erklärt die Temperatur-Größen-Regel meiner Meinung nach am besten. Diese Regel besagt, dass besonders bei Ektothermen schnelles Wachstum frühe Reife und kleine Körpergrößen hervorbringt (Angilletta 2003). Diese Theorie stimmt nicht mit meinen Resultaten überein, doch gilt sie möglicherweise nur für vivipare Formen.

Welche Taktik ist unter welchen Bedingungen die beste?

In meiner Studie ist die mittlere Körpergröße des Nachwuchs kleiner (Abschnitt: 3.3.1.2.) und die mittlere Gelegegröße größer (Abschnitt: 3.2.1.) als in der Literatur angegeben (Blanke 2004). Meine Werte passen gut zur These, dass Zauneidechsen anstelle von möglichst grossen möglichst viele Jungtiere produzieren (Blanke, 2004). Vielleicht verhält es sich ähnlich wie bei *Uta stansburiana* (gemeiner Seitenfleckleguan), bei dem von zwei Morphen berichtet wird. Eine Morphe produziert wenige, aber grosse Eier (K-Strategie) und die andere Morphe viele, dafür kleine Eier (r-Strategie). In Jahren mit einer hohen Leguan-Dichte hat der K-Strategie relative Fitness-Vorteile, und umgekehrt ist der r-Strategie in geringen Dichtevorkommen im Vorteil (Olsson 2001). Populationsdichten sind dynamisch und lassen dadurch beiden Morphen ihre Stellung, frequenzabhängig variierend im Häufigkeitsvorkommen.

Reproduktiver Erfolg und reproduktive Strategien sind in der Natur oft korreliert. Der jährliche reproduktive Erfolg nimmt mit dem Alter in vielen Tierarten zu, das kommt wahrscheinlich daher, dass die Weibchen mit jedem Mal erfahrener werden. In Säugetier- und Vogelstudien ist die Fortpflanzungsleistung ein oft untersuchtes Thema und wird mit dem Alter der Eltern in Verbindung gebracht. Bei Tieren, die auch nach der Reifung immer noch weiter wachsen, ist die Altersklasse nicht von gleicher Bedeutung. In diesen Tiergruppen wird der Fortpflanzungserfolg nicht anhand des Alters, sondern anhand der Körpergröße geschätzt. In manchen Taxa gilt, je mehr Nachwuchs,

desto kostenintensiver, aber auch wahrscheinlicher, dass eines der Jungtiere überleben wird. Es ist eine Art Kompromiss (trade-off) zwischen Größe und Anzahl und stellt besonders in der Evolution eine fundamentale Frage dar. Ein „size-versus-number-trade-off“ („OSN“) wurde in verschiedenen Tiergruppen nachgewiesen. Die „OSN“ Theorie hat eine lange Tradition und ist besonders gut untersucht bei Vögeln, Säugern und Insekten (Freeman und Herron 2004). Verschiedene Untersuchungen zeigten negative Korrelationen zwischen Gelege- und Eigrößen. Fische mit größeren Eiern produzieren weniger Eier pro „Gelege“. Dies ist auch bekannt bei *Lacerta agilis* (Olsson 2001).

4.4 Ausblick

Die wesentlichen Erkenntnisse meiner Arbeit sind vereinfacht in der Tabelle 3 zusammengefasst:

Tabelle 3: Die wichtigsten Erkenntnisse meiner Untersuchung zusammengefasst. Die Abkürzung LSW steht für Lärmschutzwand (Attrappe).

Eigenschaften	„warme Weibchen“	„kalte Weibchen“
Körpertemperatur	Wärmer	Kälter
Verhalten	Sonnen sich öfter	Verstecken sich öfter
Gelegetiefe	tiefer	weniger tief
Inkubationsdauer	Tendenziell kürzer	Tendenziell länger
Schlupfrate	Höher	Kleiner
Körperkondition der Juvenilen	Größer und schwerer	Kleiner und leichter
Eigenschaften	Grosse Weibchen	Kleine Weibchen
Gelegegrösse	Mehr Eier	Weniger Eier
Eiablagezeitpunkt	Früh im Jahr	Spät im Jahr
Körperkondition der Juvenilen	Tendenziell besser	Tendenziell schwächer
Schlupfrate	Höher	Kleiner
Eigenschaften	Ohne LSW und mit hohen Temperaturen	Mit LSW, mit niedrigeren Temperaturen
Inkubationsdauer	Kürzer	Länger
Schlupfrate	Höher bei hohen Inkubationstemperaturen	Kleiner bei tiefen Inkubationstemperaturen

Weil die beiden Faktoren „Vorgeschichte der Weibchen und Inkubationsbedingungen“ im Feld jeweils gekoppelt waren, ist für die artenschützerische Bewertung der Lärmschutzwände vor allem der Vergleich „warme Weibchen/ohne Lärmschutzwand“ mit „kalten Weibchen/mit Lärmschutzwand“ relevant. In meiner Studie habe ich zu vier Eigenschaften (Inkubationsdauer, Schlupfrate, Grösse und Gewicht der Jungechsen) Resultate gewonnen, die einen direkten Vergleich der Bedingung „mit und ohne Lärmschutzwand“ zulassen. Unter freiem Himmel, „ohne Lärmschutzwand“, dauert die Inkubation nur 44 Tage und die Jungen gewinnen wertvolle Spätsommertage (Abbildung 8). Durch die Beschattung einer Lärmschutzwand schlüpfen die Jungtiere eine Woche später. Wenn man bedenkt, wie heiß der Sommer 2006 war, darf man annehmen, dass in anderen Jahren die Inkubationsdauer noch länger und die Differenz noch grösser wäre. Besonders eindrücklich sind die Resultate der Schlupfraten: Unter Lärmschutzwand-Bedingungen schlüpfte nur die Hälfte aller Eier, im Vergleich zu den 78% Geschlüpften, die unter freiem Himmel ausgebrütet wurden (Abbildung 10).

Die Jungtiere, die von „warmen Weibchen“ stammen und sich „ohne Lärmschutzwand“ entwickelt haben, sind insgesamt grösser und schwerer (Abbildung 7 und 8) und haben somit für den ersten

Winter grössere Überlebenschancen. Für die saubere experimentelle Trennung der Effekte Vorgeschichte bzw. Ei-Inkubation wurden Kombinationen geschaffen, die unter natürlichen Bedingungen nicht vorkommen (z.B.: „warme Weibchen“/„mit Lärmschutzwand“).

Zusammengefasst: Bei einer Beschattung (sei sie auch nur halbtags) ist die Inkubationsdauer länger und die Körperkondition von jungen Zauneidechsen unbedeutend schlechter, was die Überlebenswahrscheinlichkeit im ersten Jahr beeinträchtigt. Wird die Einbusse durch die geringere Schlupfrate mit dazu gerechnet, hat dies, kurzfristig gesehen, einen bedenklichen Einfluss auf die lokale Eidechsenpopulation. Die Resultate zeigen, dass die Reproduktion bereits in der ersten Generation starke Einbussen durch den Faktor Schatten verzeichnen müsste.

Auf längere Sicht betrachtet, würde der Schattenwurf einer Lärmschutzwand (an einer dementsprechend exponierten Böschung) einen massiven Rückgang der Population bedeuten. Ich bin überzeugt, dass ein solcher Lebensraum für Reptilien auf weite Sicht verloren ist.

Was kann also getan werden?

Der Lebensraumverlust für Reptilien soll durch Aufwertungsmaßnahmen im angrenzenden Bereich wenn immer möglich vollständig kompensiert werden. Dabei sind je nach Ausmass der Beschattung Flächen mit zu berücksichtigen, die bis dahin von Reptilien nicht besiedelt wurden (Meyer 2005).

Sobald grosse Zauneidechsenpopulationen ihr Habitat verlieren, ist eine Umsiedlung in Betracht zu ziehen. Zuvor braucht es eine seriöse wissenschaftliche Begutachtung des Umsiedlungsprojektes. Der Umsiedlungsort muss sorgfältig ausgewählt werden. Langzeitstudien zu diesem Thema sind kaum bekannt, und es besteht Nachforschungsbedarf.

5 Danksagung

Folgenden Personen und Institutionen möchte ich vielmals für ihren Beistand danken:

Besonderer Dank geht an Prof. Dr. Marcel Güntert, Direktor des Naturhistorischen Museums Bern, der meine Diplomarbeit betreute. Ich bedanke mich beim Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde Bern, das den Klimaraum und meinen Arbeitsplatz zur Verfügung stellte. In technischer Angelegenheit sei hier Stefan Bachhofner gedankt, Techniker des Naturhistorischen Museums Bern. Allen MitarbeiterInnen des Naturhistorischen Museums möchte ich gemeinsam danken für die mentale Unterstützung.

Für sein grosses Engagement, sein Interesse und seine kompetente Kollection der Diplomarbeit möchte ich Dr. Benedikt Schmidt herzlich danken, sowie der Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (karch), die diese Kollection ermöglichten. Dem Team der karch, insbesondere Andreas Meyer und Silvia Zumbach, und den Regionalvertretern Ueli Hofer und Beatrice Lüscher sei für die Unterstützung mit viel Sach- und Fachwissen gedankt.

Ein besonderer Dank geht an den Hans-Schiemanz-Fonds der DGHT für den großzügigen Förderbeitrag.

Die Stiftung Landschaft und Kies (Herr S. Bachmann) sowie die Firmen KAGA und AVAG stellten Flächen und Maschinen auf ihren Betriebsarealen zur Verfügung, auch ihnen sei gedankt.

Beim Naturschutzinspektorat des Kantons Bern (NSI) bedanke ich mich für die Fang- und Haltebewilligung der Zauneidechsenweibchen.

Ebenfalls für anregende Diskussionen und lehrreiche Stunden bedanke ich mich bei der Abteilung für Conservation Biology an der Universität Bern, die mich in ihren Seminarien, Journal Clubs und anderen Veranstaltungen immer willkommen hießen.

Bei Hans Triet, Oberpfleger des Vivariums im Tierpark Dählhölzli, bedanke ich mich für die vielen Tipps und die herzliche Unterstützung.

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mir beim Einfangen der Zauneidechsen behilflich gewesen sind: Herrn B. Baur, Herrn S. Bachmann, Frau K. Eigenmann, Frau C. Wisler und Frau I. Weinberger.

Für das Aufstellen der Lärmschutzwände, das Vorbereiten der Freiland-Brutkästen und für die Hilfe bei den Aufräumarbeiten gilt der Dank meinen Eltern. Nebst der tatkräftigen Mitarbeit auf dem Feld haben sie mein Biologiestudium ermöglicht und mich immer unterstützt, dafür danke ich ihnen im Speziellen.

6 Literatur

- Berrigan, D. und Charnov, E.L. 1994. Reaction norms for age and size at maturity in response to temperature: a puzzle for life historians. *Oikos* 70: 474 – 478
- Beuchat, C.A. 1986. Reproductive influences on the thermoregulatory behavior of a live-bearing lizard. *Copeia* 4: 971 – 979
- Blanke, I. 2004. Die Zauneidechse. Bielefeld: Laurenti Verlag. 160 S.
- Corbett, K.F. 1988. Conservation strategy for the sand lizard (*Lacerta agilis agilis*) in Britain. *Mertensiella* 1: 101 - 109
- Daut, E.F., und Andrews, R.M. 1993. The effect of pregnancy on thermoregulatory behavior of the viviparous lizard *Chalcides ocellatus*. *J. Herpetol.* 27: 6 – 13
- Dodd, C.K., Seigel, Jr. und Seigel, A. 1991. Relocation, repatriation, and translocation of amphibians and reptiles: are they conservation strategies that work? *Herpetologica* 47(3): 336 - 350
- Eggert, B. 1936: Zur Morphologie und Physiologie der Eidechsen-Schilddrüse. II. Über die Wirkung von hohen und niedrigen Temperaturen, von Thyroxin, und von thyreotropem Hormon auf die Schilddrüse. – *Z. Wiss. Zool., Leipzig*, 147: 537-594
- Elbing, K. 1993. Freilanduntersuchungen zur Eizeitigung bei *Lacerta agilis*. *Salamandra* 29.: 173 – 183
- Elbing, K. 1997. How to arrange rendezvous-distribution patterns and reproduction events in a small population of sand lizard (*Lacerta agilis*). *Herpetologia Bonnensis*: 99 – 104
- Elbing, K. 2000. Schlechtes Wetter und die Folgen – Welchen Einfluss haben ungünstige Eizeitigungstemperaturen auf Smaragdeidechsen- und Zilienwürgerschlüpflinge im Freiland? *Z. Herpetol.* 7: 159 – 166
- Freemann, S. und Herron, J.C. 2004. Evolutionary Analysis. Chapter 12: Aging and other life history characters. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. Third edition. 455 – 498
- Gier, P.J., Wallace, R.L. und Ingermann, R.L. 1989. Influence of pregnancy on behavioral thermoregulation in the Northern Pacific rattlesnake *Crotalus viridis oreganus*. *J. exp. Biol.* 145: 465 – 469
- Glandt, D. 1988. Populationsdynamik und Reproduktion experimentell angesiedelter Zauneidechsen (*Lacerta agilis*) und Waldeidechsen (*Lacerta vivipara*). *Mertensiella* 1: 167 – 177
- Glandt, D. und Bischoff, W. 1988b. Biologie und Schutz der Zauneidechse (*Lacerta agilis*). *Mertensiella* 1: 75 – 83
- House, S.M. und Spellerberg, I.F. 1980. Ecological factors determining the selection of egg incubation sites by *Lacerta agilis* in southern England. *Proceedings of the European Herpetological Society Symposium, Oxford*: 41 – 54
- Köhler, G. 2004. Inkubation von Reptilieneiern. Grundlagen Anleitungen Erfahrungen. Offenbach: Herpeton Verlag. 2. Aufl. 254 S.
- Märtens, B. 1996. Determination of sex ratio in juvenile sand lizard (*Lacerta agilis*). *Amphibia – Reptilia* 17: 70 – 73
- Märtens, B. und Grosse W.R. 1996. Fotografische Wiedererkennung bei Zauneidechsen (*Lacerta agilis* L., 1758) – Adulti und Juvenes -. *Eidechse* 7/17: 1 - 6

- Mathies, T. und Andrews, R.M. 1997. Influence of pregnancy on the thermal biology of the lizard *Sceloporus jarrovi*: why do pregnant females exhibit low body temperatures? *Functional Ecology* 11: 498 – 507
- Metcalf, N.M., und Monaghan, P. 2001. Compensation for a bad start: grow now, pay later? *TREE* 16: 254 – 260
- Meyer, A. 2005. Reptilienschutz im Rahmen der Lärmsanierungsprojekte der Eisenbahnen. BLS/karch/SBB. Unpubl. Bericht
- Meyer, J.A. 1903. Experimentell erzeugte Rückbildungserscheinungen an Eifollikel von *Lacerta agilis*. *Anat. Hefte* 22: 577 - 600
- Michael, J., Angilletta, Jr., und Dunham, A.E. 2003. The temperature-size rule in ectotherms: simple evolutionary explanations may not be general. *Amer. Nat.* 162: 332 – 342.
- Monney und Meyer 2005. Rote Liste. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. karch. 47 S.
- Olsson, M. und Shine, R 1997. The seasonal timing of oviposition in sand lizards (*Lacerta agilis*): why early clutches are better? *J. Evol. Biol.*10: 369 – 381
- Olsson, M. und Shine, R. 1997. The limits to reproductive output: Offspring size versus number in the sand lizard (*Lacerta agilis*). *Amer. Nat.* 149: 179 – 188
- Olsson, M. und Madsen, T. 2001. Between-year variation in determinants of offspring survival in the Sand Lizard, *Lacerta agilis*. *Functional Ecology* 15: 443 – 450
- Olsson, M. und Madsen, T. 2001. Promiscuity in Sand Lizards (*Lacerta agilis*) and Adder Snakes (*Vipera berus*): Causes and consequences. *J. Heredity* 92 (2): 190 – 197
- Olsson, M., Madsen, T., Wapstra, E., Silverin, B., Ujvari, B. und Wittzell, H. 2005. MHC, health, color, and reproductive success in sand lizards. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 58: 289-294
- Reznick, D., Nunney, L. und Tessier, A. 2000. Big houses, big cars, superfleas and the costs of reproduction. *TREE* 15: 421 – 425
- Rykena, S. und Nettmann, H.K. 1987. Eizeitigung als Schlüsselfaktor für die Habitatansprüche der Zauneidechse. *Jb. Feldherpetol.* 1: 123 – 136
- Rykena, S. 1988a. Ei- und Gelegemasse bei *Lacerta agilis*: ein Beispiel für innerartliche Variabilität von Fortpflanzungsparametern. *Mertensiella* 1: 75 – 83
- Rykena, S. 1988b. Innerartliche Differenzen bei der Eizeitigungsdauer von *Lacerta agilis*. *Mertensiella* 1: 41 – 53
- Shine, R. und Harlow, P. 1993. Maternal thermoregulation influences offspring viability in a viviparous lizard. *Oecologia* 96: 122 – 127
- Strijbosch, H. 1987. Nest site selection of *Lacerta agilis* in the Netherlands. In: Gelder, J.J., Strijbosch, H., Bergers, P.J.M. (eds.): *Proceedings of the 4th Ordinary general Meeting of the Societas Europaea Herpetologica (SEH)*, Nijmegen: 375 – 378
- Strijbosch, H. 1988. Reproductive biology and conservation of the sand lizard. *Mertensiella* 1: 132 – 145
- Wapstra, E. 2000. Maternal basking opportunity affects juvenile phenotype in a viviparous lizard. *Functional Ecology* 14: 345 – 352

7 Appendix

Alle untenstehenden Daten, Belege und Hilfsmittel wurden auf eine CD gebrannt und beigelegt.

Abbildungen:

- Abbildung I: Bahnböschung Uttigen (Karte)
- Abbildung II: Untersuchungsgebiet in Hinterkappelen (Karte)
- Abbildung III: Bissspuren an der Schwanzwurzel einer weiblichen Zauneidechse (Fotografie)
- Abbildung IV: Freiland „Brutkasten“ (Fotografie)
- Abbildung V: Lärmschutzwände, Fotografie der Attrappen in der Kiesgrube Bergacher/Jaberg
- Abbildung VI: Röhrchentechnik (Fotografie)
- Abbildung VII: Bauch- und Rückenfotos juveniler Zauneidechsen (einige ausgewählte Beispiele).
- Abbildung VIII: deformierte Formen (Fotografie)
- Abbildung IX: Kiesgrube Bergacher (Karte)

Tabellen:

- Tabelle I: Herkunftsliste der weiblichen Tiere (Uttigen sowie Hinterkappelen)
- Tabelle II: Vorversuch Heizquelle, 40 Watt Glühbirne
- Tabelle III: Verhaltensmuster fotografisch und verbal dargestellt
- Tabelle IV: Wetterdaten (Meteo Schweiz)
- Tabelle V: Datensammlung meiner Arbeit, „Rohdaten“

Fotografien: Petra Graf (2006)

Zusammensetzung Protectal 199:

Mono-Dicalciumphosphat, Natriumcarbonat, Calciumcarbonat, Stärke,
Vitamin A, Vitamin D3, Vitamin E und Vitamin C und Biotin.