Konzeptionelles Modell

**Funktionsweise**

Es werden folgende Stadien abgebildet:

* Eier
* Larven
* Juvenile
* Adulte

Beim Übergang von einem Stadium zum nächsten, stirbt ein Teil der Tiere ab. Die Larven haben dabei eine dichteabhängige Sterblichkeit. Adulte Tiere unterliegen einer jährlichen Sterblichkeitsrate von 50%. Grundsätzlich sind die Tiere Gewässertreu, leben und pflanzen sich in dem Gewässer fort in dem sie geschlüpft sind. Durch Wanderungen wird das angestammte Brutgewässer gewechselt. Es werden keine Saisonalen Wanderungen modelliert, rein technisch gesehen bleiben die Tiere immer im Gewässer.

**Umwelt**

Die Umwelt basiert auf den Bodenbedeckungsdaten des Kantons Basel-Landschaft, welche mit Informationen aus dem Weiherinventar ergänzt werden. Hier werden einige Weiher aus dem Inventar in den Geodaten ergänzt. Die Klasse «stehendes Gewässer» der Bodenbedeckung wird als potenzielles Brutgewässer behandelt.

**Zeitlicher Ablauf**

Das Modell startet am 1.1.2000 und endet am 31.12.2049. Für die Kalbirationen wird das Enddatum auf den 1.1.2022 gesetzt. Es werden Zeitschritte von einem Tag berechnet. Die Fortpflanzungssaison dauert von der Kalenderwoche 9 bis zur KW 35. Danach findet die Wandersaison statt bis zur KW 44. Danach ist Winterpause bis Ende Jahr (hier passiert gar nichts). Danach werden allfällige Wanderungen fortgesetzt, bis die Brutzeit wieder beginnt.

**Initialisierung**

Die Startpopulation von 50 Kammmolchen wird in dem Gewässer BL191 angesiedelt. Es handelt sich um adulte Tiere. Das Alter und der Zeitpunkt der letzten Fortpflanzung variieren von Tier zu Tier, damit die Tiere sich nicht alle gleichzeitig und sofort fortpflanzen können. Das Alter (Dauer im Stadium adult) und das Datum der letzten Fortpflanzung werden auf den gleichen Tag gesetzt. Dieser Tag ist zu Beginn des Modells zwischen 0 und 500 Tage her und wird für jedes Individuum mit einer Zufallszahl gesetzt. Das Geschlecht wird ebenfalls zufällig festgesetzt.

**Adulte**

Adulte Tiere unterliegen einer jährlichen Sterblichkeitsrate von 50%. Ende Jahr wird für jedes Individuum durch einen Zufallsmechanismus entschieden, ob es überlebt oder nicht. Im Frühjahr findet die Fortpflanzung statt. Weibchen, welche NICHT in der Fortpflanzungspause sind, legen Eier sofern sich im gleichen Gewässer mindestens ein Männchen (unabhängig von Alter oder letzter Fortpflanzung) befindet. Es werden 300 Eier pro Weibchen gelegt. Die Fortpflanzungspause wird auf 2 Jahre festgelegt. Nach der Fortpflanzungssaison entscheiden sich alle adulten Tiere ob sie auswandern oder nicht. Dies basiert auf einem Zufallsmechanismus, 12% der adulten wandern aus.

**Eier**

Die gelegten Eier warten 15 Tage, dann schlüpfen aus 50% der Eier Larven. Die anderen 50% sterben.

**Larven**

Larven unterliegen einer dichteabhängigen Sterblichkeit. Diese wird mit einer quadratischen Gleichung modelliert, die Sterblichkeit nimmt quadratisch zu der Dichte in Larven/m2 (Gewässerfläche) zu. Diese Gleichung wird in einem Experiment kalibriert. Die Larvenphase dauert 90 Tage. Der Anteil der Larven, welche das nächste Stadium erreichen, basiert auf der berechneten Sterblichkeit.

**Juvenile**

Das Stadium dauert 200 Tage. Sobald das Stadium erreicht ist, entscheidet ein Zufallsmechanismus, ob das Tier im Gewässer bleibt oder das angestammte Gewässer durch Wanderung wechselt. Die Rate der Auswanderer ist 37.3% Nach Abschluss des Stadiums erreicht ein Teil der Juvenilen (40%) das Erwachsenenalter (Stadium adult), der Rest stirbt.

**Wanderungen**

Juvenile oder Adulte können wandern, die anderen Stadien sind nicht mobil. Adulte beginnen Wanderungen erst nach der Fortpflanzungssaison. Juvenile können Wanderungen beginnen, sobald sie das Stadium erreichen.

Entscheidet sich ein Individuum zu wandern, bewegt es sich in zufälliger Himmelsrichtung aus dem Gewässer. Die Wandergeschwindigkeit beträgt im Regelfall 10m/Tag bei Adulten und 15m/Tag bei Juvenilen unabhängig von der Bodenbedeckung. Bei 0.1 % der Individuen wird eine vierfache Wandergeschwindigkeit hinterlegt. Dies soll dazu führen, dass durch sporadische Ereignisse auch unerwartete Gewässer besiedelt werden können.

Die Wanderdauer wird in einem Experiment kalibriert und liegt bei ungefähr 20 Tagen (Literatur sagt ca.300m Wanderungen für Adulte und 500m für Juvenile pro Saison). Vor jedem Schritt (also einmal pro Tag) wird die Wanderrichtung in zufälliger Richtung um 0-10° angepasst, damit die Tiere nicht schnurstracks irgendwohin laufen.

Nach Ablauf der Wanderdauer wird das nächstgelegene Brutgewässer (Luftlinie) als neues angestammtes Gewässer selektiert. Die Rückwanderung in das Gewässer ist zielstrebig auf dieses Gewässer ausgerichtet, es finden keine Kurswechsel mehr statt.

Das Gelände wird überall gleichförmig durchschritten, einzige Ausnahme sind Gebäude. Diese können nicht durchwandert werden. Stösst ein Tier an ein Gebäude läuft es in zufälliger Himmelsrichtung weiter und umwandert so das Gebäude. Dies ist bei Hin- und Rückwanderung gleich.

**Bekämpfung**

Ab dem Jahr 2021 werden an bestimmten Gewässern Tiere abgefangen (BL191,BL196,BL197,BL198). Die Fangsaison ist auf die Monate Februar bis Mai beschränkt. Kammmolche werden im Modell folgendermassen selektiert:

* Adulte Männchen, welche an eines dieser Gewässer gebunden sind.
* Adulte Weibchen, welche an eines dieser Gewässer gebunden sind und grade KEINE Fortpflanzungspause einlegen.
* Juvenile, welche zu diesem Zeitpunkt in die Gewässer einwandern

Jedes Individuum erhält die Chance durch das Netz zu schlüpfen (oder auf andere Art NICHT gefangen zu werden). Diese Chance wird mit Szenarios modelliert. Für die Erhebung der Resultate wird das Modell wird mit jedem Szenario laufen gelassen. Die Szenarios sind folgende:

* 95% der Tiere werden gefangen
* 80% der Tiere werden gefangen
* 50% der Tiere werden gefangen

**Kalibrierung**

Damit die modellierten Werte ungefähr mit den realen Daten übereinstimmen, wird das Modell kalibriert. Hier werden die Wanderdauer und die dichteabhängige Sterblichkeit eingestellt. Das Abfangszenario ist hierbei auf 80% fixiert.

In einem ersten Schritt wird die dichteabhängige Sterblichkeit auf einen Wert fixiert, der genügend wandernde Kammmolche garantiert. Danach wird das Modell mit unterschiedlichen Werten für die Wanderdauer mehrmals laufen gelassen. Anhand der Anzahl besiedelter Gewässer wird die Wanderdauer eingestellt. Für die Wanderdauer ist ein Wert gesucht, der 5-6 besiedelte Gewässer ergibt. Dies entspricht den Bekämpfungsgewässern, und ein bis zwei unentdeckte Brutgewässer.

Im zweiten Schritt wird die Wanderdauer auf diesen ermittelten Wert fixiert und der Dichtekoeffizient kalibriert. Die dichteabhängige Sterblichkeit wird mit folgender Formel berechnet:

Sterblichkeit = a\* Dichte + Grundsterblichkeit

Die Grundsterblichkeit wird auf 60% festgelegt, vergleichbar mit den anderen Stadien. Das entspricht einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 40%. Bei der Kalibration wird der Dichtekoeffizient a aus der Formel festgelegt. Als beobachtete Grösse dient die Anzahl gefangener, adulter Tiere im Jahr 2021.

Als endgültiger Dichtekoeffizient wird ein Wert gewählt, bei welchem im Jahr 2021 zwischen 700 und 1200 adulte Tiere gefangen werden. Die grosse Spannbreite hat damit zu tun, dass im Jahr 2021 mutmasslich etwas zu spät mit dem Abfangen begonnen wurde und zu diesem Zeitpunkt bereits einige Tiere in den Gewässern waren. Es wurden 700 Tiere gefangen, im darauffolgenden Jahr waren es 1200. Deshalb wird der Wert hier etwas schwammig auf diesen Bereich eingestellt. Der Dichtekoeffizient ist irgendwo zwischen 0.01 und 0.008. (Kalibration läuft grade noch)

Für die Kalibrierten Parameter werde ich schlussendlich Werte verwenden, welche eher eine zu grosse Population und/oder Verbreitung vorhersagen. Ich möchte tendenzielle eher ein Worst-case-Szenario nachbilden als ein Best-case-Szenario.