



Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources
and Life Sciences, Vienna

Masterarbeit

Nestlingswachstum der Schneesperlinge in Abhängigkeit der Nestlingsanzahl, Schneeschmelze und Nahrung; mögliche Auswirkungen des Klimawandels

verfasst von

Fanni IJJAS, BSc

im Rahmen des Masterstudiums

Forstwissenschaften

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Wien, März 2022

Betreut von:

Priv.-Doz. Dr.rer.nat. Sabine Hille

Institut für Wildbiologie und Jagdwirtschaft

Department für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder ganz noch teilweise in gleicher oder ähnlicher Form an einer Bildungseinrichtung als Voraussetzung für den Erwerb eines akademischen Grades eingereicht. Sie entspricht vollumfänglich den Leitlinien der Wissenschaftlichen Integrität und den Richtlinien der Guten Wissenschaftlichen Praxis.

Wien, 19.03.2022

Fanni IJJAS (eigenhändig)

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei allen bedanken, die mir bei der Erstellung der Masterarbeit Hilfe geleistet haben. Zuerst möchte ich meine Betreuerin, Sabine Hille erwähnen, die immer mit Geduld und Freundlichkeit für mich da war. Besonders dankbar bin ich für die Möglichkeit, dass ich an ihrem Forschungsprojekt auf dem Großglockner teilnehmen konnte. Somit konnte ich die Schneesperlinge mit eigenen Augen sehen, sie fotografieren und die Aufnahmemethoden aus nächster Nähe kennenlernen. Ein herzlicher Dank auch an Fränzi Korner von der Schweizerischen Vogelwarte, die die Daten zur Verfügung gestellt hat, mir Ratschläge für die statistische Analyse gab und alle meine Fragen einfach und verständlich beantwortet hat. Ein großes Dankeschön auch an Carole Niffenegger für die Zusendung der von ihr vorbereiteten Schneebedeckungsdaten.

Ich bedanke mich bei Lea Markart für die sprachliche Korrektur der ganzen Masterarbeit. Und schließlich, bin ich Andrési Áron besonders dankbar für seine motivierende Anmerkungen.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	i
Danksagung.....	ii
Inhaltsverzeichnis.....	iii
Kurzfassung	iv
Abstract	v
1. Einführung.....	1
1.1. Hintergrund.....	1
1.1.1. Der Schneesperling.....	1
1.1.2. Anpassungsstrategien von Vögeln in Hochgebirgen	3
1.1.3. Einflüsse des Klimawandels auf den Lebensräumen des Schneesperlings.....	5
1.1.4. Änderung der Verbreitung von kälteangepassten Arten unter einem sich verändernden Klima	6
2. Fragestellung und Hypothesen.....	8
3. Material und Methodik	9
3.1. Datengrundlage.....	9
3.2. Analyse der Daten.....	12
4. Ergebnisse	15
5. Diskussion.....	23
5.1. Nestlings Anzahl – Wachstum	23
5.2. Schneeschmelze – Wachstum	24
5.3. Nahrungsmenge – Wachstum	25
5.4. Nahrungsqualität – Wachstum.....	25
5.5. Alter – Wachstum	26
5.6. Erwartete Populationsentwicklung unter dem Einfluss der Klimawandel.....	27
5.7. Schlussfolgerungen.....	28
6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	30
Literaturliste.....	33

Kurzfassung

Schneesperlinge (*Montifringilla nivalis*) leben in Hochgebirgen unter herausfordernden Lebensbedingungen. Ihre Nestlinge füttern sie hauptsächlich mit Schnakenlarven (*Tipulidea sp.*), die am Rand der schmelzenden Schneeflächen zu finden sind. Der Klimawandel könnte die zeitliche Verfügbarkeit dieser Nahrung verändern. Von der Schweizerischen Vogelwarte wurden Fütterungs-, Wachstums- und Schneebedeckungsdaten aufgenommen. Ich habe untersucht, wie das Nestlingswachstum mit der Nestlingsanzahl, Schneeschmelzintensität, Futtermenge und dem Larvenanteil an Futter zusammenhängt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Küken schneller wachsen, wenn der Schnee schneller schmilzt, und überraschenderweise auch dann, wenn mehr Junge in der Brut sind. Die Nahrungsmenge und der Larvenanteil scheinen irrelevant zu sein, wobei dieses Ergebnis an den schwierigen Messbedingungen liegen können. Die Annahme, dass die Schneeschmelze für das Jungenwachstum sehr wichtig ist, wurde bestätigt. In dieser Zeit ist das meiste und qualitativ beste Futter zu finden. Dass Nestlinge in Brutten mit mehr Geschwistern besser wachsen, deutet darauf hin, dass Schneesperlinge unter besonders günstigen Bedingungen und wenn sie gute Konditionen haben, viele Junge haben. Der Klimawandel könnte sich negativ auf die Anzahl und das Wachstum von Nestlingen auswirken. Einerseits indem die Schneeschmelze früher eintritt und damit einen zeitlichen Unterschied zwischen günstigem Nahrungsangebot und der Fütterungsphase verursacht, zweitens wegen der Verschiebung der Schneegrenze in höhere Lagen. Schneesperlinge müssen sich entweder an die sich ändernden Bedingungen anpassen, oder ihren Lebensraum in höhere Lagen verlegen.

Abstract

The white-winged snowfinch (*Montifringilla nivalis*) lives in high mountains, where living conditions are challenging. They feed their chicks with crane fly larvae (*Tipulidea sp.*), that can be found on the edge of melting snow patches. The climate change could change the timing of the availability of this food. The Swiss Ornithological Institute examined this bird species and measured the feeding rate, the growing of the chicks and the snow cover. I studied, how does the chick growth correlate with the number of chicks in the nest, the speed of snow melting, the food amount, and the proportion of larvae of the food. The results show that chicks grow faster, if the snow melts faster, and surprisingly also if there are more chicks in the nest. The amount of food and the proportion of larvae seems to be irrelevant, however this can be because of the difficult observation conditions. We proved the assumption, that the snow melting is very important for the growth in young age. The birds can find the quantitative and qualitative best food during the time of the snow melting. The fact, that chicks with more siblings grow faster indicates, that the snowfinch has more chicks if they have good condition and the environmental conditions are advantageous. Climate change might have a negative effect on the number and growth of nestlings. On the one hand, the snow might melt earlier in the year and causes an asynchrony in the feeding period and the peak of food availability. On the other hand, through the shifting of the snowline in higher elevations. The snowfinch must either adapt to the new conditions or shift their habitat to higher elevation according to the new snowline.

1. Einführung

1.1. Hintergrund

Lebensräume in Hochgebirgen bieten besonders herausfordernde Lebensbedingungen für Vögel. Die UV-Strahlung ist höher und der Luftdruck niedriger als im Flachland. Umweltbedingungen zeigen hohe Saisonalität, das Zeitfenster mit optimaler Tageslänge, Temperatur und Nahrungsverfügbarkeit ist relativ kurz, die Brutzeit ist daher begrenzt (Hille und Cooper, 2014). Nestlingswachstum und Gewicht beim Verlassen des Nests sind ausschlaggebend für die Überlebenswahrscheinlichkeit der Jungvögel in der kommenden Zeit und daher auch für die Reproduktionsleistung der Eltern und Populationsdynamik (Naef-Daenzer und Keller, 1999, Perrig et al., 2017).

Unsere untersuchte Vogelart, der Schneesperling (*Montifringilla nivalis*) (1. Abbildung), lebt unter diesen schwierigen Bedingungen. Der aktuelle Status dieser Art ist potenziell gefährdet (vogelwarte.ch, s.a.), es besteht jedoch die Möglichkeit, dass bei unveränderten Klimatendenzen der Status sich weiterhin verschlechtert. Um Erkenntnisse zu schließen, wie die Populationsdynamik auf Klimawandel reagieren könnte, ist es wichtig mehr über die Entwicklung der Nestlinge zu erfahren. Anhand dessen kann man die optimalen Voraussetzungen erfassen und prognostizieren, inwiefern diese in der Zukunft noch gegeben sein werden.

1.1.1. Der Schneesperling

Der Schneesperling bewohnt Hochgebirge, sein Verbreitungsgebiet erstreckt sich von dem Kantabrischen Gebirge (www.snowfinch.eu, 2022) in Spanien durch die Alpen und Kaukasus bis zum mongolischen Gebirge. In den Alpen ist der Schneesperling ein Jahresvogel und kommt zwischen der Baumgrenze und Schneegrenze vor (Caula et al., 2010).



1. Abbildung: Der Schneesperling; Quelle: Beat Rüegger, vogelwarte.ch

Der Schneefink ist ein bisschen größer und spindelförmiger als ein Haussperling. Sein Kopf ist grau, der Rücken rötlich braun und die Unterseite ist weiß bis gräulich-weiß. Im Flug erscheint die charakteristische schwarz-weiße Musterung von Flügel und Schwanz. Männchen und Weibchen lassen sich durch den Kehlfleck unterscheiden, der ist bei Weibchen undeutlicher und die Unterseite ist eher bräunlich-weiß (Caula et al., 2010).

Im Winter leben die Vögel in größeren Gruppen auf Pässen und Bergrücken, sie schlafen in Spalten in steilen Felswänden. Ab Februar/ März lösen sich die Wintergruppen auf. Zur Brutzeit (ab Mitte Mai) bilden sie lose Gemeinschaften von zwei bis sechs Paaren. Sie brüten in Felsspalten, an Skiliftmasten oder Häusern (Heiniger, 1991), oder in Nistkästen (European Snowfinch Group 2019). Es werden vier bis fünf Eier gelegt und allein vom Weibchen bebrütet. Die Nestlinge werden ungefähr drei Wochen lang mit Insekten gefüttert, beide Elternvögel nehmen an der Fütterung teil. Nach der Aufzucht bilden Schneesperlinge wieder größere Gruppen und ernähren sich abwechslungsreicher. Außerhalb der Brutzeit fressen Schneesperlinge hauptsächlich Samen, Beeren und Knospen in der Vegetation und zwischen Steinen (Wehrle 1989).

1.1.2. Anpassungsstrategien von Vögeln in Hochgebirgen

Der Schneesperling muss mit den Schwierigkeiten der Umweltbedingungen zurechtkommen. Die Anpassung basiert auf mehreren Strategien. Alpine Vogelarten haben verschiedene Möglichkeiten, sich an die Bedingungen anzupassen: 1) Sie legen größere Eier (Hille und Cooper, 2014), 2) brüten länger und füttern die Nestlinge länger (Badyaev und Ghalambor, 2001), 3) sie sind langlebiger, weil das Prädationsrisiko in Gebirgen niedriger ist, 4) sie haben weniger Nestlinge pro Brut (Weathers et al., 2002), um diese unter den schweren Lebensbedingungen besser aufziehen zu können und die Überlebenschancen zu erhöhen (Martin 1995). Dijkstra et al. (1990) zeigten, dass Nestlinge in Brutten mit mehreren Jungvögeln weniger wachsen. Der Grund ist die Nahrungsknappheit (Naef-Danzer und Keller, 1999). Die Elternvögel müssen deshalb die kurze Periode mit optimalem Nahrungsangebot ausnutzen, um für die Jungtiere genügend Futter zu finden. Deshalb ist es wichtig, dass die Jungenaufzucht mit dem Höhepunkt von verfügbarer Nahrung synchronisiert wird (McKinnon et al., 2012). Die Vegetationsperiode ist kürzer in den kalten alpinen als in den wärmeren Tieflandhabitaten (Deutscher Alpenverein, s.a.). In dieser kurzen Periode können sie weniger Brutten haben (geringeres Potential, um Zweitbrut zu machen) als Arten, die in Gebieten mit wärmerem Klima leben. Und wenn sie weniger Brutten haben, dann ist der Fütterungsaufwand niedriger, folglich steigt die Überlebenschancen der Adultvögel (Hille und Cooper, 2014).

Anpassungen des Schneesperlinges

Die Schneeschmelze verursacht rasche Änderungen in der Vegetation und dem Nahrungsangebot, die adulten Schneesperlinge folgen dieser Bewegung in der Nahrungssuche. Laut aktuellen Studien synchronisieren Schneesperlinge das Brüten mit der Schneeschmelze (Fütterungsbeginn bei ca. 20% Schneebedeckung) (Resano-Mayor et al, 2019). Eine frühere Studie (Heiniger 1991) zeigt hingegen, dass die Eiablage durch die Tageslänge gesteuert wird und immer, unabhängig von der Wetterlage, in der zweiten Maihälfte erfolgt. Das bestätigt auch Gagné (2008). In seiner Untersuchung war das durchschnittliche Legedatum der ersten Brut der 18. Mai und 69% der beobachteten Eiablage fallen in den letzten zwei Maiwochen.

Schneesperlinge sammeln für die Jungvögel tierische Nahrung, weil sie proteinreich ist. Sie sammeln das Futter selektiv, energiereiche und chitinarmer Insektenarten werden bevorzugt

(Heiniger, 1991, Resano-Mayor et al., 2019), wobei die Nahrungsverfügbarkeit auch in Betracht gezogen werden sollte (trade-off zwischen Suchaufwand und mit der Nahrung gewonnener Energie) (Heiniger, 1991, Emlen et al. 1966). Arthropoden können auf der Oberfläche von Schneeflecken in großen Mengen zu finden und gut sichtbar sein (Antor 1994). Die Hauptnahrung der Nestlinge besteht aus Schnakenlarven (Familie Tipulidae, in der Ordnung Diptera), (Heiniger 1991). Schnakenlarven sind besonders beliebt, weil sie groß und weichhäutig sind und einen hohen Nährwert haben. Sie sind zwischen der Bodenoberfläche und Schneedecke zu finden, und sammeln sich beim Gefrieren in kleinen wassergefüllten Höhlen. Wenn der Schnee schmilzt, werden sie in der schmelzwassergetränkten Vegetation freigesetzt (Heiniger, 1991). Die Larven kommen deswegen in einem 1 m breiten Band immer erneut am Rand der Schneeflecken hervor (Resano-Mayor et al., 2019). Resano-Mayor et al. (2019) zeigten, dass Schneesperlinge während der Brutzeit Mikrohabitate mit langsamerer, länger anhaltender Schneeschmelze bevorzugen und dass sie besonders am Anfang der Brutzeit angrenzend zu Schnee Nahrung suchen (2. Abbildung). Das ist der Raum, in dem die meisten Schnakenlarven (fast 90% der ganzen Biomasse von Schnakenlarven, die sich in einem Jahr entwickeln) vorkommen. Spinnentiere und Käfer kommen in feuchten Böden öfters vor als in trockenen, das ist wiederum mit der Schneeschmelze gekoppelt. Die Zeit der Schneeschmelze ist daher die beste Periode hinsichtlich der Nahrungsverfügbarkeit (Resano-Mayor et al., 2019). Flächen mit niedriger Vegetation sind auch wegen der hohen Anzahl von Wirbellosen und deren Sichtbarkeit beliebt (Brambilla et al., 2017). Oft werden auch Schmetterlinge, deren Raupen, Käfer, in kleineren Mengen auch Spinnen und Heuschrecken an anderen Stellen gesammelt (Resano-Mayor et al., 2019). Das Vorkommen dieser Arten korreliert negativ mit der Schneebedeckung, das heißt sie kommen an Stellen ohne bzw. mit weniger Schneedecke vor (Resano-Mayor et al., 2019).



2. Abbildung: Am Schneerand Nahrung suchender Schneesperling

Wenn man die angeführten Anpassungsstrategien des Schneesperlings (wie Nahrungsspezialisierung, Gelegegröße) an die Wetterbedingungen betrachtet, scheint es wahrscheinlicher, dass die Schneeschmelze der wichtigere Faktor für das Timing der Eiablage und Bebrütung ist. Saalfeld et al. (2019) in ihrer Studie über arktischen Küstenvögel stellen auch fest, dass die Schneeschmelze ein reiches Nahrungsangebot und schnelleres Nestlingswachstum begünstigen.

1.1.3. Einflüsse des Klimawandels auf den Lebensräumen des Schneesperlings

Mit dem Klimawandel wird die Lage kritischer. Klein et al. (2016) haben die Schneephänologie in den Schweizer Alpen in den Jahren 1970-2015 auf elf meteorologischen Stationen zwischen 1139 und 2540 m Höhe untersucht. Sie haben eine kontinuierlich kürzere Periode der Schneebedeckung und eine niedrigere maximale Schneehöhe beobachtet. Im Jahr 2015 hat der Schneefall 12 Tage später als im Jahr 1970 begonnen, der Schnee schmolz 26 Tage früher. Durchschnittlich ist die Periode der Schneebedeckung jedes Jahrzehnt um 8,9 Tage kürzer geworden. Die Schneebedeckung verkürzte sich auf alle elf Stationen, ein Muster zwischen der Schneebedeckungsdauer und Höhenlagen wurde nicht gefunden. Diese Veränderungen können eine zeitliche Änderung in der Nahrungsverteilung nach sich ziehen. Da Schneesperlinge am Rand der Schneeflecken

Nahrung suchen, könnte die frühere Schneeschmelze in Zukunft eine besondere Bedeutung für die Nahrungssuche dieser Vogelart haben. Optimale Faktoren für die Nahrungssuche sind hohe Schneebedeckung, niedrige Vegetation und niedrige Sonneneinstrahlung (Brambilla et al., 2017). Diese Faktoren sind klimaabhängig und werden durch die globale Erwärmung negativ beeinflusst (Muscio et al., 2005), Klimawandel könnte daher die heutigen Mikrohabitate verändern.

Bisherige Studien weisen darauf hin, wie wichtig die Schneeschmelze für die Nestlingsaufzucht ist. Es ist aber noch nicht bekannt, wie sehr die Vögel profitieren, die zur Zeit der Schneeschmelze brüten, im Gegensatz zu denen, die nachher brüten. Schnakenlarven scheinen die beste Nahrung für Nestlinge zu sein. Wie viel vorteilhafter sie sind als andere Futterarten, kann durch Beobachtungen gezeigt werden, in denen hervorgeht, wie die Futterqualität (Art des Futters) die Entwicklung der Nestlinge beeinflusst. Diese Arbeit untersucht, wie der Fortschritt der Schneeschmelze mit dem Nestlingswachstum korreliert. Auf Informationen, wie der Schneesperling auf den Klimawandel reagiert, könnten Schutzkonzepte aufgebaut werden, um die Art besser zu schützen (Resano-Mayor et al, 2019).

1.1.4. Änderung der Verbreitung von kälteangepassten Arten unter einem sich verändernden Klima

Smith et al. (2013) haben die Veränderung der Verbreitung von vier kälteangepassten Arten untersucht. Das Moorschneehuhn (*Lagopus lagopus*) ist eine boreale Art, das Alpenschneehuhn (*Lagopus mutus*) eine boreale/alpine Art, die Alpendohle (*Pyrrhocorax graculus*) und der Schneesperling sind alpine Arten. Die gegenwärtige Verbreitung wurde verglichen mit der Verbreitung zum Höhepunkt der letzten Eiszeit (vor ungefähr 21000 Jahren, ermittelt durch Fossilfunde und mit dem Modell Community Climate System Model version 3 (CCSM)) und Prognosen wurden für die zukünftige Verbreitung im Jahr 2080 erstellt, ebenfalls mit CCSM, mit der Annahme, dass die globale Temperatur sich bis Ende des 21. Jahrhunderts um 2,8 °C erhöhen wird.

Die Ergebnisse besagen, dass das Moorschneehuhn während der letzten Eiszeit eine viel südlichere Verbreitung hatte als heute. Das Alpenschneehuhn hat auch vermehrt Gebiete im

Süden Europas bewohnt. Die Alpendohle und der Schneesperling hatten im Großen und Ganzen die gleiche Verbreitung wie heute.

Laut Prognosen für 2080 wird sich das Verbreitungsgebiet der beiden Schneehühner weiter nördlich verschieben, wobei das Alpenschneehuhn wahrscheinlich weiters in den Alpen und vielleicht auch in den Pyrenäen zu finden sein wird. Die Alpendohle und der Schneesperling werden ihre gegenwärtigen Verbreitungsgebiete behalten, werden aber gegebenenfalls beginnen, Nord-West-Europäische Gebirge zu besiedeln. Damit entsteht ein Gebiet, in dem Koexistenz für die vier Arten besteht, in den Skandinavischen Gebirgen.

Für die borealen Arten wird ein viel stärkerer Rückgang des geeigneten Habitats vorhergesagt. Dieser Rückgang liegt für den Schneesperling laut Modell bei 49%, weshalb jener in höhere Lagen ziehen muss, daneben werden sich aber auch neue Habitate im Norden eröffnen.

Die Autoren diskutieren, dass Klima ein Schlüsselfaktor für großräumige und langfristige Änderungen der Verbreitung von kälteangepassten Arten ist. Man muss allerdings beachten, dass die Bedingungen, die durch den Klimawandel verändert werden, einen unmittelbaren Effekt auf die Arten hat, nicht das Klima selbst. Diese sind zum Beispiel Vegetation (Kissling et al., 2010), Ressourcenverfügbarkeit und zwischenartliche Interaktionen (Pearce-Higgins et al., 2010). Mit dieser Arbeit versuche ich weiteres Wissen zu erschaffen, wie der Umweltfaktor Schnee die Verbreitung des Schneesperlings treibt, indem ich Zusammenhänge zwischen der Schneesituation und dem Bruterfolg untersuche. Der menschliche Einfluss kann positiv und negativ sein, wie Artenmanagement oder Landnutzungsänderungen. Brambilla et al. (2017) sagen einen Rückgang von 97% des geeigneten Habitats in Norditalien wegen der Klimaänderung und dem Konflikt mit Skipisten voraus. Es gibt Vorstellungen, was für Management-Möglichkeiten dem Schutz des Lebensraumes des Schneesperlings dienen können. So empfehlen Resano-Mayor et al. (2019) das Erproben von Beweidung, die die Vegetationshöhe niedrig halten würde und die klimatischen Effekte ans Vegetationswachstum kompensieren könnte.

2. Fragestellung und Hypothesen

1. Wie stark korreliert das Wachstum mit der Anzahl der Nestlinge?

Hypothese: Mit zunehmender Nestlingsanzahl pro Gelege nimmt das Wachstum der Nestlinge ab.

2. Welchen Einfluss hat die Schneeschmelze auf die Entwicklung der Nestlinge?

Hypothese: Mit intensiverer Schneeschmelze wachsen die Nestlinge schneller.

3. Welchen Einfluss hat die Nahrungsmenge auf die Entwicklung der Nestlinge?

Hypothese: Mit zunehmender eingebrachten Nahrungsmenge nimmt das Wachstum der Nestlinge zu.

4. Welchen Einfluss hat die Nahrungsqualität auf die Entwicklung der Nestlinge?

Hypothese: Mit zunehmendem Anteil an Larven nimmt das Wachstum zu.

3. Material und Methodik

3.1. Datengrundlage

Diese Forschung wird im Rahmen des Schneesperlingsprojektes der Schweizerischen Vogelwarte ausgeführt, die auch die Daten, auf denen diese Arbeit basiert, zur Verfügung gestellt hat. Im Jahr 2016 starteten Fränzi Korner-Nievergelt und Claire Pernollet ein Forschungsprojekt, um die Brutbiologie des Schneesperlings in einer Nistkastenpopulation zu untersuchen. Furkapass ist ein Bergpass auf 2424 m Seehöhe. 12 Gebäude eines ehemaligen Militärlagers dienen als Nistplatz, wo die Vögel unter dem Dach und in aufgestellten Nistkasten einen Platz zum Brüten finden. Die Nistkästen wurden an die Bedürfnisse der Vögel angepasst, aber erlauben gleichzeitig eine relativ einfache Beobachtung der Küken, indem sie sich abmontieren und öffnen lassen (3. Abbildung). Die Nestlinge wurden, wo möglich war, regelmäßig alle drei Tage vermessen, Gewicht, Tarsus-, Flügel- und P8-Länge und andere Größen wurden gemessen (4. Abbildung). Unter P8-Länge versteht man die Federlänge der dritten Handschwinge von außen (Vogelwarte Helgoland, 2001). Bei der ersten Messung wurden die Nestlinge mit Farbe auf verschiedenen Nägeln gekennzeichnet, damit sie wiedererkannt werden können. Sobald sie die erwünschte Größe erreicht haben, wurden sie beringt (5. Abbildung). Die Messung wurde immer so schnell wie möglich durchgeführt, um eine Störung möglichst kurz zu halten. Die Fütterung durch die Eltern wurde alle drei bis vier Tage aufgenommen, bis die Nestlinge in etwa 21 Tage alt geworden sind. Die Nester wurden eine halbe Stunde lang beobachtet, wobei jeder Einflug notiert und die Vögel mit Insektennahrung im Schnabel fotografiert wurden (6. Abbildung). Anhand der Bildanalyse wurden die Futtermenge und der Futtertyp in einer Tabelle zusammengefasst. Die Futtertypen wurden im Jahr 2016 und in der Hälfte von 2017 von Mitarbeiter der Schweizerischen Vogelwarte in die folgenden Gruppen eingeteilt: Tipulidae Larven, Tipulidae Adult, Diptera Larven, Diptera Adult, Lepidoptera Larven, Lepidoptera Adult, Coleoptera Adult, Ameisen, Regenwürmer. Nicht identifizierbare Beute wurde in die Kategorien „unbestimmbare Larve“, „unbestimmbare Adult“, „unbestimmbare Sonstiges“ eingestuft. Außerdem wurden noch selten Samen beobachtet. Von der zweiten Hälfte von 2017 bis 2020 erfolgte die Bestimmung mit Hilfe des Bestimmungsschlüssels von Christian Schano (Schano, 2020). Man stellte zuerst fest, wie viele Beutetiere im Schnabel sind. Dann

hat man die Anwesenheit von Flügeln kontrolliert, diese weist darauf hin, ob es sich um eine Larve oder einen adulten Arthropoden handelt. Die Bestimmung wurde weitergeführt, solange die Eigenschaften noch erkennbar waren. Entscheidende Merkmale für (sub)adulte Arthropoden sind die Flügelstellung, -ädern, -größe und -anzahl, Fußanzahl, Körperform, prominente Hinterbeine und Antennenlänge. Für Larven sind die wichtigsten Eigenschaften die An-/Abwesenheit von Füßen am Thorax und Abdomen, die Anzahl von Segmenten der Abdomen ohne segmentierte Füße und ob die Kopfkapsel reduziert ist (Schano, 2020). In den meisten Fällen konnte die Einteilung bis zur Ordnungsebene erfolgen. Zusätzlich zu der ersten Liste werden noch die Kategorien Califera, Ensifera, Ephemeroptera, Coleoptera Larven, Hymenoptera Larven, Mecoptera Larven, Myriapoda und Aracnida eingeführt. Damit stehen Wachstums- und Fütterungsdaten aus den Jahren von 2016 – 2020 zur Verfügung.

Die Schneebedeckung wurde in den Jahren 2016 und 2017 ungefähr alle sieben Tage fotografiert und der Prozentwert in einem Kreis mit 100 m Radius um das Nest geschätzt. Die Prozentwerte zwischen den zwei vorhandenen Werten wurden mittels Interpolation ermittelt.

Seit 2018 wurden Satellitenbilder aufgenommen und die prozentuelle Bedeckung geschätzt. Die Daten wurden interpoliert, damit steht ebenfalls die tägliche Schneebedeckung zur Verfügung.



3. Abbildung: Nistkasten; Quelle: European Snowfinch Group 2019



4. Abbildung: Messung der Steuerfedern



5. Abbildung: Beringte Nestlinge



6. Abbildung: Elternvogel mit mehreren Tieren zum Verfüttern im Schnabel, durch das Spektiv fotografiert.

3.2. Analyse der Daten

Das von den Elternvögeln gelieferte Futter ist den einzelnen Nestlingen nicht zuordenbar. Für die hier vorgenommene Analyse musste angenommen werden, dass alle Nestlinge im Nest unter gleichen Bedingungen gefüttert werden, es wurde mit der Gesamtfütterung aller Individuen gerechnet. Das hat zur Folge, dass die Einzelindividuen in einem Nest voneinander abhängig sind, das wurde im Modell berücksichtigt (wie später erklärt, BrutID als Zufallsfaktor). Das durchschnittliche Mehrtageswachstum (zwischen einzelnen Messungen) wurde für jedes Individuum einzeln berechnet, indem das Endgewicht durch das Ausgangsgewicht dividiert wurde. Diese Zahl wurde zusätzlich durch die Zahl der Tage zwischen zwei Messungen dividiert, weil die Messungen nicht immer einheitlich in einem Abstand von drei Tagen erfolgten. Das Ergebnis ist das durchschnittliche Tageswachstum des Nestlings. Diese Wachstumsrate wurde der darauffolgenden Beobachtung zugeordnet,

da der Effekt der Fütterung zwischen zwei Messungen sich bei der Messung am Ende widerspiegelt.

Die Schneeschmelze wurde berechnet, indem aus dem Schneebedeckungsprozent am Anfang der Schneebedeckungsprozent am Ende subtrahiert wurde und das Ergebnis durch die Zahl der Tage zwischen den zwei Beobachtungen dividiert wurde. Je größer diese Zahl ist, desto intensiver ist die Schneeschmelze. Die Werte sind zwischen null und fünf gelegen. Ein Wert von null bedeutet keine Veränderung in der Schneeschmelze, fünf heißt, dass die Schneebedeckung von einem Tag auf dem anderen 5% gesunken ist.

Es wurden nur mit jenen Einheiten gerechnet, von denen vollständige Daten vorhanden sind, das heißt Alter, Wachstum, Fütterung, Schneeschmelze und Nestlings Anzahl. Damit sind die letzten Fütterungsaufnahmen pro Nest automatisch als Datensatz „verloren“, da es dazu keine Wachstumsrate mehr gibt.

Es ergeben sich für die Hypothese folgende methodische Vorgehensweise:

Hypothese 1: Wenn die Elternvögel mehr Küken füttern müssen, ist die Futtermenge pro Nestling vermutlich niedriger. Es wird angenommen, dass die Elternvögel nicht proportional mehr Futter zum Nest bringen können, wenn sie mehr Nestlinge haben. Es wurde analysiert, wie das durchschnittliche Massenwachstum mit der Gelegegröße zusammenhängt.

Hypothese 2: Es wird analysiert, wie die Geschwindigkeit der Schneeschmelze, das heißt die Änderung der prozentuellen Schneebedeckung das Wachstum beeinflusst.

Hypothese 3: Die zum Nest gelieferte Futtermenge während einer Beobachtung wird durch die Nestlings Anzahl dividiert (durchschnittliche Futtermenge pro Nestling im Nest) und mit dem durchschnittlichen Mehrtageswachstum der einzelnen Jungvögel verglichen.

Hypothese 4: Stückzahlen der eingebrachten Nahrung aller Futterkategorien zwischen den Messungen werden aufsummiert, und die Zahl der Larven wird durch die Summe der Gesamtnahrung dividiert. Dies ergibt den Anteil der Larven an dem insgesamt eingebrachten Futter. Eine eindeutige Bestimmung des Futtertyps war nicht immer möglich, es gibt nur wenige Beobachtungen mit Schnakenlarven. Deshalb wird für die Qualität des Futters die Gruppe der gesamten Larven herangezogen, nicht nur Schnakenlarven. Es wird analysiert, wie der Anteil der Larven das Wachstum beeinflusst.

Es wird ein lineares Modell erstellt und damit festgestellt, welche Faktoren, unabhängig von den anderen Faktoren, wie stark das Nestlings Wachstum beeinflussen.

Zur statistischen Analyse wurde das Programm IBM SPSS Statistics 26 verwendet.

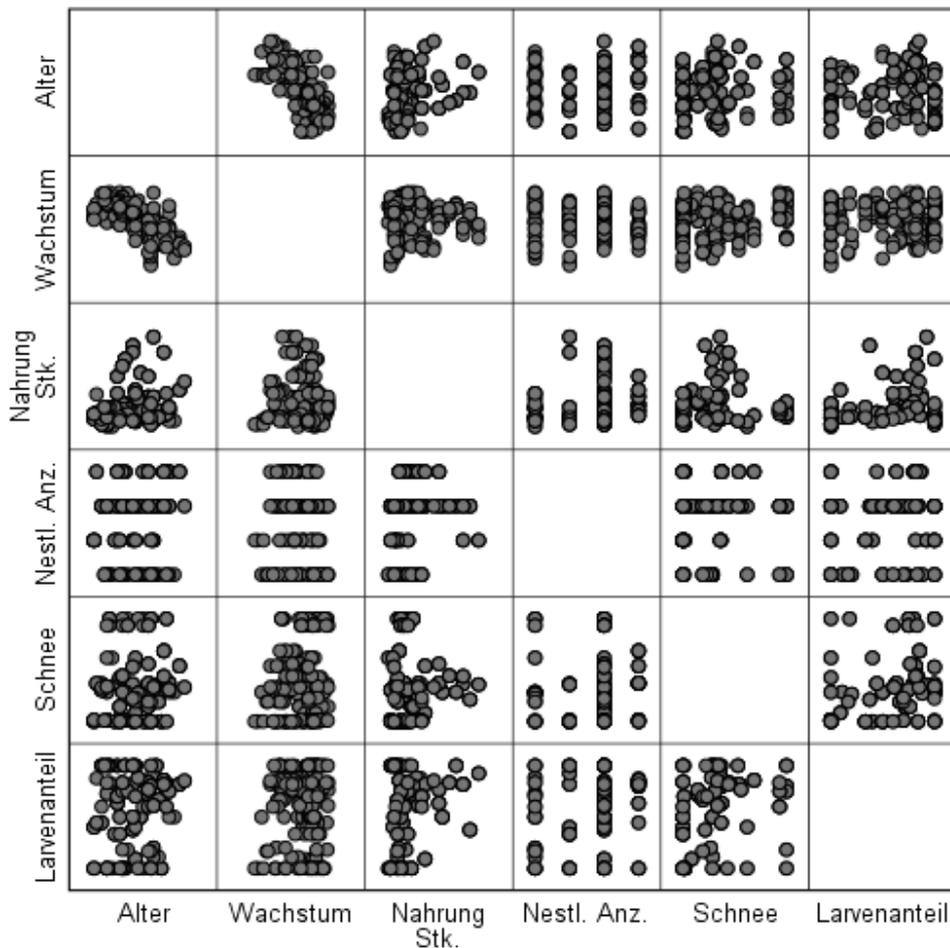
Erklärung der Variablen:

- Wachstum: durchschnittliches Tageswachstum des Nestlings, unabhängige Variable
- Nestlings Alter: Alter der Nestlinge in Tagen, Tag des Schlüpfens zählt als Tag 1
- Schneeschmelze: tägliche Änderung der prozentuellen Schneebedeckung
- Stückzahl: Stückzahl an dem eingebrachten Futter, jeglicher Futtertyp
- Nestlings Anzahl: Anzahl der Nestlinge in einer Brut
- Larvenanteil: Anteil der Stückzahl der Larven an Stückzahl des Gesamtfutters
- BrutID: Eindeutige Kennzeichnung der Brut, setzt sich aus dem Kürzel des Namens des Nests und aus dem Jahr zusammen

4. Ergebnisse

In den fünf Jahren der Beobachtung wurden insgesamt 87 Individuen in 24 Nestern aufgenommen, die Anzahl von Geschwisterküken variierte zwischen zwei und fünf. Das höchste beobachtete Alter vor dem Ausflug war 22 Tage. Die Fütterung zeigte große Unterschiede auf, es kam vor, dass in der halben Stunde Beobachtungszeitraum kein Futter eingebracht wurde, genauso war es auch möglich, dass bis zu 26,5 Stück pro Nestling zur Verfügung standen. Schlupfzeitpunkt variierte in der Population, diese fand zwischen Ende Mai und Mitte Juli statt. Nester im selben Jahr hatten auch so große zeitliche Unterschiede, es lässt sich keine Verschiebung über die Jahre zu beobachten, sondern eine breite Zeitspanne in einer Saison.

Die Plots (7. Abbildung) zeigen eine Gesamtübersicht über die Verteilungen und Korrelationen von den sechs Variablen. Es ist gleich erkennbar, dass die Faktoren einzeln nicht in enger Beziehung mit dem Wachstum stehen. Die einzige Variable, die eine beobachtbare Korrelation zeigt, ist das Alter. Daher ist es gut, in einem Modell alle Faktoren gleichzeitig zu berücksichtigen, um die partiellen Korrelationen der einzelnen erklärenden Variablen zu berechnen. Die partiellen Korrelationen messen die Korrelation jeder erklärenden Variable mit dem Nestlings Wachstum korrigiert für den Einfluss der anderen erklärenden Variablen, das heißt während die anderen erklärenden Variablen konstant gehalten werden.

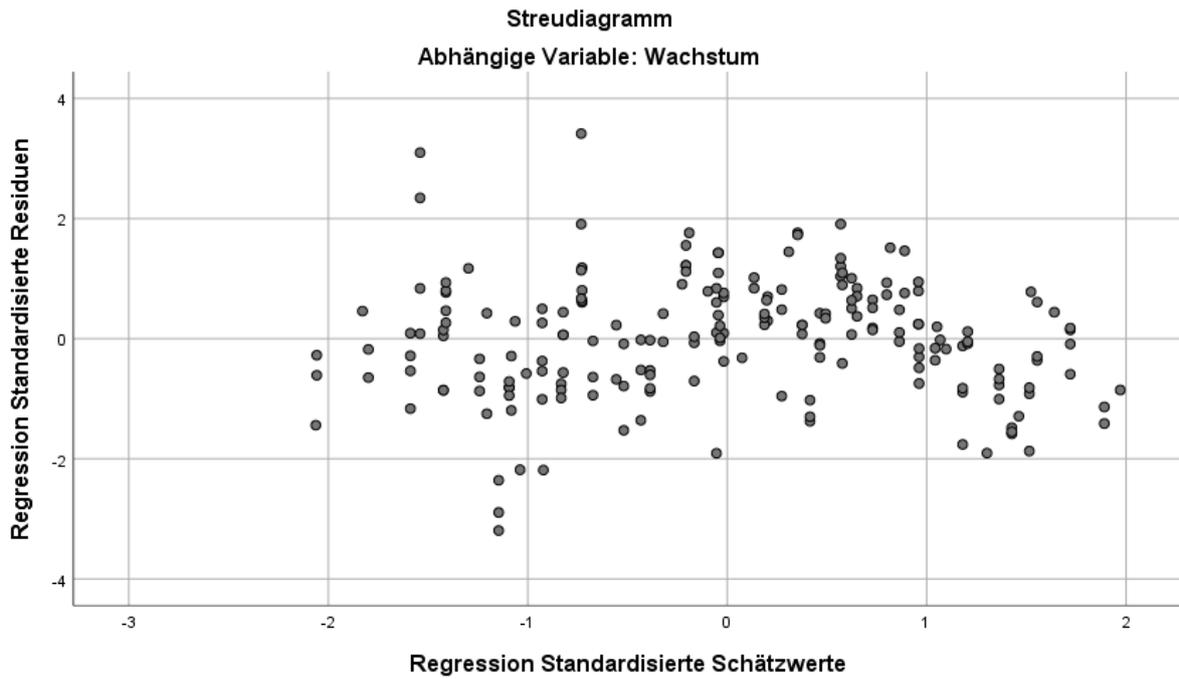


7. Abbildung: Gesamtübersicht über die Korrelation der Variablen. Abkürzungen: Nestl. Anz.: Nestlings Anzahl; Schnee: Schneeschmelze.

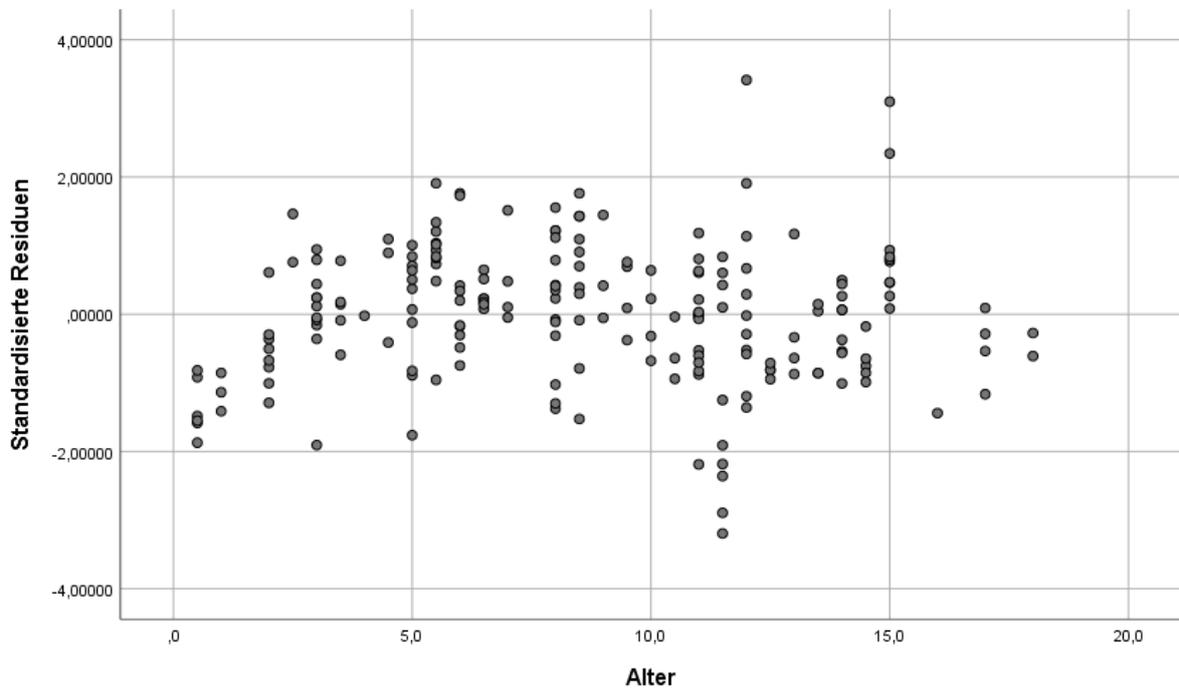
Für das Modell wurde eine lineare Regression ausgewählt. Die erste Version des Modells sieht folgendermaßen aus:

$$\text{Wachstum} \sim \text{Alter} + \text{Nahrung Stückzahl} + \text{Nestlings Anzahl} + \text{Schneesmelze} + \text{Larvenanteil}$$

Nach der Ausführung der Regression ist feststellbar, dass die Plots der Residuen gegen die Anpassungswerte (8. Abbildung) und Residuen gegen Alter (9. Abbildung) leicht verkrümmt sind. Die Residuen gegen die anderen Faktoren sind annähernd gerade, was darauf schließen lässt, dass Wachstum mit dem Nestlings Alter nicht linear zunimmt und Alter extra berücksichtigt werden sollte.



8. Abbildung: Regression: Residuen gegen Anpassungswerte, Punkte liegen nicht auf der Gerade



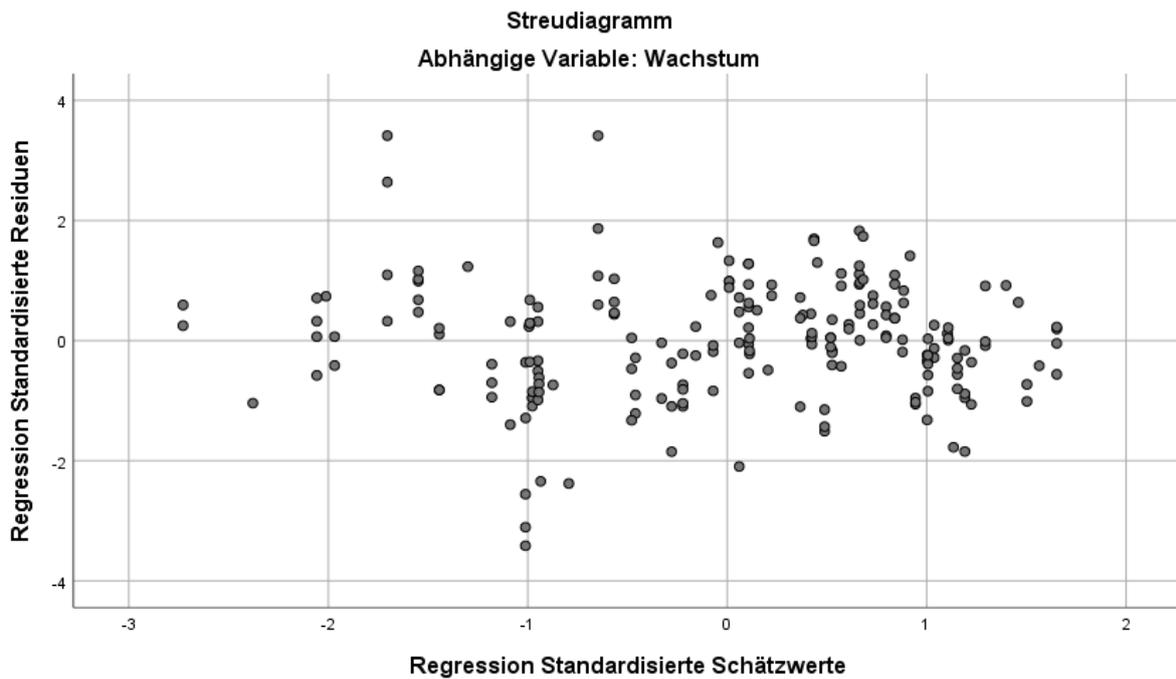
9. Abbildung: Residuen gegen Nestlingsalter

Um den Verzerrungseffekt des Alters auszuschließen, wurde das Modell modifiziert und die Variable Alter^2 eingeführt. Diese ist das Quadrat vom Alter.

Das neue Modell ist:

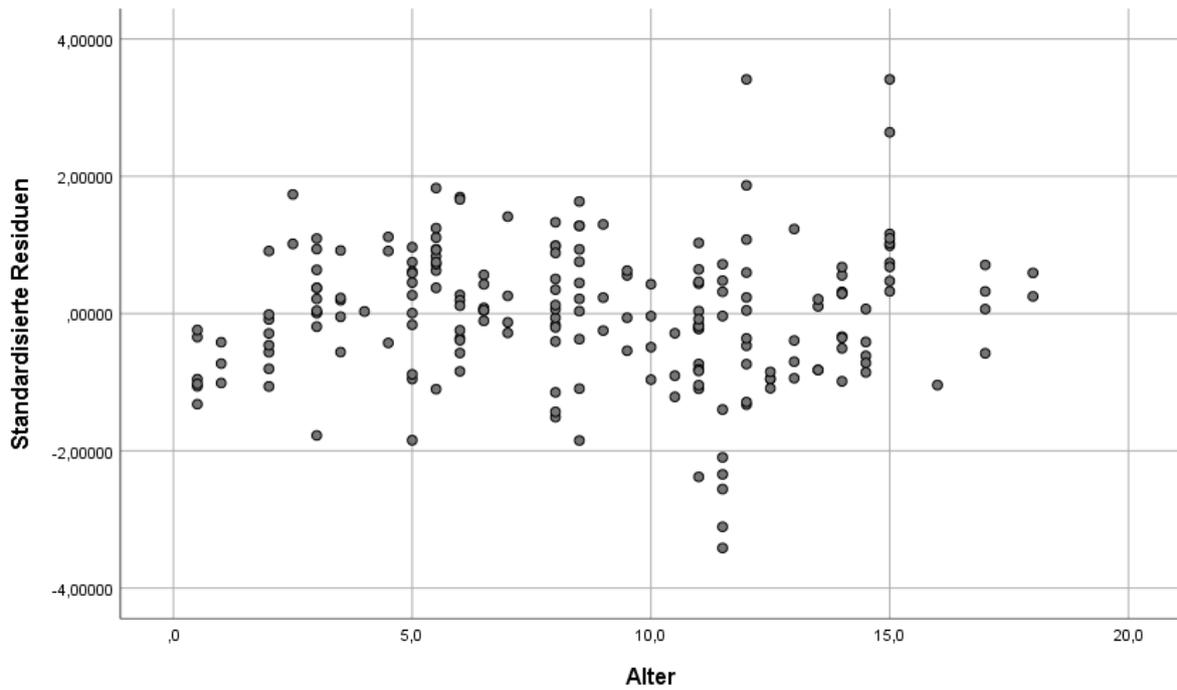
$$\text{Wachstum} \sim \text{Alter} + \text{Alter}^2 + \text{Nahrung} + \text{Stückzahl} + \text{Nestlingsanzahl} + \text{Schneeschemelze} + \text{Larvenanteil}$$

Auf dieser Art und Weise war es möglich eine weitgehend zufällige Verteilung der Residuen zu erstellen (10. Abbildung).



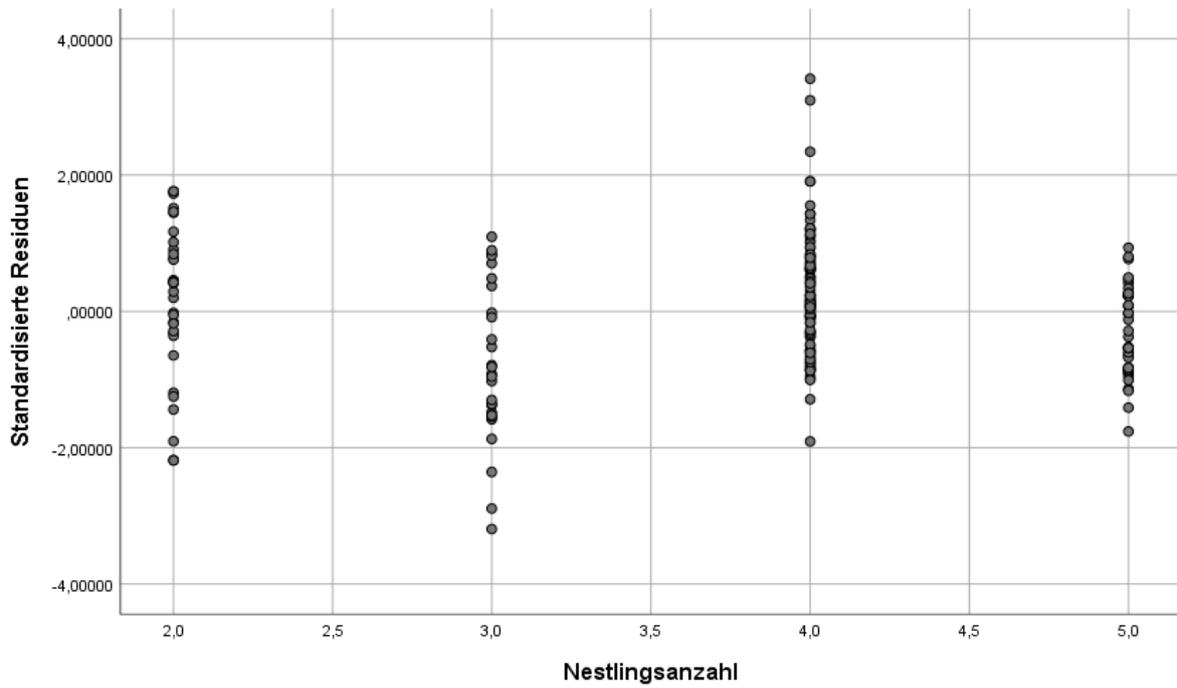
10. Abbildung: Regression: Residuen gegen Anpassungswerte, nach Einfügen der Variable Alter2

Ebenso zeigt die Abbildung der Residuen gegen das Alter keine Strukturen mehr (11. Abbildung).



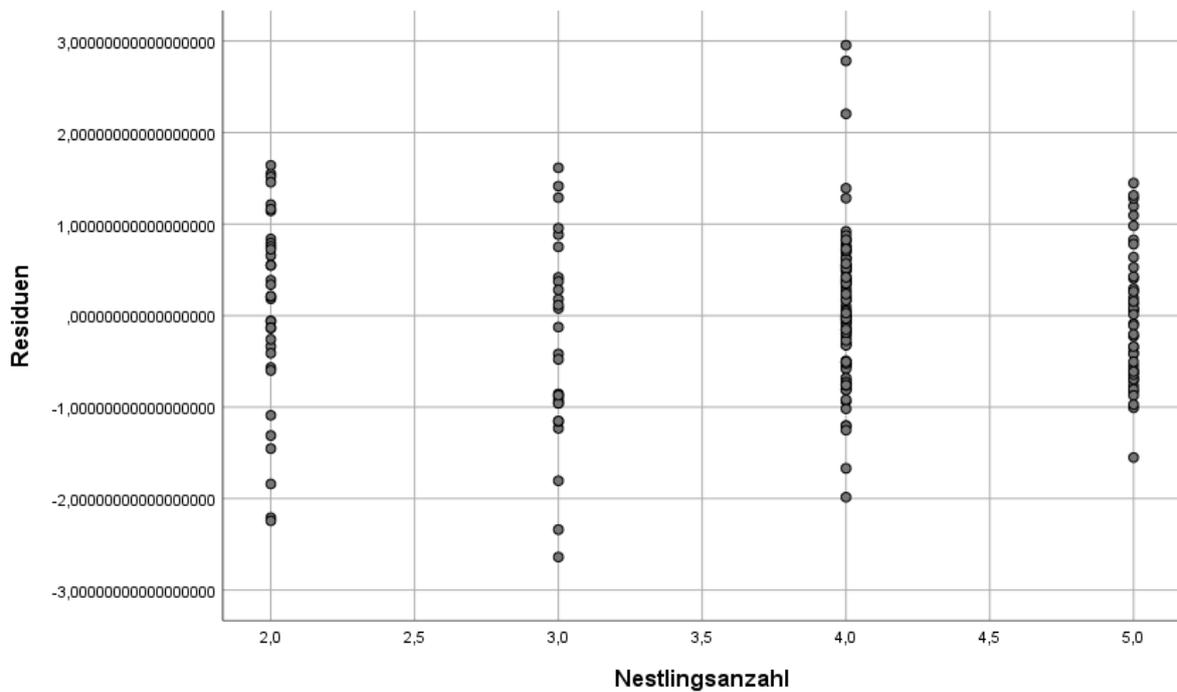
11. Abbildung: Residuen über das Alter nach Einfügen Alter2

Die aus einem Nest stammenden Nestlinge haben alle den gleichen Wert für Nestlings Anzahl, diese Variable ist innerhalb des Nests konstant. Der Effekt dieses Phänomen ist auf dem Plot „Residuen gegen Nestlings Anzahl“ sichtbar (12. Abbildung **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**), wo der Mittelwert der Residuen nicht bei allen Möglichkeiten der Anzahl Nestlinge Null sein kann.



12. Abbildung: Residuen gegen Nestlings Anzahl deuten auf eine Abhängigkeit innerhalb des Nests.

Die Abhängigkeit der Individuen innerhalb der Nester kann man durch das Einfügen einer Zufallsvariable berücksichtigen. Mit Mixed Models war es möglich den BrutID als Zufallsvariable in das Modell reinzubringen. So ist der Mittelwert der Residuen annähernd 0 (13. Abbildung).



13. Abbildung: Nach Einführen der BrutID als Zufallsvariable ist der Mittelwert der Residuen gegen Nestlings Anzahl annähernd 0

Die Effekte der Variablen sind in der 1. Tabelle dargestellt. Die Schätzwerte von Schneeschmelze und Nestlings Anzahl sind positiv, das heißt wenn diese Werte steigen, so steigt auch das Wachstum. Der Schätzwert von Alter2 ist negativ, mit dem Alter nimmt das Wachstum ab.

Herausragenden Schätzwert, also einen starken Effekt hat vor allem die Schneeschmelze, gefolgt von der Nestlings Anzahl. Wenn die Intensität der Schneeschmelze um ein Prozent erhöht wird, so erhöht sich das Wachstum um 0,23 (95% Vertrauensintervall: 0,12-0,34) g/Tag (14. Abbildung). In Nestern mit einem Nestling mehr ist das Wachstum im Durchschnitt um 0,20 (0-0,40) g/Tag erhöht.

1. Tabelle: Schätzwerte der Parameter der gemischten linearen Regression mit Standardfehler und 95% Konfidenzintervalle

Estimates von Fixed Effects^a							
Parameter	Schätzwert	Standardfehler	Freiheitsgrade	t	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Intercept	2,697294	,431209	45,235	6,255	,000	1,828920	3,565668
Alter	-,110710	,060819	213,698	-1,820	,070	-,230591	,009171
Alter2	-,010004	,003454	211,574	-2,896	,004	-,016814	-,003195
Nahrung Stückzahl	,042497	,025187	207,701	1,687	,093	-,007157	,092151
Schneeschnelze	,227719	,055359	75,646	4,114	,000	,117454	,337984
Nestlingsanzahl	,197910	,099506	24,491	1,989	,058	-,007244	,403063
Larvenanteil	-,030453	,030716	196,673	-,991	,323	-,091028	,030122

a. Abhängige Variable: Wachstum.

5. Diskussion

Im Rahmen meiner wissenschaftlichen Arbeit beschäftigte ich mich mit den Jungtieren, weil ich den Fortbestand der Population für wichtig erachte. Küken in einer Brut sind nicht vollkommen unabhängig voneinander, auch gibt es Abhängigkeit aber auch Unterschiede zwischen den Brutten, nicht jeder Nestling ist eine unabhängige Beobachtung. Das zeigt sich einerseits im Datum des Schlüpfens. Allein schon der zeitliche Unterschied kann unterschiedliche Entwicklungen erzeugen, Küken im selben Nest werden unter gleichen Wetterbedingungen aufgezogen, wie später diskutiert, der Stand der Schneeschmelze ist ein wichtiger Punkt. Das Wachstum kennt man pro Individuum, aber die Fütterung nur pro Nest. Wie das Futter aufgeteilt wird, lässt sich nicht beobachten. Obwohl die meisten Nester am selben Standort zu finden sind, gibt es auch manche in anderen Plätzen, in denen die kleinräumigen Geländeunterschiede die Schneeschmelze beeinflussen können. In Mulden zum Beispiel schmilzt der Schnee schneller als auf der Sonne ausgesetzten Hängen.

5.1. Nestlings Anzahl – Wachstum

Je mehr Nestlinge in einer Brut gefüttert wurden, desto stärker war das Wachstum der Einzelnen. Dieses Ergebnis widerspricht den Erwartungen. Jeder Junge verursacht zusätzlichen Aufwand für die Eltern, deren Kapazität beschränkt ist. Auch die Ressourcen sind in Hochgebirgen limitiert (Hille und Cooper, 2014), die sie mit Sammeln von energiereiche aber Chitin armen Insekten kompensieren (Heiniger, 1991, Resano-Mayor et al., 2019) und generell haben sie weniger Nestlinge pro Brut als die Vögel im Tiefland (Weathers et al., 2002). Dijkstra et al. (1990) haben bei Kohlmeisen bewiesen, dass Nestlinge mit mehr Geschwistern schwächer wachsen als diejenige mit weniger Geschwistern. Die Aufteilung des elterlichen Aufwands und der Ressourcen in größeren Brutten führt in der Regel zu geringeren Nestlings Wachstum.

Bei den Schneesperlingen ist dies erstaunlicherweise nicht der Fall. Sie ziehen viele Jungen dann auf, wenn sie sich das durch optimale Gegebenheiten auch leisten können. Sind die Bedingungen besonders günstig, ist die Nahrungsmenge kein limitierender Faktor, haben die Eltern besonders gute Kondition vorliegend, legen sie mehr Eier. So stellen sie sicher, dass

die Jungen gut aufgezogen werden können, unter guten Bedingungen investieren sie intensiv in den Nachwuchs und können sie viele gut wachsende Jungen produzieren.

Das heißt, Schneesperlinge passen die Brutgröße den Bedingungen entsprechend an. Dieses Verhalten erscheint eine Anpassung im Übergang zwischen r- und K-Strategie. Vögel in Hochgebirgen sind generell langlebiger, legen weniger (Weathers et al., 2002), aber größere Eier (Hille und Cooper, 2014) und investieren mehr Zeit und Aufwand in die Jungenaufzucht (Badyaev und Ghalambor, 2001). Diese Eigenschaften deuten eher auf eine K-Strategie hin, Schneesperlinge passen diese Strategie den Bedingungen entsprechend an. Sind die Bedingungen besonders gut, investieren sie viel in die Jungenaufzucht. Sie müssen nicht jedes Jahr viel Nachwuchs bekommen, damit einige überleben, da das Prädationsrisiko sehr niedrig ist (Weathers et al., 2002). Sind die Bedingungen weniger günstig, haben sie weniger Nachwuchs. Diese Strategie ist in Hochgebirgen wegen den sich schnell ändernden und oft extremen Umweltbedingungen notwendig. So stellen sie sicher, dass die Überlebensrate hoch bleibt und sie vermeiden Mortalität, was eine Verschwendung der Ressourcen wäre.

5.2. Schneeschmelze – Wachstum

Der Hypothese zufolge wird angenommen, dass je stärker die Schneeschmelze ist, desto stärker auch das Wachstum. Der Effekt der Schneeschmelze ist am stärksten unter allen untersuchten Faktoren. Es ist wahrscheinlich nicht direkt die Schneeschmelze, sondern die damit verbundenen natürlichen Prozesse, die das stärkere Wachstum verursachen. In dieser Periode ist am meisten, und vermutlich das am qualitativ beste Futter zu finden. Frühere Studien haben gezeigt, dass Schnakenlarven eine hochwertige Futterquelle darstellen (Heiniger, 1991). Da diese während der Schneeschmelze zahlreich zu finden sind, ist diese Zeit sehr optimal zur Jungenaufzucht. Wobei laut Resano-Mayor et al. (2019) Schneesperlinge während der Brutzeit Mikrohabitate mit langsamerer Schneeschmelze bevorzugen, wird hier bestätigt, dass die mit der intensiveren Schneeschmelze verbundene schnellere Freisetzung von Schnakenlarven vorteilhaft ist. Deshalb kann der Klimawandel eine bestimmende Rolle für die Fortpflanzung und Populationsdynamik der Schneesperlingen spielen.

5.3. Nahrungsmenge – Wachstum

Es konnte nicht bestätigt werden, dass die erhaltene Futtermenge einen Einfluss auf das Jungenwachstum hat. Eine mögliche Erklärung dafür, dass dieser Faktor unerheblich ist, ist dass dieser für das Wachstum der Jungen schlichtweg irrelevant ist. In dem Fall ist es nicht so wesentlich, wie viel Futter die Küken erhalten, sondern wie nahrhaft das Futter ist, also der Futtertyp.

Die Schwierigkeiten bei den Fütterungsbeobachtungen ist der zweite mögliche Grund. Einerseits ist es kompliziert, die Fütterungen pünktlich aufzunehmen. Die Stückzahl des eingebrachten Futters lässt sich leichter zu beobachten als der Futtertyp. Wenn der Vogel für das Fotografieren ungünstig steht und man den Schnabelinhalt nicht gut sehen kann, ist es schwierig den Futtertyp genau zu bestimmen, aber auch die Stückzahl zu zählen. Andererseits dauerten die Beobachtungen nur eine halbe Stunde lang. Es muss nicht unbedingt sein, dass die Eltern jeden Tag in derselben Zeitperiode am aktivsten füttern. Externe Bedingungen könnten die Aktivität beeinflussen, wie zum Beispiel das Wetter. Und die Nester wurden nicht konsequent zur selben Uhrzeit beobachtet. Die Fütterungsaufnahmen erfolgten sowohl am Vormittag als auch am Nachmittag, zu verschiedenen Uhrzeiten. Daher ist es nicht sicher, dass die Fütterung in der halben Stunde den ganzen Tag (oder in unserem Fall die drei Tage bis zur nächsten Aufnahme) gut repräsentiert.

Es könnte auch sein, dass die Wachstumsrate nur zunimmt, wenn die Fütterung überproportional gesteigert wird.

5.4. Nahrungsqualität – Wachstum

In meinen Daten hatte der Anteil der Larven am Gesamtfutter keinen Einfluss auf das Wachstum. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu der in der Literatur gefundenen Informationen. Mehrere Studien (Heiniger 1991, Resano-Mayor et al., 2019) bestätigen die Bedeutung der Schnakenlarven auf das Jugendwachstum. Dieser Futtertyp hat laut heutigem Wissens das beste Nährwert/Suchaufwand Verhältnis. In dieser Studie wurden Schnakenlarven nicht als eine eigene Gruppe untersucht, weil zu wenige Beobachtungen mit Schnakenlarveneinbringung zur Verfügung stehen. Stattdessen wurden alle Larvenarten

zusammen bewertet. Larven sind generell profitabler als ausgewachsene Insekten (Resano-Mayor et al., 2019). So ist der Energiegehalt zum Beispiel von adulten Schnaken 4,43 mg/Individuum, Schnakenlarven hingegen 17,56, adulte Schmetterlinge 2,12 und Schmetterlingslarven 14,62. Fütterung hat einen unmittelbaren Effekt auf das Wachstum von Vögeln (Tremblay et al., 2005) und vor allem während der Schneeschmelze ist die Nahrungsverfügbarkeit äußerst günstig (Heiniger, 1991). Einen positiven Effekt der Futterqualität auf das Wachstum konnte diese Studie nicht bestätigen, das könnte aber an den schwierigen Messbedingungen und den daraus folgenden weniger genauen Einstufung liegen. Unter weniger genauer Einstufung ist hier nicht gemeint, dass die Einstufung gegebenenfalls nicht stimmt, sondern dass die Einstufung nur in höheren Klassen möglich ist. Bei Unsicherheit wird eine Larve zum Beispiel nicht in die Gruppe „Schnakenlarven“ oder „Zweiflügler-Larven“ eingestuft, sondern als „Larve“. Relativ viel der eingebrachten Futter Tiere wurde als unbekannt notiert, konnte daher also zu keiner exakten Gruppe zugeordnet werden. Wären tatsächlich nur Schnakenlarven oder eventuell andere spezifische Larven besonders optimal, so zeigt sich der positive Effekt unter Beachtung aller Larvengruppen schwächer. Es ist auch nicht bekannt, ob es einen tageszeitlichen Unterschied in der Nahrungsdetektierbarkeit gibt, ob zu unterschiedlichen Uhrzeiten verschiedene Insektenarten bevorzugt eingebracht werden. Die in der halben Stunde beobachteten Anteile von Nahrungsarten entsprechen nicht unbedingt den ganztägigen und dreitägigen Werten.

Es kann auch sein, dass die Elternvögel den Mangel an Schnakenlarven durch erhöhte Suchzeiten und -aufwand kompensieren. Damit erhalten die Küken immer noch genug Futter, die Adulten müssen aber selbst mehr Energie verbrauchen und könnten dadurch ihre Kondition verschlechtern. In dieser Studie sind aber Adultvögel nicht untersucht worden.

5.5. Alter – Wachstum

Außer der im Voraus formulierten Hypothesen gäbe es sich noch andere interessante Erkenntnisse. Ein Beispiel wäre der Zusammenhang des Wachstums mit dem Lebensalter. Mit dem Alter nimmt das durchschnittliche Wachstum ab. Das Wachstum ist am Anfang am stärksten, in unserem Fall kann man nach der Wachstumsspitze ein weitgehend ständig sinkendes Wachstum beobachten. Die Abnahme des Wachstumes wird zu Ende der

Wachstumsperiode auch stärker, das heißt die Wachstumsrate ist immer niedriger. Dieses Ergebnis entspricht ungefähr der Beobachtungen von Schneider (2017). Laut seiner Arbeit nimmt das Gewicht bis zum Alter von 13-14 Tage ungefähr linear zu, dann reduziert sich das Wachstum bis zum Verlassen des Nests. Das Gewicht kann sogar in den letzten Tagen sinken.

Das Wachstum verlangsamt sich besonders, wenn der Federschub eintritt. Wie es auch bei der Dachsammer (*Zonotrichia leucophrys nuttalli*) der Fall ist (Wada und Breuner, 2008), wechseln die Schneesperlinge vor dem Ausflug von Massenwachstum zur Entwicklung von Federn.

5.6. Erwartete Populationsentwicklung unter dem Einfluss der Klimawandel

Die Ergebnisse dieser Untersuchung können einen Beitrag zur Abschätzung der Gefährdung dieser Art durch den Klimawandel leisten.

Wann die Schneeschmelze eintritt und wie lange es dauert, ist vom Klimawandel abhängig. Der aktuelle Zustand in den hohen Lagen entspricht noch den Bedürfnissen der Schneesperlingen, sie können die Jungvögel gut aufziehen. Die Studie von Klein et al. (2016) sagt, dass zwischen den Jahren 1970-2015 die Schneebedeckung 8,9 Tage pro Jahrzehnt kürzer geworden ist. Wenn diese Tendenz in gleicher Geschwindigkeit weitergeht, wird der Schnee in den Alpen bald noch drastischer zurückgehen. Weniger Schnee ist nicht unbedingt ein Problem für den Schneesperling, solange die Schneedecke flächendeckend ist. Die Dicke des Schnees ist kein Kriterium für die Nahrungsmenge im Boden, Schnakenlarven können auch geringerer Mächtigkeit zwischen dem Erdboden und der Schneedecke leben. Wenn der Schnee schneller schmilzt, wird aber sehr viel Nahrung auf einmal in kürzerer Zeit freigesetzt. Wird die Schneeschmelze kürzer als die Fütterungsperiode, so liegt die Zeit der Aufzucht nicht mehr in ganzer Länge innerhalb der optimalsten Periode zur Fütterung. Wenn mehr Nahrung zur Verfügung steht, können die Eltern mehr füttern, es gibt aber wahrscheinlich eine obere Grenze. Die Zeit, die pro Tag der Fütterung gewidmet ist, ist begrenzt, allerdings brauchen die Küken auch nicht allzu viel Futter. Oberhalb dieser Grenze erwartet man wieder negative Effekte, da die gegebene Menge Futter auf kürzere Zeit aufgeteilt wird und der Überschuss nicht verwertet werden kann.

Es könnte auch eine zeitliche Verschiebung des Brütens geben. Es gibt Vermutungen, dass Schneesperlinge ihre Brut an die Schneeschmelze anpassen (Resano-Mayor et al, 2019), das ist allerdings noch nicht bewiesen. Somit wäre es für die Vögel möglich, der früheren Schneeschmelze zu folgen und früher brüten zu beginnen. Stimmt die Vermutung nicht, dann verpassen die Vögel die reichen Ressourcen wegen phänologischer Asynchronität, wenn die Schmelze früher endet. Dies bedeutet noch nicht, dass die Art gefährdet ist. Das könnte mit der Verschiebung der Baum- und Schneegrenze nach oben geschehen. Schneesperlinge leben zwischen diesen Grenzen, und wenn diese sich Richtung Gipfel verschieben, schrumpft das Habitat, in dem die Vögel vorkommen können.

Unter anderem wird angenommen, dass die zukünftige Verbreitung sich nördlicher (Smith et al., 2013) und entlang der Höhenlinien nach oben verschiebt. Wäre das für diese Art nicht möglich, dann können zwei Möglichkeiten eintreffen. Einerseits könnte sich der Schneesperling an das sich verändernde Klima anpassen, und brütet ohne Schnee (unter der neuen Schneelinie) oder passt das Brüten zeitlich an die Schneeschmelze an. Andernfalls wird die Population zurückgehen.

Smith et al. (2013) prognostizieren, dass Skandinavische Gebirge einen potenziellen neuen Lebensraum anbieten. Ob die Art sich in Nordeuropa etablieren kann, ist fraglich. Sehr selten werden einzelne Individuen außerhalb des normalen Verbreitungsgebiets gesehen, und diese Individuen könnten eventuell in der Zukunft neue Populationen gründen, auf klimatisch günstig gewordenen Gebieten. Da Schneesperlinge keine Zugvögel sind (Smith et al., 2013), ist Populationsgründung in Skandinavien eine Frage des Zufalles. Man sollte mit der heutigen Verbreitungsareal aber mit zukünftigen Beschränkungen rechnen und die Habitate dementsprechend schützen.

5.7. Schlussfolgerungen

Diese Studie liefert detaillierte Informationen über das Nestlings Wachstum des Schneesperlings. Eine von den vier Hypothesen konnte geprüft werden, nämlich dass mit schnellerer Schneeschmelze die Jungvögel schneller wachsen. Im Gegensatz zu den Erwartungen steht das Wachstum in positiver, und nicht in negativer Korrelation zur Nestlings Anzahl. Die zwei Hypothesen bezüglich Nahrung, dass die Jungvögel schneller wachsen, wenn mehr Futter oder anteilmäßig mehr Larven eingebracht werden, konnte ich

nicht bestätigen. Außerdem konnten zusätzliche Informationen festgestellt werden, die nicht im Voraus als Hypothese formuliert wurden, diese Zusammenhänge zeigten sich während der Analyse. Wie zum Beispiel, dass das Wachstum mit dem Alter ständig abnimmt.

Das lineare Modell zeigte, wie stark sich die einzelnen Faktoren kontrolliert für den Einfluss der anderen Faktoren auf das Nestlings Wachstum auswirken. Den stärksten Effekt hatte die Schneeschmelze, die eingebrachte Nahrungsmenge und die Futterqualität überraschenderweise kaum. Man muss allerdings die Ergebnisse mit Vorbehalt betrachten, weil die schweren Messbedingungen eine genaue Einstufung des Futtertyps oft eingeschränkt haben.

Bei Aufnahmen in der Zukunft wäre es ideal, die Messungen genau in drei Tagen Abstand zu wiederholen. So wird die Auswertung der Daten einfacher und die Werte aussagekräftiger.

Die Forschung wirft neue Fragen auf, worauf in Zukunft neue Studien gebaut werden könnten. Es wäre interessant zu untersuchen, welche Faktoren die Fütterung beeinflussen. Diese Studie bestätigte, dass die Schneeschmelze die Fütterung positiv beeinflusst. Mögliche Forschungsfragen wären, ob die Uhrzeit, Wetter, die Nähe zu anderen Nestern dabei relevant sind.

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Schneesperling ist eine Art der Hochgebirge, ein Lebensraum mit großen Herausforderungen. Er kommt von dem Kantabrischen Gebirge durch die Alpen und Kaukasus bis zum mongolischen Gebirge zwischen der Baumgrenze und Schneegrenze. In Hochgebirgen ist die UV-Strahlung höher und der Luftdruck niedriger als im Flachland vor. Umweltbedingungen zeigen hohe Saisonalität, das Zeitfenster mit optimaler Tageslänge, Temperatur und Nahrungsverfügbarkeit ist relativ kurz, die Brutzeit ist daher begrenzt. Nestlings Wachstum und Gewicht beim Verlassen des Nests sind ausschlaggebend für die Überlebenswahrscheinlichkeit der Jungvögel in der kommenden Zeit und daher auch für die Reproduktionsleistung der Eltern und Populationsdynamik. Deshalb ist es wichtig, die Faktoren zu untersuchen, die das Nestlings Wachstum beeinflussen.

Schneesperlinge brüten in Felsspalten, an Skiliftmasten oder Häusern, aber auch oft in Löchern in Mauerwerk oder in Nistkästen. Es werden vier bis fünf Eier gelegt und allein vom Weibchen bebrütet. Die Nestlinge werden ungefähr drei Wochen lang mit Insekten gefüttert, beide Elternvögel nehmen an der Fütterung teil.

Vögel in Hochgebirgen passen sich an die Lebensbedingungen an, indem sie kleinere aber dafür größere Eier legen, länger brüten und die Nestlinge länger füttern. Sie sind langlebiger, unter anderem weil das Prädationsrisiko niedriger ist.

In Brutten mit weniger Nestlingen muss die Futtermenge zwischen weniger Individuen aufgeteilt werden, wodurch die Jungen stärker wachsen, was für die spätere Überlebenswahrscheinlichkeit wichtig ist. In Hochgebirgen ist das Zeitfenster mit günstigem Nahrungsangebot für die Vögel kurz. Schneesperlinge füttern die Jungen mit tierischer Nahrung, hauptsächlich mit Schnakenlarven, die besonders energiereich und leicht erreichbar sind. Sie werden während der Schneeschmelze an der Grenze von Schneeflecken in großer Menge freigesetzt. Deshalb wird angenommen, dass die Schneeschmelze eine besondere Bedeutung für diese Vogelart hat. Es wird vermutet, dass Schneesperlinge das Brüten mit der Schneeschmelze synchronisieren, andere Studien sagen hingegen, dass die Eiablage in den letzten zwei Maiwochen fällt.

Der Klimawandel könnte eine kürzere Dauer der Schneebedeckung und frühere Schneeschmelze verursachen und dadurch einen früheren Höhepunkt der Nahrungsverfügbarkeit, sowie die Verschiebung der Baumgrenze nach oben, bedeuten. Forschungen besagen, dass der Lebensraum des Schneesperlings bis 2080 ungefähr auf die Hälfte schrumpfen und sich nach oben verschieben wird. Eventuell könnte sich die Art in Skandinavien etablieren.

Um herauszufinden, welche Faktoren das Nestlings Wachstum beeinflussen, wurden die folgenden Hypothesen aufgestellt:

1. Mit zunehmender Nestlings Anzahl pro Gelege nimmt das Wachstum der Nestlinge ab.
2. Mit intensiverer Schneeschmelze wachsen die Nestlinge stärker.
3. Mit zunehmender eingebrachten Nahrungsmenge nimmt das Wachstum der Nestlinge zu.
4. Mit zunehmendem Anteil an Larven nimmt das Wachstum zu.

Daten stehen aus der Schweiz zur Verfügung, wo eine Population auf dem Furkapass zwischen den Jahren 2016 und 2020 beobachtet wurde. Gewicht der Nestlinge wurde in einem Intervall von ungefähr drei Tagen gemessen und die Nester wurden je eine halbe Stunde lang beobachtet und die Eltern mit Futter im Schnabel fotografiert, um die Futtermenge und -art zu bestimmen. Die Schneebedeckung wurde anhand einer Bilderanalyse, später mithilfe von Satellitenbildern ermittelt. Zur statistischen Analyse wurde eine gemischte lineare Regression verwendet.

Eine von vier Hypothesen konnte bestätigt werden. Die Ergebnisse sagen, dass das Wachstum umso schneller ist, je schneller der Schnee schmilzt und je mehr Jungen in der Brut sind. Die wichtigste Erkenntnis, nämlich dass die Schneeschmelze einen positiven Einfluss auf das Wachstum hat, bestätigt und steht im Einklang mit den früheren Forschungen über den Schneesperling. Die Zeit der Schneeschmelze ist die günstigste Zeit, die Jungen aufzuziehen, weil ausreichend nahrhafte Kost zur Verfügung steht. Die Vögel suchen Nahrung an Stellen, wo der Schnee länger liegen bleibt und damit Schnakenlarven länger zu finden sind. Dass Nestlinge mit mehr Geschwistern besser wachsen, deutet darauf hin, dass Schneesperlinge unter besonders günstigen Bedingungen und wenn den Eltern gute Konditionen vorliegen, viele Jungen aufziehen. Die Nahrungsmenge und der

Larvenanteil zeigten in den Daten keine Korrelation mit dem Wachstum. Dies kann daran liegen, dass die vorliegenden Daten die Futtermenge und der Futtertyp für die 3-Tagesintervalle, während denen ich das Wachstum gemessen habe, nicht gut genug repräsentieren.

Diese Studie bestätigte, wie wichtig die Schneeschmelze für die Jungenaufzucht ist. Deshalb müssen Schneesperlinge sich, wenn klimawandelbedingt der Schnee früher schmilzt, zeitlich an die Gegebenheiten anpassen oder ohne Schnee die Jungen aufziehen. Andernfalls müssen sie dem Schnee folgen und in höhere Lagen ziehen, gegebenenfalls auch nach Nordeuropa. Die letztere Option ist eher unwahrscheinlich, da der Schneesperling kein Zugvogel ist. Deshalb ist es wichtig, mit entsprechenden Managementoptionen den Lebensraum des Schneesperlings zu schützen und zu bewahren.

Literaturliste

- Antor, R. J. (1994): Arthropod Fallout on High Alpine Snow Patches of the Central Pyrenees, Northeastern Spain. In *Arctic and Alpine Research* 26 (1), pp. 72–76.
- Badyaev, A. V., Ghalambor, C. K. (2001): Evolution of Life Histories Along Elevational Gradients: Trade-off Between Parental Care and Fecundity. In *Ecology* 82(10), pp. 2948–2960.
- Brambilla, M., Cortesi, M., Capelli, F., Chamberlain, D., Pedrini, P., Rubolini, D. (2017): Foraging habitat selection by Alpine White-winged Snowfinches *Montifringilla nivalis* during the nestling rearing period. In *J Ornithol* 158 (1), pp. 277–286. DOI: 10.1007/s10336-016-1392-9.
- Caula, B., Beraudo, P. L., Pettavino, M. (2010): Vögel der Alpen: Der Bestimmungsführer für alle Arten: Bern: Wien [u.a.]: Haupt.
- Deutscher Alpenverein (s.a.): Höhenstufen der Alpen. Verfügbar in: https://www.alpenverein.de/natur/naturschutzverband/die-alpen/hoehenstufen-pflanzen-vegetation-alpen-klima_aid_27614.html [abgerufen am 06.03.2022]
- Dijkstra, C., Bult, A., Bijlsma, S., Daan, S., Meijer, T., Zijlstra, M. (1990): Brood Size Manipulations in the Kestrel (*Falco tinnunculus*): Effects on Offspring and Parent Survival. In *The Journal of Animal Ecology* 59 (1), pp. 269–285. DOI: 10.2307/5172.
- Emlen, J. M. (1966): The role of time and energy in food preference. In *Am Nat* 100, pp. 611–617.
- European Snowfinch Group (2019): The European Snowfinch project. Demography and Populations's Connectivity in the European Snowfinch *Montifringilla nivalis nivalis*.
- Gragne, J.-L. (2008): Biologie de reproduction de la Niverolle alpine *Montifringilla nivalis* dans Les Prénées occidentales Francaises. In *Nos Oiseaux* 55, pp. 67–82.
- Heiniger, P. H. (1991): Anpassungsstrategien des Schneefinken *Montifringilla nivalis* an die extremen Umweltbedingungen des Hochgebirges. In *Der Ornithologische Beobachter* (88), pp. 193–207.
- Hille, S. M.; Cooper, Caren B. (2014): Elevational trends in life histories: revising the pace-of-life framework. In *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society* 90 (1), pp. 204–213. DOI: 10.1111/brv.12106.
- Kissling, W. D., Field, R., Korntheuer, H., Heyder, U., Böhning-Gaese, K. (2010): Woody plants and the prediction of climate-change impacts on bird diversity. In *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 365 (1549), pp. 2035–2045. DOI: 10.1098/rstb.2010.0008.
- Klein, G., Vitasse, Y., Rixen, C., Marty, C., Rebetez, M. (2016): Shorter snow cover duration since 1970 in the Swiss Alps due to earlier snowmelt more than to later snow onset. In *Climatic Change* 139 (3-4), pp. 637–649. DOI: 10.1007/s10584-016-1806-y.
- Martin, T. E. (1995): Avian Life-History Evolution in Relation to Nest Sites, Nest Predation, and Food. In *Ecological Monographs* 65 (1), pp. 101–127.

- McKinnon, L., Picotin, M., Bolduc, E., Juillet, C., Bêty, J. (2012): Timing of breeding, peak food availability, and effects of mismatch on chick growth in birds nesting in the High Arctic. In *Can. J. Zool.* 90 (8), pp. 961–971. DOI: 10.1139/z2012-064.
- Muscio, G., Pellegrini, G. B., Solari, M., Tomaselli, M., Vanin, S., Zanetti, A. (2005): Ambienti nivali. La vita in un ambiente estremo. Quaderni Habitat N. 10.
- Naef-Daenzer, B. and Keller, L. F. (1999): The foraging performance of great and blue tits (*Parus major* and *P. caeruleus*) in relation to caterpillar development, and its consequences for nestling growth and fledging weight. In *Journal of Animal Ecology* 68, pp. 708–718.
- Pearce-Higgins, J.W., Dennis, P., Whittingham, M. J., Yalden, D. W. (2010): Impacts of climate on prey abundance account for fluctuations in a population of a northern wader at the southern edge of its range. In *Global Change Biology* 16, pp. 12–23.
- Perrig, M., Gruebler, M. U., Keil, H., Naef-Daenzer, B. (2017): Post-fledging survival of Little Owls *Athene noctua* in relation to nestling food supply. In *Ibis* 159 (3), pp. 532–540. DOI: 10.1111/ibi.12477.
- Resano-Mayor, J., Korner-Nievergelt, F., Vignali, S., Horrenberger, N., Barras, A. G., Braunisch, V., Pernellet, C. A., Arlettaz, R. (2019): Snow cover phenology is the main driver of foraging habitat selection for a high-alpine passerine during breeding: implications for species persistence in the face of climate change. In *Biodivers Conserv* 28 (10), pp. 2669–2685. DOI: 10.1007/s10531-019-01786-9.
- Saalfeld, S. T., McEwen, D. C., Kesler, D. C., Butler, M. G., Cunningham, J. A., Doll, A. C. et al. (2019): Phenological mismatch in Arctic-breeding shorebirds: Impact of snowmelt and unpredictable weather conditions on food availability and chick growth. In *Ecology and evolution* 9 (11), pp. 6693–6707. DOI: 10.1002/ece3.5248.
- Schano, C. (2020): Snowfinch Project - Manual.
- Schneider, A. (2017): Influence of environmental factors on nestling growth of the white-winged snowfinch (*Montifringilla nivalis nivalis*). Bachelor Thesis. Environmental Science ETH Zurich, Zürich.
- Smith, Sarah E., Gregory, Richard D., Anderson, Barbara J., Thomas, Chris D. (2013): The past, present and potential future distributions of cold-adapted bird species. In *Diversity Distrib.* 19 (3), pp. 1–11. DOI: 10.1111/ddi.12025.
- snowfinch.eu (2022): European Snowfinch Group. Verfügbar in: <https://snowfinch.eu/> [abgerufen am 27.01.2022]
- Tremblay, I., Thomas, D., Blondel, J., Perret, P., Lambrechts, M. M. (2005): The effect of habitat quality on foraging patterns, provisioning rate and nestling growth in Corsican Blue Tits *Parus caeruleus*. In *Ibis* 147, pp. 17–24.
- Vogelwarte Helgoland (2001): Untersuchungen am Vogel in der Hand.
- vogelwarte.ch (s.a.): Schneesperling. Verfügbar in: <https://www.vogelwarte.ch/de/voegel/voegel-der-schweiz/schneesperling> [abgerufen am 03.05.2022]

- Wada, H. und Breuner, C. W. (2008): Transient elevation of corticosterone alters begging behavior and growth of white-crowned sparrow nestlings. In *Journal of Experimental Biology* 211 (10), pp. 1696–1703.
- Weathers, W. W., Davidson, C. L., Olson, C. R., Morton, M. L., Nur, N., Famula, T. R. (2002): Altitudinal variation in parental energy expenditure by white-crowned sparrows. 205,(2002) 2915 Printed in Great Britain ©. In *The Journal of Experimental Biology* 205, pp. 2915–2924.
- Wehrle, C. M. (1989): Zur Winternahrung des Schneefinken *Montifringilla nivalis*. In *Der Ornithologische Beobachter* 86, pp. 53–68.

Bilderquellen

1. Abbildung: Beat Rügger. Verfügbar in: <https://www.vogelwarte.ch/en/birds/birds-of-switzerland/white-winged-snowfinch> [abgerufen am 02.20.2022]
3. Abbildung: European Snowfinch Group (2019): The European Snowfinch project. Demography and Populations's Connectivity in the European Snowfinch *Montifringilla nivalis nivalis*.