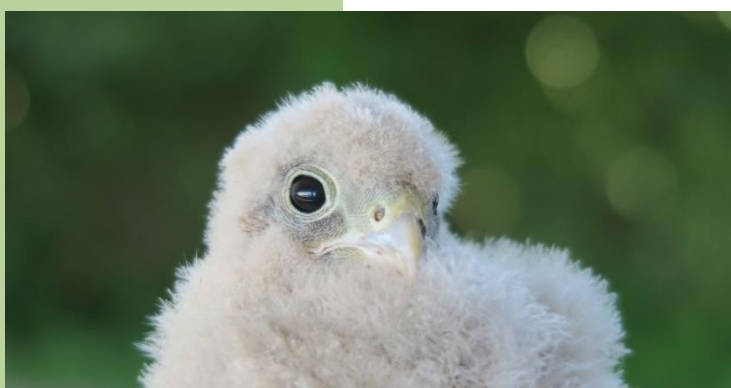


Artenförderungsprojekt und integriertes Populationsmonitoring Turmfalke/Schleiereule

Bericht zur Periode 2016–2018

Jacques Laesser
Stephanie Michler
Rémi Fay
Reto Spaar



Bericht zuhanden der Projektpartner



vogelwarte.ch

Impressum

Artenförderungsprojekt und integriertes Populationsmonitoring Turmfalke/Schleiereule

Bericht zur Periode 2016–2018.

Autoren

Jacques Laesser, Stephanie Michler, Rémi Fay und Reto Spaar

Mitarbeit

Isabelle Kaiser, Pius Korner, Claire Lischer-Guyot, Michael Schaub, Hans Schmid, Nicolas Strebel

Übersetzung

Hannes von Hirschheydt und Stephanie Michler

Fotos

© Schweizerische Vogelwarte Sempach

Zitiervorschlag

Laesser, J., S. Michler, R. Fay & R. Spaar (2020): Artenförderungsprojekt und integriertes Populationsmonitoring Turmfalke/Schleiereule. Bericht zur Periode 2016–2018. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.

Kontakt

Jacques Laesser, Schweizerische Vogelwarte, Seerose 1, 6204 Sempach

Tel.: 041 462 97 00, 041 462 97 23 (direkt), Fax: 041 462 97 10, jacques.laesser@vogelwarte.ch

© 2020, Schweizerische Vogelwarte Sempach

Dieser Bericht darf ohne Rücksprache mit der Schweizerischen Vogelwarte Sempach weder als Ganzes noch auszugsweise publiziert werden.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Résumé	5
1. Einleitung	6
2. Methode	7
2.1 Allgemeines	7
2.2 Nistkastenparks	8
2.3 Brutzeitkontrollen	9
2.4 Beringung und Fangaktivitäten	9
2.5 Bewilligungen	10
2.6 Datensammlung und -erfassung	10
2.7 Auswertungsmethoden	11
2.7.1 Besetzungsrate	12
2.7.2 Schlüpfdatum	12
2.7.3 Bruterfolg	12
2.7.4 Gelegegrösse	13
2.7.5 Produktivität	13
2.7.6 Populationsdynamik des Turmfalken	13
2.7.7 Synchronität der Produktivität als Indikator für Beuteangebot	14
3. Resultate	15
3.1 Besetzungsrate	15
3.1.1 Turmfalke	15
3.1.2 Schleiereule	16
3.2 Schlüpfdatum	18
3.2.1 Turmfalke	18
3.2.2 Schleiereule	20
3.3 Gelegegrösse, Produktivität und Bruterfolg	21
3.3.1 Turmfalke	21
3.3.2 Schleiereule	23
3.4 Populationsdynamik beim Turmfalken	25
3.4.1 Beitrag der Nistkästen zur Bestandsentwicklung	25
3.4.2 Beziehungen zwischen demographischen Parametern	27
3.5 Synchronität der Produktivität als Indikator für das Beuteangebot	28
4. Diskussion	29
4.1 Turmfalke	30
4.1.1 Gründe für die positive Bestandsentwicklung	30
4.1.2 Höhenverbreitung	33
4.1.3 Fortpflanzung	34
4.2 Schleiereule	35
4.2.1 Fortpflanzung	37
4.3 Förderung	37

5. Dank	39
6. Anhänge	39
6.1 Analysemethoden der demografischen Parameter	39
6.1.1 Index der Besetzungsrate	39
6.1.2 Schätzung des Schlüpfdatums	39
6.1.3 Schätzung der Gelegegrösse, der Produktivität und des Bruterfolges pro Jahr	40
7. Literatur	40

Zusammenfassung

Das integrierte Populationsmonitoring Turmfalke/Schleiereule wurde bereits 2002 gestartet. Daher basiert dieser Bericht auf den Daten der Jahre 2002–2018, mit Fokus auf den Jahren 2015–2018.

Seit 2012 schwankt die Zahl der kontrollierten Nistkästen in den teilnehmenden Projekten zwischen 2000 und 2500. Der Brutbestand des Turmfalken hat sich in den letzten 20 Jahren verdoppelt. Gleichzeitig ist auch der Anteil der besetzten Nistkästen etwas angestiegen, wobei das Nistkastenangebot bis 2012 konstant zugenommen hat. Bei der Schleiereule schwankt der Anteil besetzter Nistkästen stark. Nach einem Populationseinbruch in Folge härterer Winter, erholten sich die Brutbestände in den Jahren 2016–2018 wieder. Dies resultiert in einer relativ hohen Besetzungsrate der Nistkästen.

Bei beiden Arten lag die Gelegegrösse in der Periode 2016–2018 im normalen Rahmen, 2018 war die Kükensterblichkeit dagegen relativ hoch. Die Schleiereule verzeichnete in diesem Jahr mit 3,67 Küken pro Brut die niedrigste Nachwuchsrate seit 2008. Beim Turmfalken lag der Bruterfolg im letzten Jahrzehnt nur im Jahr 2013 tiefer als 2018.

Das durchschnittliche Schlüpfdatum des Turmfalken weist zwischen dem südwestlichen Mittelland und der Nordostschweizer Hügellzone einen Unterschied von 21 Tagen auf. Die Höhe über Meer spielt offenbar vor allem zwischen 300 und 600 m eine wichtige Rolle.

Analysen mit Hilfe eines integrierten Populationsmodells zeigen, dass die Turmfalkenbestände in den Projektgebieten mehr Vögel produzieren als sie aufnehmen, das heisst sie dienen als sogenannte Quell-Populationen für angrenzende Regionen innerhalb und ausserhalb der Schweiz. Modellberechnungen ergeben, dass die gute Produktivität in Nistkästen im Vergleich zu natürlichen Neststandorten einen massgeblichen Einfluss auf das Populationswachstum hat.

Eine zweite Auswertung findet einen positiven Zusammenhang zwischen der Überlebensrate von Turmfalken im ersten Lebensjahr und der Produktivität im Jahr ihres Schlupfes. Ein berechneter Index für das Angebot an Kleinsäugern zur Brutzeit korreliert stark positiv mit der Produktivität, was den Schluss nahelegt, dass in Jahren mit hohem Kleinsäugerangebot sowohl der Bruterfolg als auch die Überlebensrate von Jungvögeln gut ist.

In der dritten Publikation wurde die räumliche Synchronität der Produktivität (Anzahl flügger Jungen in erfolgreichen Bruten) beim Turmfalken untersucht. Die Produktivität ist räumlich bis zu 300 km korreliert. Das bedeutet, dass innerhalb eines Jahres Bruten über grosse Distanzen ähnlich erfolgreich sind. Da die Produktivität des Turmfalken stark von der Verfügbarkeit an Kleinsäugern abhängt, deckt dieses Muster eine räumliche Korrelation des Kleinsäugerangebots auf.

Die 2000 bis 2500 von den freiwilligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Vogelwarte instand gehaltenen und alljährlich kontrollierten Nistkästen sind für die Erhaltung der Schleiereulenbestände und für den Aufschwung beim Turmfalken von grosser Bedeutung. Beide Beutegreifer sind als Wühlmausvertilger bei den Landwirten in der Regel sehr beliebt. Die Besuche der Projektmitarbeiter auf den Höfen tragen ebenfalls zur Sensibilisierung und zum guten Ruf beider Arten bei. Das koordinierte Monitoringprogramm Turmfalke/Schleiereule schlägt so eine Brücke zwischen Naturschutz und Landwirtschaft, von der beide Seiten profitieren.

Résumé

Le monitoring intégré des populations de faucon crécerelle et d'effraie des clochers a débuté en 2002 et le présent rapport se base sur les données collectées entre 2002 et 2018. Dès 2012, le nombre de nichoirs contrôlés se situe entre 2000 et 2500. La population de faucons crécerelles a doublé durant les vingt dernières années. L'indice d'occupation a légèrement augmenté pendant cette période, pour un réseau de nichoirs en constante augmentation.

L'indice d'occupation des effraies des clochers fluctue fortement. Après l'effondrement des populations nicheuses suite à des hivers rigoureux, les effectifs se sont rétablis à taux d'occupation relativement haut pour la période 2016-2018.

La taille des pontes était dans la norme pour les deux espèces durant la période 2016-2018. Une mortalité des poussins relativement forte les a touchées toutes deux en 2018. Lors de cette année, la productivité des effraies a atteint la valeur la plus basse depuis 2008 avec 3,67 poussins par nichée. Pendant la décennie, seul 2013 présentait une productivité plus faible chez les faucons crécerelles.

La date moyenne d'éclosion du faucon crécerelle diffère de 21 jours entre le sud-ouest du pays et les collines du nord-est. L'altitude semble avoir une influence importante entre 300 et 600 m.

Un modèle intégré de population a permis de démontrer que la population installée en nichoirs a contribué par sa productivité à la croissance des effectifs nationaux. La productivité est en effet plus élevée pour les couples installés en nichoirs en comparaison de ceux établis en nids ouverts. La productivité explique à elle seule non seulement l'augmentation constatée dans les réseaux de nichoirs suivis dans le cadre de ce programme coordonné, mais aussi celle en périphérie, en produisant des excédents de jeunes reproducteurs.

Une deuxième analyse démontre que la survie dans la première année est positivement corrélée à la productivité de l'année précédente. L'offre en nourriture semble être la variable expliquant l'essentiel des variations, autant pour la productivité que pour la survie.

Une étude de la synchronie de la productivité montre que la corrélation reste constante jusqu'à une distance de 150 km séparant deux nichoirs pour devenir absente vers 300 km. Comme la productivité est en grande partie expliquée par la proportion de campagnols dans les proies, nous interprétons ses variations comme le reflet de l'abondance de ces proies.

Les 2000 à 2500 nichoirs entretenus et contrôlés chaque année par les collaborateurs bénévoles de la Station ornithologique contribuent fortement au maintien de l'effraie et à l'essor du faucon crécerelle. Par leur rôle d'auxiliaire dans la lutte contre les campagnols, ces deux rapaces sont en général appréciés par les agriculteurs. Les ornithologues contribuent également à la perception positive de ces espèces grâce à leurs efforts de sensibilisation. Le programme coordonné du monitoring des populations de faucons crécerelles et d'effraies des clochers constitue ainsi un pont entre les milieux de la protection de la nature et ceux de l'agriculture, où les échanges se nourrissent d'intérêts communs.

1. Einleitung

Turmfalke (*Falco tinnunculus*) und Schleiereule (*Tyto alba*) sind auf der Roten Liste der Schweizer Brutvögel als potenziell gefährdete Arten aufgeführt (Keller et al. 2010b) und gehören zu den 50 Prioritätsarten, die mit besonderen Massnahmen gefördert werden sollen (Keller et al. 2010a). Nach einer Periode intensiven Niedergangs haben die Turmfalken- und Schleiereulenbestände ihren tiefsten Stand in den Jahren 1980 bzw. 1990 erreicht. Beide Kulturlandarten dürften vor allem wegen eines Mangels an Brutplätzen seltener geworden sein (Schmid 1990).

Seit 2002 läuft in der Schweiz ein koordiniertes Populationsmonitoringprogramm für beide Arten. Dank Dutzenden von freiwilligen Mitarbeitenden konnte im Mittelland ein grossflächiger Nistkastenpark aufgebaut werden, der massgeblich zum Wiederaufschwung des Turmfalken beigetragen hat, aber auch einen ansehnlichen Anteil unserer Schleiereulen-Brutpaare beherbergt. Als Wühlmausjäger sind beide Arten bei den Landwirten sehr beliebt. Deshalb stossen die ehrenamtlichen Ornithologen bei ihren regelmässigen Nistkastenkontrollen meist auf breite Unterstützung der Bauernfamilien. Das Monitoring erlaubt es, die Bestandsentwicklung, die Brutphänologie und den Fortpflanzungserfolg von Turmfalke und Schleiereule zu überwachen. Dieser Bericht stellt die Methoden und Ergebnisse dieser Indizes vor, welche regelmässig aktualisiert werden.

Datenanalysen aus diesem Programm sind bereits früher in einer Publikation (Zellweger-Fischer et al. 2011) und einem Bericht (Michler et al. 2016) veröffentlicht worden. Rémy Fay, Mitarbeiter der Abteilung Ökologische Forschung der Vogelwarte, hat nun die Daten aus dem koordinierten Populationsmonitoring und dem Monitoring Häufige Brutvögel (MHB) kombiniert ausgewertet, um herauszufinden, welche Faktoren für den Bestandsaufschwung beim Turmfalken verantwortlich sind. Die Ergebnisse sind ebenfalls publiziert (Fay et al. 2019, Fay et al. 2020a, 2020b) und werden in diesem Bericht zusammengefasst vorgestellt.



Abb. 1. Eine Turmfalkenbrut mit drei Jungen in der Nische einer Kirchenmauer. Der beringte Fuss des eingegangenen Nesthäkchens ist unten links zu erkennen.

2. Methode

2.1 Allgemeines

Das koordinierte Überwachungsprogramm wurde im Jahr 2002 gestartet. Das Ziel war, die Daten für ein integriertes Populationsmodell verwenden zu können. In der Anfangsphase 2002–2011 lag der Schwerpunkt bei der Beringung und der Ermittlung des Bruterfolgs. Die Daten wurden pro Brut gemäss Anleitung (Spiess et al. 2006) erhoben. Alle Beringungsdaten wurden systematisch erfasst, ab 2008 via RingExt auch elektronisch von den Beringenden selber.

Eine Restrukturierung des Programms im Jahr 2012 sorgte dafür, dass auch jede Nistkastenkontrolle erfasst werden konnte. Alle Daten zu einer Brut werden seither auf der Basis dieser Informationen berechnet. Absenzdaten werden jetzt ebenfalls systematisch erfasst, was die Ermittlung zuverlässigerer Besetzungsraten erlaubt. Weiter wurde ein Nistplatzinventar für jedes Projekt erstellt und gepflegt, über welches sowohl die Daten der Nistkastenkontrollen als auch die Beringungsdaten eingegeben werden. Alle Details der Restrukturierung von 2012 sind in Michler *et al.* (2016) nachzulesen.

Zurzeit können die teilnehmenden Projekte aus drei unterschiedlich intensiven Überwachungsstufen auswählen:

- Wer nur wissen möchte, ob ein Nistkasten besetzt ist, kann dies mit Sichtnachweis aus grösserer Distanz feststellen. Dabei wird der Nistkasten nicht von innen kontrolliert.
- Wer Daten zu Nistkastenbesetzung, Brutphänologie, Gelegegrösse, Bruterfolg und Dispersal von Jungvögeln sammeln will, kontrolliert regelmässig alle Nistkästen und beringt alle Nestlinge.
- Wer darüber hinaus zu Informationen zum Überleben und zum Dispersal von Alt- und Jungvögeln kommen möchte, muss bei den Nistkastenkontrollen auch Altvögel fangen.

Die regionalen Projekte folgen jeweils einer der drei Intensitätsstufen, meist für beide Arten, in Einzelfällen auch nur für eine. Für die integrierten Populationsmodelle wurden nur Daten aus den beiden intensiveren Überwachungsstufen verwendet (siehe Kapitel 2.7.6 und 3.4).

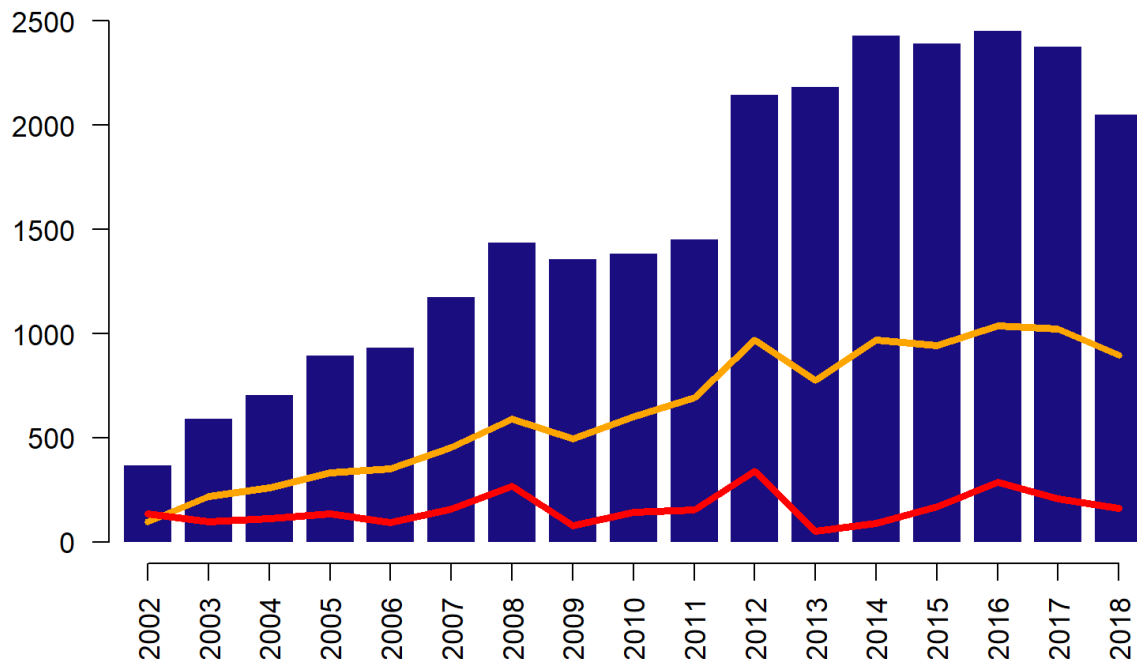


Abb. 2. Zahl der kontrollierten Nistkästen (blaue Säulen) sowie der besetzten Turmfalken- (orange Linie) und Schleiereulennistkästen (rote Linie) pro Jahr. Die Daten von 2018 sind unvollständig.

2.2 Nistkastenparks

Die Gesamtzahl der im Rahmen des koordinierten Populationsmonitorings Turmfalke/Schleiereule kontrollierten Nistkästen ist bis 2012 konstant gestiegen. Seither schwankt sie zwischen 2000 und 2500 (Abb. 2). Das Projektgebiet deckt weite Teile des Mittellands vom Kanton Genf bis zum Bodensee ab (Abb. 3). Einzelne Nistkastenparks befinden sich etwas abseits davon, z.B. im Rhonetal VS/VD, im Val de Ruz NE, im Baselbieter Jura, im Kanton Schaffhausen, in der Region Rothenthurm SZ oder im St. Galler Rheintal. Die meisten Nistkastenstandorte liegen unterhalb von 650 m ü.M.; die höchsten regelmässig kontrollierten Turmfalkenkästen befinden sich auf 1000 m ü.M. (Abb. 4).



Abb. 3. Geographische Verteilung der 2002–2018 besetzten Nistkästen.

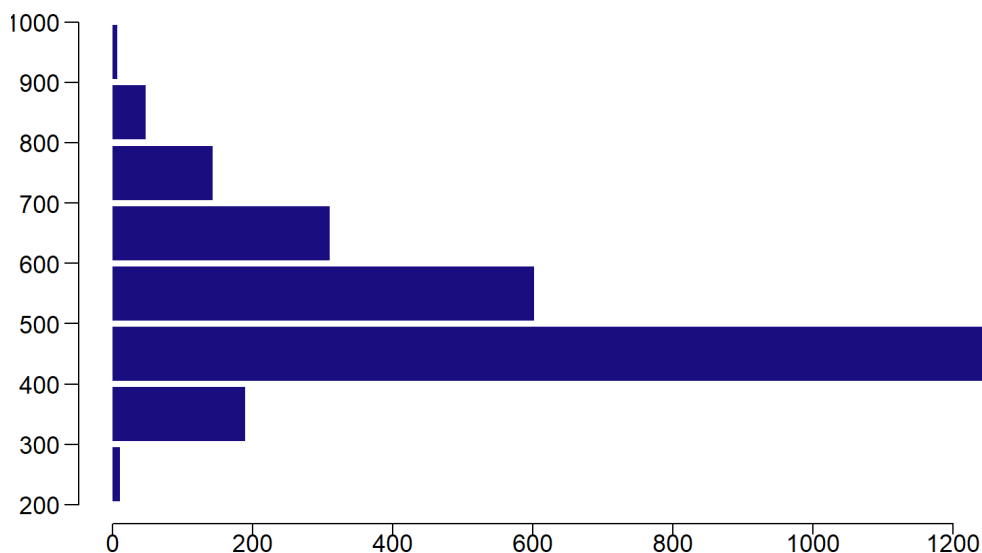


Abb. 4. Höhenverteilung der 2007–2018 kontrollierten Nistkästen.

2.3 Brutzeitkontrollen

Die drei Intensitätsstufen der Überwachung liefern Daten unterschiedlicher Qualität, die dem Auswertungsziel entsprechend gefiltert werden. Die dafür verwendeten Kriterien sind im Kapitel *Auswertungsmethoden* (2.7) erklärt.

Eine einzige Aussenkontrolle zu einem artspezifisch günstigen Zeitpunkt reicht aus, um festzustellen, ob ein Nistkasten belegt ist oder nicht. Für die Ermittlung der Gelegegrösse sind dagegen Kontrollen des Kasteninneren erforderlich. Enthält ein Nistkasten bei einer Kontrolle Eier, erfolgt normalerweise ein weiterer Besuch, um die definitive Eizahl und das Schlüpfdatum zu bestimmen, die Nestlinge zu beringen und den Bruterfolg zu notieren. Letzterer ist definiert als Anzahl Küken im beringungsfähigen Alter. Findet die zweite Kontrolle zu früh statt, ist eine dritte nötig. In gewissen Regionen werden im August Zusatzkontrollen in Schleiereulenkästen durchgeführt. Falls man dabei auf Zweitbruten stösst, folgen weitere Besuche zum Beringen der Küken und zum Festhalten des Bruterfolges.

Das aufgrund der körperlichen Entwicklung und der Flügel- bzw. Handschwingenlänge (Spiess et al. 2006) geschätzte Alter des ältesten Jungvogels liefert das Schlüpfdatum. Bruten, bei denen keine Kontrolle in die Periode mit Jungvögeln fiel, bei denen das Alter der Küken mit einer Ungenauigkeit von mehr als 5 Tagen geschätzt worden ist oder bei denen eine Altersangabe ganz fehlt, sind von der Schätzung des Schlüpfdatums ausgenommen. Wenn allerdings das Datum des Legebeginns ungefähr bekannt ist, z.B. dank einer Kontrolle mit unvollständigem Gelege, kann das Schlüpfdatum auch durch Extrapolation berechnet werden.

Der Index der Besetzungsrate der Turmfalkennistkästen basiert auf Daten von 1559 Nistkästen, die in der Periode 2002–2018 mindestens einmal besetzt waren. Total sind es 11'913 Kontrolldaten, bei denen in 5992 Fällen Vögel angetroffen wurden. Bei der Schleiereule waren 676 Nistkästen mindestens einmal besetzt, 4851 Kontrollen fanden statt und bei 1710 davon wurden Schleiereulen angetroffen. 5245 Turmfalkenbruten dienen zur Schätzung des Schlüpfdatums. 9617 Turmfalken- und 2827 Schleiereulenbruten lieferten Daten zur Gelegegrösse, die für die entsprechenden jährlichen Indices verwendet wurden. Der Bruterfolg wurde bei 4317 Turmfalken- und 866 Schleiereulenbruten ermittelt.

2.4 Beringung und Fangaktivitäten

In einzelnen Projekten werden die Schleiereulenweibchen fast systematisch mit einem Kescher gefangen, der aussen am Flugloch des Nistkastens angesetzt wird. Bei den Männchen behilft man sich vereinzelt mit einer nachts aktivierten Verschlussklappe am Flugloch. Für diesen Bericht sind die Altvogelfänge von Schleiereulen nicht ausgewertet worden. In einigen Projekten wird ebenfalls versucht adulte Turmfalken mit einem Kescher am Brutplatz zu fangen. Diese Daten sind in die Berechnungen des integrierten Populationsmodells eingeflossen. In den Jahren 2002–2011 sind insgesamt 808 adul-



Abb. 5. Die Beringung adulter Turmfalken am Brutplatz liefert interessante Informationen. Sie erfordert aber geeignete Vorsichtsmassnahmen, um die Bruten nicht zu stören.

te Turmfalken zur Fortpflanzungszeit mit Bal-Chatrri-Fallen gefangen worden, die in der Nähe von besetzten Brutplätzen installiert wurden (Michler et al. 2016). Diese Individuen wurden mit codierten Farbringen markiert, welche auf grössere Distanz ablesbar sind. Die Daten der beringten Küken ($n = 28'658$) und Altvögel bildeten die Basis für die Berechnung der Überlebensraten. Von 418 adulten Turmfalken lagen Kontrollfänge oder Ringablesungen zur Brutzeit vor; dazu kommen 636 Ringfunde von verletzten oder toten Artgenossen.

2.5 Bewilligungen

Die Überwachung der Nistkästen von Turmfalke und Schleiereule entspricht den Zielen und Anforderungskriterien des demographischen Monitoringprogramms MoDem (von Rönn et al. 2019) und benötigt deshalb keine Tierversuchsbewilligung. Die Bewilligungen für den Fang und die Markierung durch die Beringenden erteilt das Bundesamt für Umwelt BAFU.

2.6 Datensammlung und -erfassung

Bis Ende 2011 wurde für jede Brut nur ein Datensatz erfasst, mit dem Schlussresultat der Gelegegrösse und der Anzahl geschlüpfter resp. ausgeflogener Junge. Kontrollen unbesetzter Nistkästen wurden nicht systematisch notiert. Mit der Projekt-Restrukturierung im Jahr 2012 hat man alle unabhängigen Projekte ins koordinierte Programm integriert. Statt einer Synthese pro Brut wird neu jede Nistkastenkontrolle protokolliert, auch solche von leeren Nistkästen. Auf diese Weise kann die Besatzungsrate der Nistkästen besser berechnet werden. Für ein einfacheres und besseres Datenmanagement erhielt jeder Nistkasten ausserdem eine eindeutige Identifizierungsnummer. Diese erlaubt die Verwaltung von Informationen zum Nistkasten, z.B. dessen Aufhängedatum. Ausserdem dient sie dazu, Daten von Brutzeitkontrollen und Beringungsaktivitäten für einzelne Kästen zu erfassen und miteinander in Verbindung zu setzen.

Die Feldformulare dienen einerseits den Mitarbeitenden als Grundlage, um alle Informationen pro Nistkasten während der Feldarbeit zu notieren, andererseits als Basis für die Dateneingabe seitens der Vogelwarte (Abb. 6). Ausführlichere Angaben zum Nistkasteninventar und zum Datenmanagement sind in Michler et al (2016) zu finden.

 **Nestprotokoll**
(Bitte für jeden Nistkasten/Brutort je ein Formularblatt ausfüllen)
Schweizerische Vogelwarte Sempach - Integriertes Populations-Monitoring

Allgemeine Daten

Gemeinde Zeiningen **Kasten-Code 11**
 Flurname Felscheune "Uf Asp" 11 **Projekt-Nr 371**
 Koordinaten 632200/266700
 Name Mitarbeiter Hans Muster ID-Mitarbeiter 1234
 Kontaktperson
 Art des Nestes Nistkasten

Neststandort und Nestbeschreibung
 Angaben gleich wie letztes Jahr ☒ Nistkasten umgehängt (Änderungen in RingExt eingeben) ☐

Brutzeitkontrollen
 Keine Kontrolle ☐

Art(en) Turmfalke

Datum	Zeit	Anzahl Eier Eier	Eier Kütl/Warm	Anzahl Nestlinge lebend	tot	Alter/Tag Minster Nestling	Bem.: z. Bsp. Futterreserven oder Altvogel im Kasten (abwesend, fliegt raus, bleibt sitzen, bringt Futter...)
28.04.2014		4	W	-	-		
25.05.2014		1	K	3	-	16	2 Höcker
5.07.2014		-	-	-	-		leer

Detail-Liste Nestlinge

Datum	Zeit	Alter Tage	Sex	Gewicht	Flügel	HS3	Ringnummer	Bemerkungen
25.05.2014		16					K 12345	
11		11					346	
11		11					347	

Detail-Liste Altvögel

Datum	Zeit	Alter Euring	Sex	Gewicht	Flügel	HS3	Ringnummer	Bemerkungen

Brutdaten (fakultativ)

Gelegegrösse (maximal festgestellte Eizahl) 4

Verluste (Eier, Nestlinge vor Beringung) 1

Anzahl Nestlinge nicht beringbar

Verluste (Nestlinge nach Beringung)

Brutversuch
 Erstbrut ☒
 Zweibrut ☐
 Ersatzbrut ☐
 Unbekannt ☐

Datum Stand: 13.12.13

Abb. 6. Beispiel eines Feldformulars.

2.7 Auswertungsmethoden

Die in diesem Bericht vorgestellten Indizes werden periodisch aktualisiert. Die statistischen Methoden zu ihrer Berechnung sind in diesem Kapitel erklärt und im Anhang im Detail beschrieben.

Veränderungen in der Ausdehnung der Projektgebiete und der Anzahl Nistkästen innerhalb der jeweiligen Projektgebiete führen zu heterogenen Daten, die bei den Auswertungen berücksichtigt werden müssen. In den Modellen wurde der Nistkasten deshalb häufig als Zufallsfaktor verwendet (Erklärung im Anhang unter Index der Besetzungsrate, Kap. 2.7.1.).

2.7.1 Besatzungsrate

Mit dem Index der Besatzungsrate versuchen wir die Entwicklung der Brutbestände im Verlauf der Zeit aufzuzeigen. Die Zahl der im koordinierten Monitoringprogramm Turmfalke/Schleiereule jährlich kontrollierten Nistkästen hat mit den Jahren ja stark zugenommen. Die Interpretation der Besatzungsrate ist vor allem in jenen Projektgebieten anspruchsvoll, in denen sich der Nistkastenpark verdichtet.

Auch wenn die Nistkästen meist von den am Programm beteiligten Freiwilligen montiert worden sind, kann dies auch durch Drittpersonen erfolgen. Deshalb ist das Installationsjahr nicht bei allen Nistkästen bekannt, und einige Nistkästen im Projektperimeter werden auch nicht von den Projektmitarbeitenden kontrolliert. Schliesslich siedeln sich einzelne Paare auch an natürlichen, unzugänglichen oder unbekannten Brutplätzen an. Mit den überwachten Brutpaaren innerhalb eines Projektgebiets erfasst man deshalb zwar einen hohen Anteil der örtlichen Brutpopulation, die Überwachung ist aber nicht vollständig.

Berücksichtigt man den Nistkasten im Modell der Besatzungsrate als Zufallsfaktor, fängt dies einen grossen Teil der durch die Veränderungen im Nistkastenpark entstandenen Verzerrungen auf.

2.7.2 Schlüpfdatum

Bei den Auswertungen zur Brutphänologie haben wir nur Schlüpfdaten mit einer Schätzgenauigkeit von 0–5 Tagen verwendet. Für den Turmfalken haben wir ein Modell zur Schätzung des Schlüpfdatums in Abhängigkeit der geografischen Lage und des Jahrs gerechnet, wobei wir eine Normalverteilung des Schlüpfdatums angenommen haben.

Schleiereulen brüten oft zweimal pro Jahr, und es ist nicht immer einfach, späte Erst- von Ersatz- oder Zweitbruten zu unterscheiden. Das erschwert die Ermittlung des Schlüpftermins für die Erstbruten. Ausserdem finden nicht in allen Projektgebieten Kontrollen von Zweitbruten statt. Aus diesem Grund war es nicht möglich, das für den Turmfalken erarbeitete Modell zur Schätzung des Schlüpftermins auf die Schleiereule zu übertragen.



Abb. 7. Turmfalkenbrut unter einer Autobahnbrücke.

2.7.3 Bruterfolg

Eine Brut gilt als erfolgreich, wenn bei einer Nistkastenkontrolle mindestens 14-tägige Turmfalken bzw. 18-tägige Schleiereulen anwesend waren. Ab diesem Alter können die Jungtiere beringt werden, und somit belegt die Beringung der Jungvögel den Erfolg einer Brut. Dieselben Altersgrenzen wurden auch zur Definition erfolgreicher Bruten verwendet, wenn keine Beringung stattfand. Wurden Jungvö-

gel beim Ausfliegen beobachtet und konnten eindeutig bestimmten Bruten zugeordnet werden, gelten auch diese als erfolgreich. Ob eine Brut als erfolgreich gilt hängt nicht davon ab, wie viele Junge das Mindestalter erreichen. Eine Brut gilt als erfolglos, wenn entweder verlassene Eier oder tote Küken gefunden werden, deren Zahl dem bisher festgestellten Maximum entsprachen, oder leere Brutplätze bzw. eine verlassene Brut zu einem Zeitpunkt, wo das Ausfliegen noch nicht in Frage kam. Das geschätzte minimale Ausflugsalter liegt beim Turmfalken bei 27 und bei der Schleiereule bei 44 Tagen.

Für die Berechnung des Bruterfolgs haben wir nur Daten aus Bruten verwendet, die in der Brutperiode mindestens zweimal kontrolliert worden sind. Bei nur einmal besuchten Bruten ist die Wahrscheinlichkeit, ein Scheitern des Brutversuchs festzustellen, schlicht zu gering. Wenn eine Brut nach dem Erreichen des Beringungsalters der Küken gar nicht kontrolliert worden ist, gilt ihr Bruterfolg als unbekannt, und sie wurde von diesen Auswertungen ausgeschlossen.

2.7.4 Gelegegrösse

Die Gelegegrösse wird auf Basis der höchsten beobachteten Ei- bzw. Kükenzahl ermittelt. Bei Bruten, die erst spät in ihrer Entwicklung kontrolliert worden sind, kann dies wegen unentdeckter Verluste zur Unterschätzung des wahren Wertes führen. Weil diese Abweichung aber von Jahr zu Jahr ähnlich sein dürfte, ist ihr Einfluss auf die jährliche Variation in der Gelegegrösse vernachlässigbar.

Aussergewöhnlich grosse Bruten bestehen oft aus zwei getrennten Gelegen, z.B. wenn das erste Gelege während der Bebrütung aufgegeben worden ist und die Eier des Ersatzgeleges einfach dazu gelegt wurden. Soweit möglich unterscheiden wir solche gleichzeitig angetroffenen Gelege, indem wir die geschlüpften Küken der Ersatzbrut, die restlichen Eier aber der aufgegebenen Erstbrut zuordnen. Wo diese Trennung nicht möglich ist, werden grosse Bruten als Einheit aufgefasst. Extremwerte sind also mit Vorsicht zu interpretieren.

2.7.5 Produktivität

Unser Mass für die Produktivität ist die Anzahl Küken zum Zeitpunkt, wo der grösste Jungvogel mindestens das Beringungsalter erreicht hat (siehe *Bruterfolg*). Gescheiterte Brutversuche werden nicht berücksichtigt. Für die Schätzung der jährlichen Produktivität haben wir dasselbe Modell verwendet wie für die Gelegegrösse.

2.7.6 Populationsdynamik des Turmfalken

Das Ziel des koordinierten Monitoringprogramms für Turmfalke und Schleiereule war von Beginn an, Daten zu sammeln, die für ein integriertes Populationsmonitoring genutzt werden können. Um die Populationsdynamik einer Art besser zu verstehen, kombiniert dieser Modelltyp unterschiedliche demografische Parameter: Überlebensraten von Jung- und Altvögeln, Bruterfolg und die Bilanz aus Ab- und Zuwanderung. So können unbekannte Parameter, wie etwa die Zu- und Abwanderung, mit Hilfe der bekannten Werte wie etwa der jährlichen Populationsgrösse, der Produktivität oder Rückfängen überlebender Tiere geschätzt werden.

Die Auswertungen hat Rémy Fay im Rahmen seines Post-Doc-Aufenthaltes bei Michael Schaub vorgenommen. Zwei Hauptfragen standen dabei im Zentrum:

- Wie viel haben die in Nistkästen brütenden Turmfalken in den letzten 20 Jahren zur gesamtschweizerischen Bestandsentwicklung dieser Art beigetragen?
- Korreliert die Überlebenswahrscheinlichkeit von Jungvögeln mit dem Bruterfolg im Jahr ihrer Geburt? Sind die Überlebenschancen wegen stärkerer Konkurrenz und entsprechender dichtabhängiger Phänomene schlechter (negative Korrelation) oder profitieren sie von den guten Aufzuchtbedingungen (positive Korrelation)?

Um die Vorteile von Nistkästen für den Bruterfolg zu quantifizieren, wurde eine Literaturrecherche zur Produktivität von Turmfalkenbeständen mit folgenden Brutplatztypen durchgeführt: Nistkästen, natürli-

che Hohlräume (inkl. Gebäudenischen) und Offennester. Die Zahl der in den Projektgebieten überwachten Bruten in natürlichen Hohlräumen oder in Offennestern war für eine Analyse mit eigenen Daten leider zu gering.

Die Auswertungsverfahren sind im Detail in den beiden aus dem Projekt entstandenen Publikationen beschrieben (Fay et al. 2019, Fay et al. 2020a). Weil die darin verwendeten Methoden zur Ermittlung der Produktivität und des Bruterfolgs sich von denjenigen in diesem Bericht weiter oben beschriebenen unterscheiden, können die Ergebnisse leicht voneinander abweichen.



Abb. 8. Brütendes Turmfalkenweibchen mit beginnender Mauser der Handschwingen und -decken.

2.7.7 Synchronität der Produktivität als Indikator für Beuteangebot

Um die Hypothese zu testen, ob die Produktivität der Turmfalken stark vom Wühlmausangebot abhängt, haben Jacques Jeanmonod und seine Mitarbeiter systematisch alle Beutereste notiert, die sie in den besetzten Nistkästen in der Broye-Ebene antrafen. Für die Auswertung hat Rémi Fay schliesslich alle Wühlmaus- und Vogelreste berücksichtigt. Vögel erwiesen sich dabei als Ersatznahrung in Zeiten, wo die bevorzugten Wühlmäuse knapp waren. Das Wühlmausangebot pro Jahr wurde als Anteil aller Beutereste geschätzt. Die Beziehung zwischen Nahrungsangebot und durchschnittlicher jährlicher Produktivität wurde dann unter Verwendung eines linearen Modells geschätzt. In Fay et al. (2020b) sind die Verfahren zur Berechnung der räumlichen Synchronität des Bruterfolgs im Detail beschrieben.

3. Resultate

3.1 Besetzungsrate

3.1.1 Turmfalke

Der Anteil von Turmfalken belegter Nistkästen in den Projektgebieten des Populationsmonitorings stieg über die Jahre leicht an. Das ist angesichts der starken Zunahme des Nistkastenangebotes bemerkenswert (Abb. 10) und deutet darauf hin, dass die Brutpaarzahl noch nicht die umweltbedingte Kapazitätsgrenze erreicht hat und dass der Turmfalkenbestand immer noch hauptsächlich durch das Brutplatzangebot begrenzt wird.

Der ausgesprochen regenreiche Frühling 2013 ergab in den meisten Kantonen eine sehr geringe Besetzungsrate, die sich aber nicht auf die Folgejahre auswirkte.



Abb. 9. Junger Turmfalke im Alter von etwa 25 Tagen.

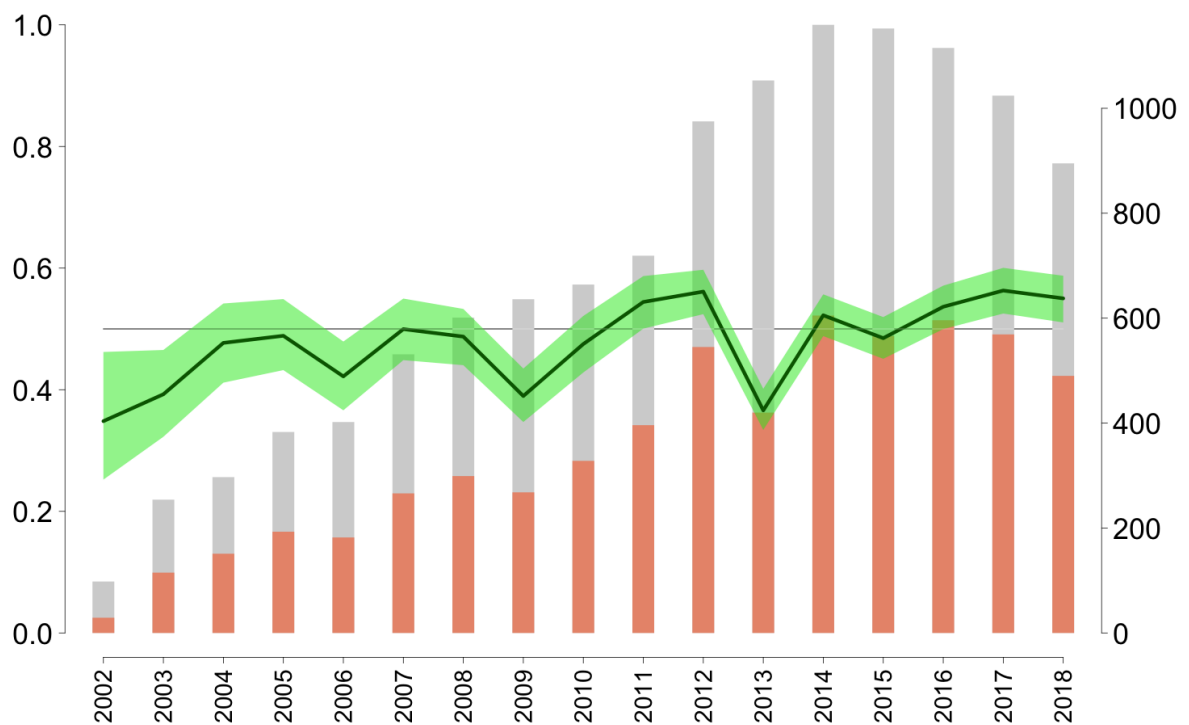


Abb. 10. Die grüne Linie zeigt den Anteil der durch Turmfalken besetzten Nistkästen mit dem Unsicherheitsintervall; die zugehörige Skala ist links notiert. Die lachsrosa Säulen im Hintergrund entsprechen den besetzten, die grauen Säulen den übrigen Nistkästen; die Skala dazu ist rechts angegeben.



Abb. 11. Modellierter Anteil der von Turmfalken besetzten Nistkästen in den zwölf Kantonen mit den meisten Datensätzen. Zur Erklärung der Darstellung siehe Abb. 10.

3.1.2 Schleiereule

Die Brutbestände der Schleiereule weisen über die Jahre starke Schwankungen auf (Abb. 12). Die Besatzungsrate sackte in den Jahren 2006, 2009 und 2013 stark ab, erholte sich in den Folgejahren aber wieder. In manchen Teilgebieten dauerte es bis zum Wiederaufschwung allerdings ein paar Jahre, wie etwa im Kanton Luzern, oder die Belegung erreichte das alte Niveau noch immer nicht, wie im Kanton Zürich. Landesweit hat sich der Wiederanstieg der Besatzungsrate 2016 und 2017 fortgesetzt, erlebte aber 2018 einen leichten Dämpfer.

Eine Besatzungsrate von 80 % wie sie zu Beginn des Überwachungsprojekts aufgeführt ist, ist extrem hoch. Dies erklärt sich vermutlich mit den hohen Bestandsdichten von Schleiereulen in den Projektgebieten, die dem koordinierten Monitoring 2002 als erste beigetreten sind.

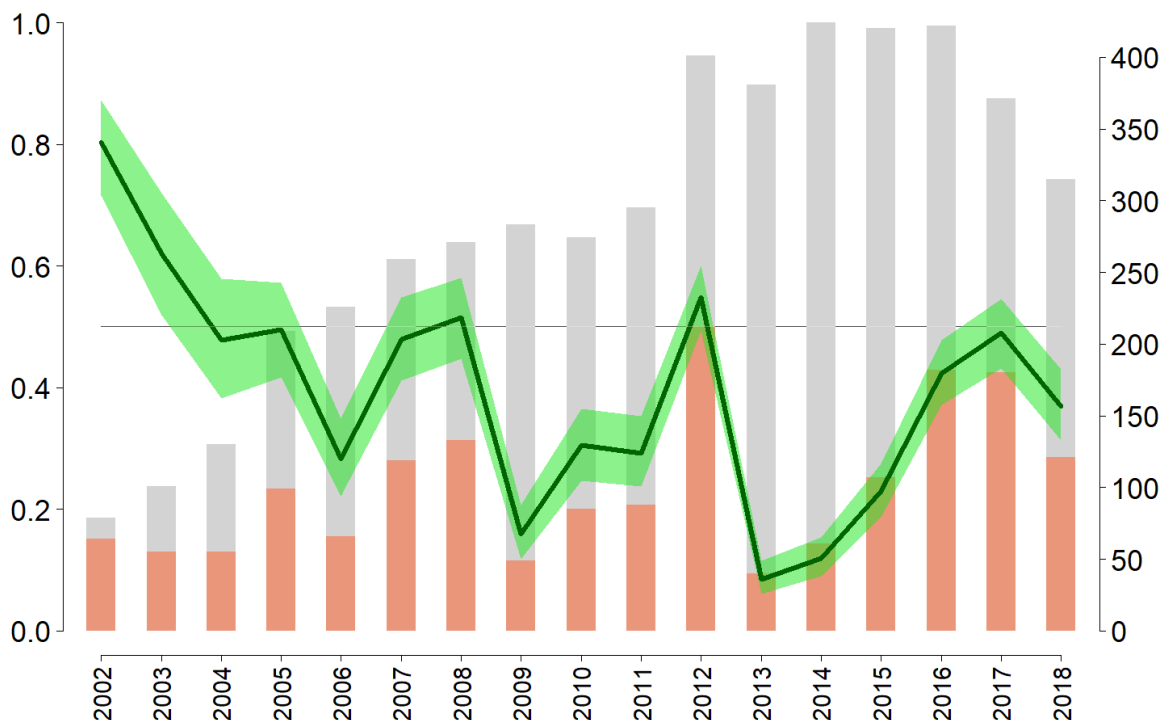


Abb. 12. Anteil der besetzten Nistkästen bei der Schleiereule. Zur Erklärung der Darstellung siehe Abb. 10.

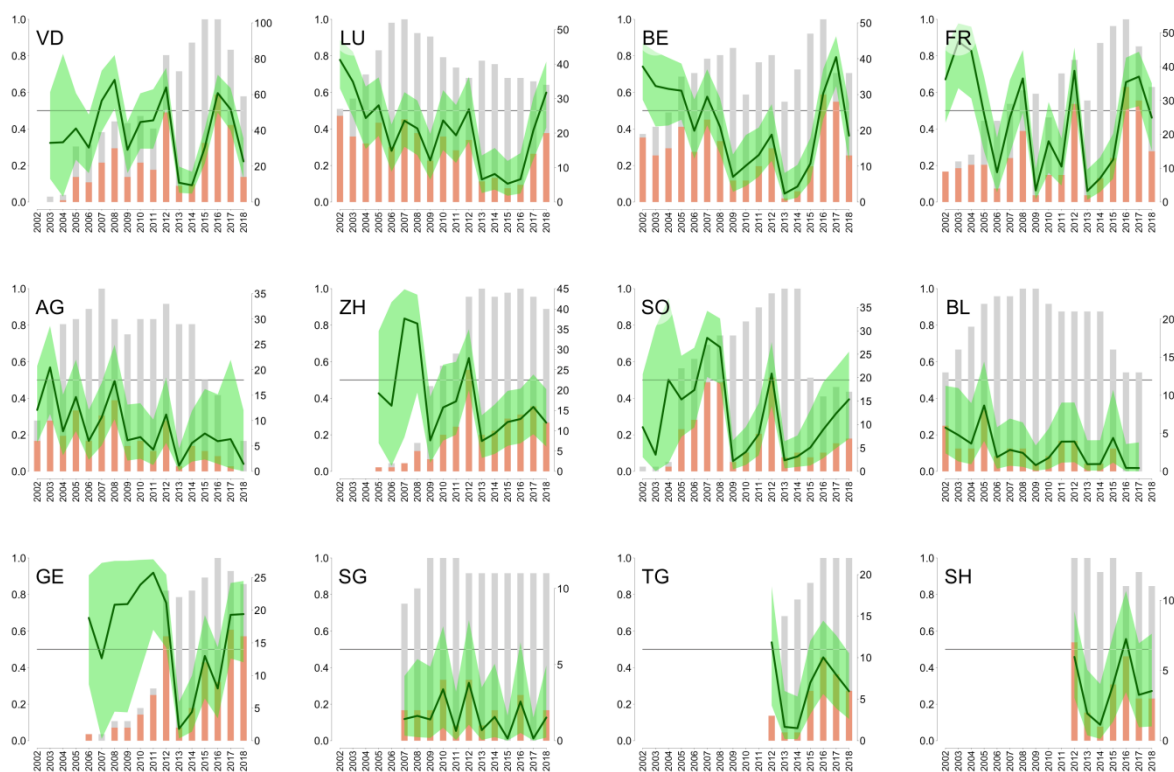


Abb. 13. Modellierter Anteil der von Schleiereulen belegten Nistkästen in den zwölf Kantonen mit den meisten Datensätzen. Zur Erklärung der Darstellung siehe Abb. 10.

3.2 Schlüpfdatum

3.2.1 Turmfalke

Das mittlere Schlüpfdatum eines virtuellen, hinsichtlich Breiten- und Längengrad sowie Höhenlage durchschnittlichen Nistkasten, fällt auf den 2. Juni. Bruten in Nistkästen in den Tieflagen der Südwestschweiz schlüpfen durchschnittlich 21 Tage früher als jene im Schaffhauser bzw. Thurgauer Hügelland (Abb. 15). Das Schlüpfdatum wird sowohl von der geografischen Breite und Länge als auch von der Höhenlage des Brutstandorts beeinflusst, wobei Bruten auf 450 m ü.M. rund eine Woche früher schlüpfen als solche auf 600 m ü.M. Zwischen 600 m ü.M. und den höchsten kontrollierten Turmfalkenbruten auf rund 1000 m ü.M. scheinen die Unterschiede im Schlüpfdatum allerdings nicht mehr zuzunehmen (Abb. 16), was angesichts der wenigen Daten aus diesen Höhenlagen allerdings noch zu überprüfen ist.

Das mittlere Schlüpfdatum lag im frühesten Jahr (2011) mit dem 26. Mai elf Tage früher als im zweit-spätesten Jahr (2009), als es auf den 6. Juni fiel. Im Extremjahr 2013 lag dieses Datum wegen miserabler Wetterverhältnisse im Mai noch einmal acht Tage später (14. Juni), dies sind zwölf Tage nach dem über alle Jahre gemittelten Durchschnittswert (Abb. 17).

Das geschätzte früheste Schlüpfdatum vom 13. April bezieht sich auf je eine Brut in Combremont-le-Grand VD, wo ein Jungvogel einer Fünferbrut den Nistkasten gemäss J. Jeanmonod bereits am 18. Mai 2014 verliess, und in Glattfelden ZH, wo R. Sand die letzte Kontrolle der fast flüggen Jungen im Nistkasten am 16. Mai 2014 durchführte.

Den spätesten Schlüpftermin vom 28.–29. Juli teilen sich ebenfalls zwei Bruten: Die eine stammt aus Montagny-la-Ville FR, wo J. Jeanmonod am 26. August 2016 fünf etwa 29 Tage alte Jungvögel beringte, die andere aus Rovray VD, wo L. Strehler am 19. August 2017 vier Küken markierte.

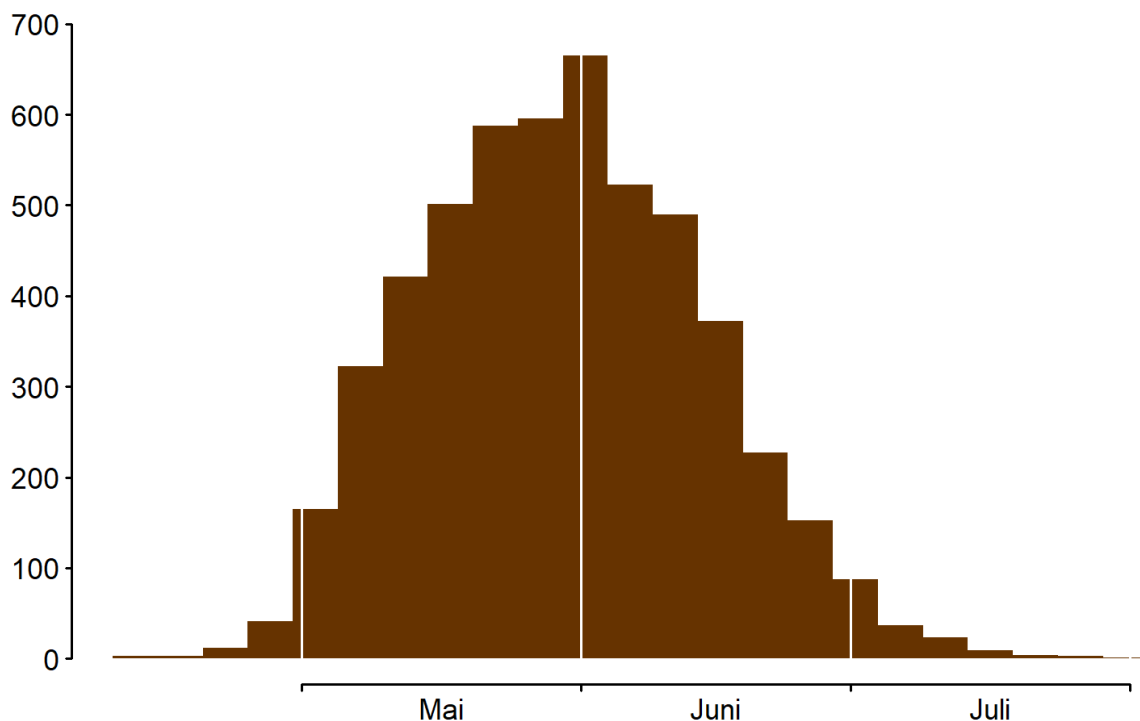


Abb. 14. Verteilung der beobachteten Turmfalken-Schlüpfdaten.

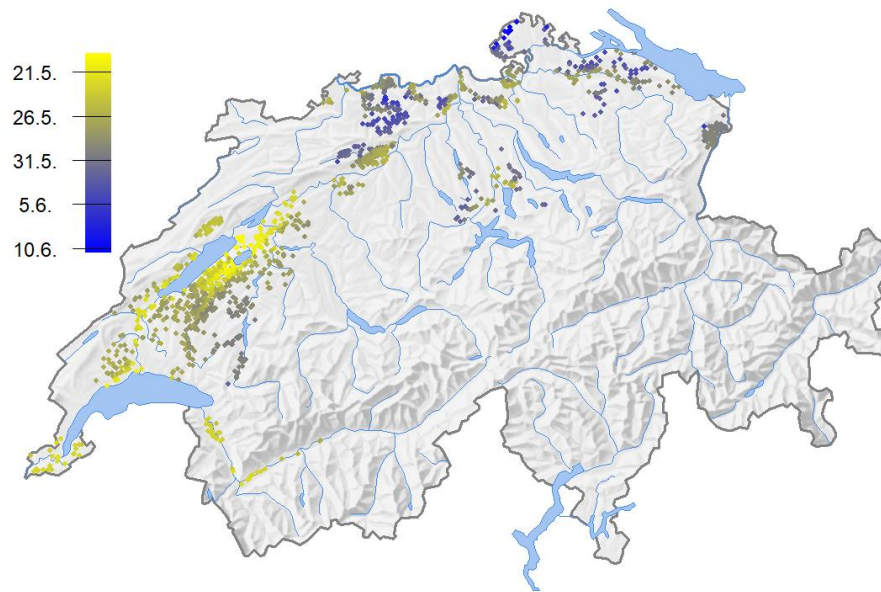


Abb. 15. Räumliche Verteilung der mittleren Turmfalken-Schlüpfdaten unter Berücksichtigung der geographischen Länge und Breite sowie der Höhenlage. Hintergrundkarte: © Swisstopo.

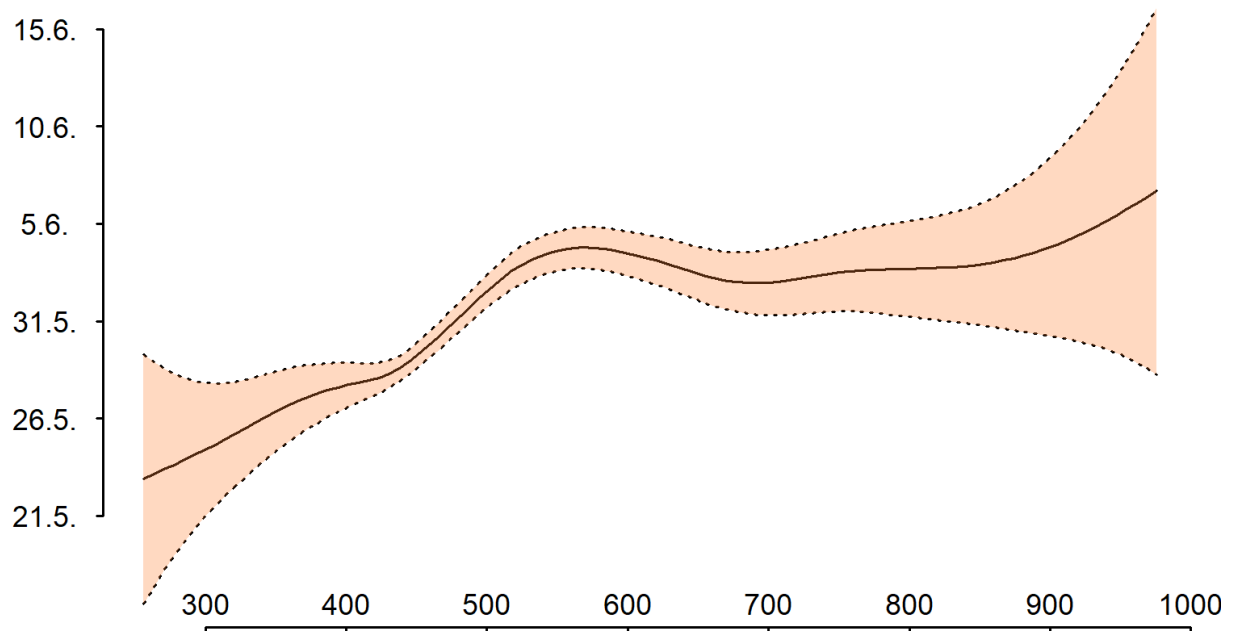


Abb. 16. Beziehung zwischen dem Schlüpfdatum (Y-Achse) und der Höhe über Meer (X-Achse) für den Turmfalke. Die Einflüsse von geografischer Länge und Breite sind im Modell berücksichtigt.

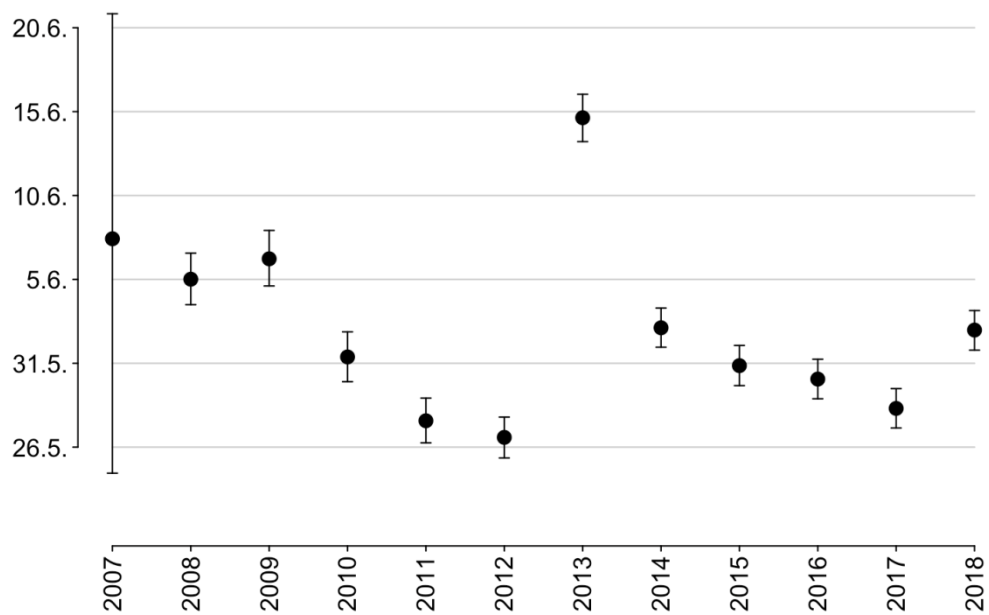


Abb. 17. Schätzwerte für das mittlere jährliche Schlüpfdatum an einem virtuellen durchschnittlichen Brutplatz.

3.2.2 Schleiereule

Die meisten Bruten schlüpfen zwischen Ende April und Anfang Mai. Danach nimmt ihre Zahl rasch ab; die letzten Küken schlüpfen Anfang September (Abb. 18). Deshalb ist es schwierig, späte Erstbruten von Ersatz- oder Zweitgelegen zu unterscheiden. Der geschätzte früheste Schlüpftermin fiel auf den 15. März. Diese Brut wurde am 4. April 2016 in Corcelles-près-Payerne VD von Mitarbeitern der Universität Lausanne beringt; das älteste Küken war damals rund 20 Tage alt. Der späteste Schlüpftermin lag um den 11. September; M. Buchs beringte diesen etwa 58 Tage alten Jungvogel am 8. November 2011 in Honau LU.

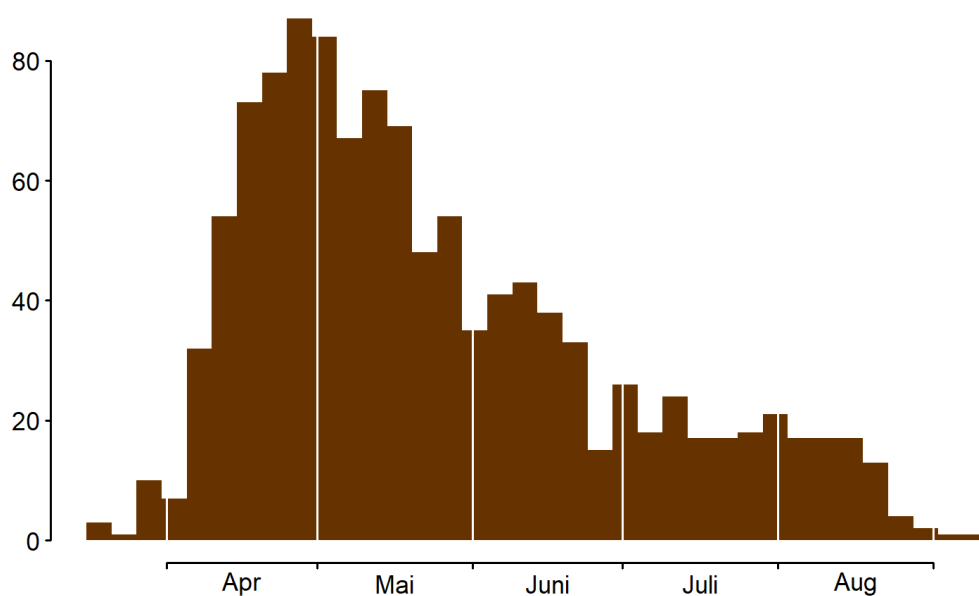


Abb. 18. Verteilung der beobachteten Schleiereulen-Schlüpftermine.

3.3 Gelegegrösse, Produktivität und Bruterfolg

3.3.1 Turmfalke

Turmfalkegelege bestehen meist aus 3–6 Eiern; 7 oder 8 Eier kommen nur gelegentlich vor. Ist die Eizahl noch höher, handelt es sich vermutlich um zwei Gelege (Abb. 19). Bruten mit nur 1–2 Eiern oder Küken stammen oft aus unvollständigen oder verlassenen Gelegen oder aus Nistkästen, bei denen wegen später Kontrollen Verluste nicht entdeckt worden sind. Die mittlere Gelegegrösse schwankt je nach Jahr zwischen 3,87 (2013) und 5,04 (2007). Über die gesamte Projektdauer liegt dieser Wert bei 4,55 (Abb. 20).

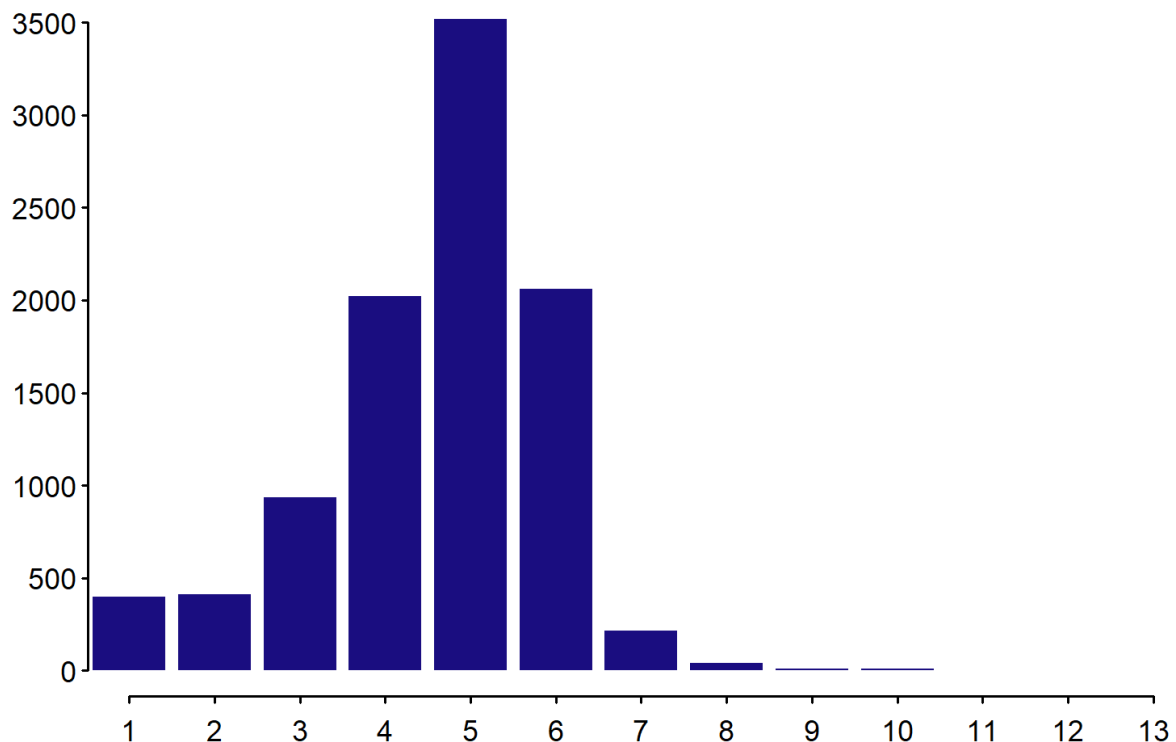


Abb. 19. Verteilung der beobachteten Gelegegrösse beim Turmfalke. Zur Interpretation der Extremwerte siehe die Bemerkungen im Text.

Verluste zwischen der Eiablage und der Beringung der Küken kommen bei Turmfalken oft vor. Die mittlere Produktivität pro Brut liegt zwischen 2,73 in 2013 und 4,26 in 2011. Die Verluste pro Brut betragen zwischen 0,38 in 2011 und 1,28 Eier bzw. Küken in 2007 (Abb. 20). In den Jahren vor 2007 wurden teils höhere Verluste ermittelt, welche sich durch die spärlicheren Daten und die etwas abweichende Erhebungsmethode erklären lassen. Ab dem Jahr 2008 liegt der jährliche Bruterfolg relativ konstant auf hohem Niveau und schwankt bei etwa 91,8 %. Lässt man die Anfangsjahre des Projektes unberücksichtigt, liegen die Extremwerte beim Bruterfolg zwischen 86,7 % in 2013 und 94,7 % in 2011 und 2012 (Abb. 21). Ein zeitlicher Trend in der Entwicklung des Bruterfolgs ist nicht auszumachen.

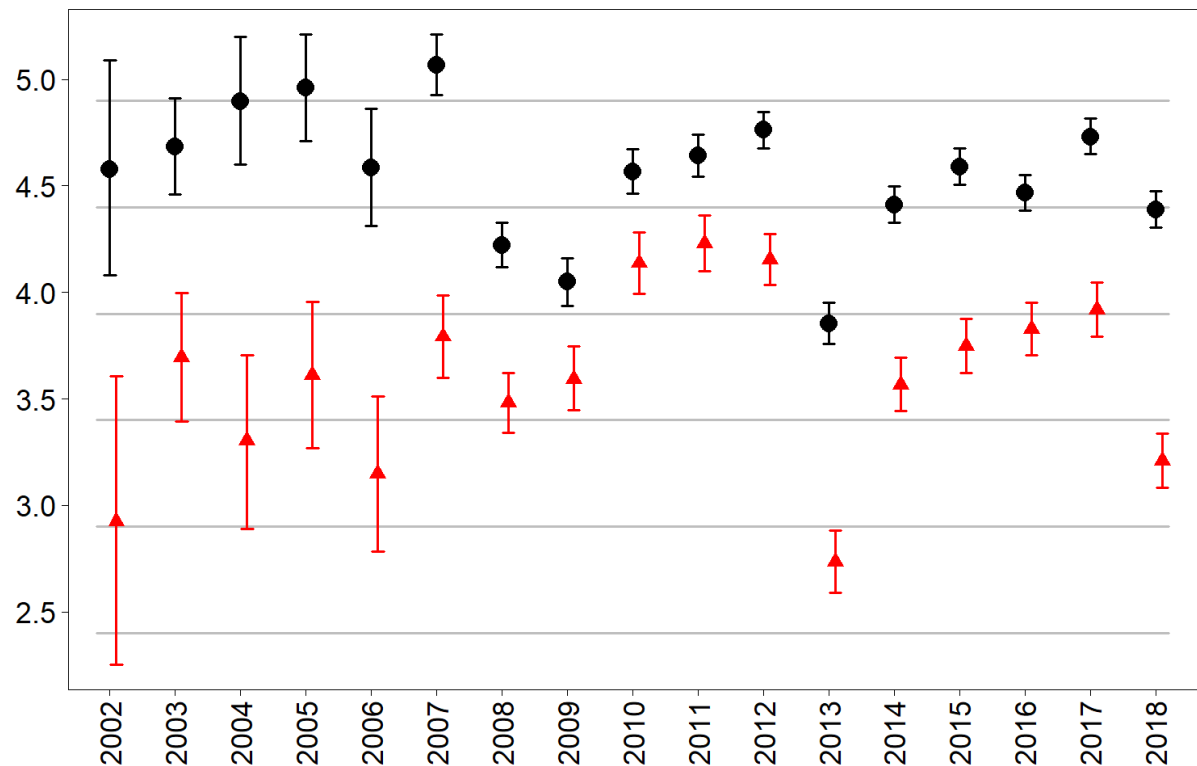


Abb. 20. Mittlere Gelegegrösse (schwarze Punkte) und Produktivität (Zahl der Küken im beringungsfähigen Alter; rote Dreiecke) pro Jahr beim Turmfalke.

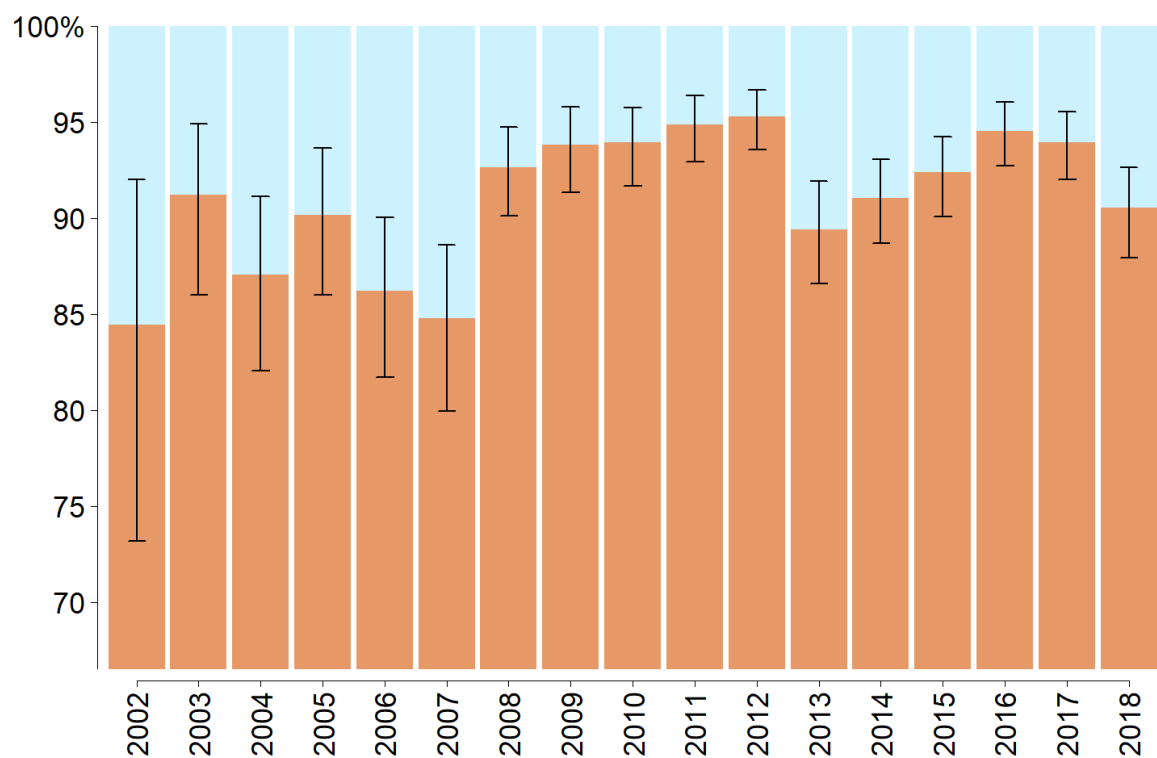


Abb. 21. Bruterfolg inkl. Standardabweichung beim Turmfalke.

3.3.2 Schleiereule

Ein Schleiereulengelege umfasst in der Regel 4–7 Eier. Gelege mit mehr als 10 Eiern gehören vermutlich zu zwei Bruten, etwa zu einer Erstbrut mit sterilen Eiern und einer anschliessenden Ersatzbrut (Abb. 22). Bruten mit nur 1–2 Eiern oder Küken stammen oft aus unvollständigen, verlassenen Gelegen oder aus Nistkästen, bei denen wegen später Kontrollen Verluste nicht entdeckt worden sind.

Die modellierte mittlere Gelegegrösse pro Jahr liegt zwischen 4,50 (2008) und 6,17 (2007), ihr Mittelwert über alle Jahre hinweg bei 5,28 (Abb. 23).

Die Verluste zwischen der Eiablage und der Beringung der Küken sind bei der Schleiereule eher gering. Lässt man die Jahre vor 2008 wegen der ungenügenden Datenlage weg, erreichte die mittlere jährliche Produktivität Werte zwischen 3,67 (2018) und 5,30 (2010). Die Verluste lagen bei 0,13 (2010) bis 1,10 (2018) Eiern oder Küken pro Brut.

Der in den Anfangsjahren 2002 bis 2007 festgestellte, relativ niedrige Bruterfolg basierte auf einer geringeren Zahl kontrollierter Nistkästen und ist möglicherweise auch durch die damals leicht abweichende Überwachungsmethode beeinflusst.

Zwischen 2008 und 2018 lag der mittlere Bruterfolgs bei 95,1 %. Nachdem 2010 das Maximum von 97,9 % erreicht worden war, sind die Werte seither leicht gesunken bis auf 90,6 % im Jahr 2018 (Abb. 24).

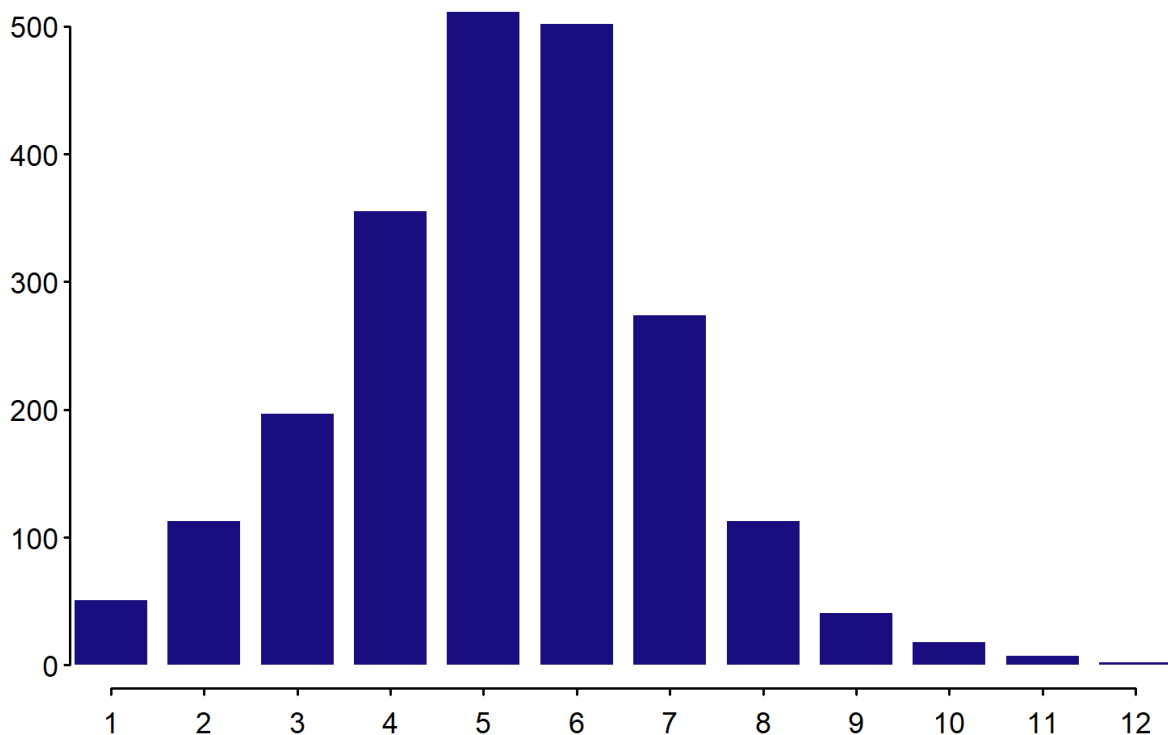


Abb. 22. Anzahl der beobachteten Gelegegrössen (x-Achse) bei der Schleiereule. Zur Interpretation der Extremwerte siehe die Bemerkungen im Text.

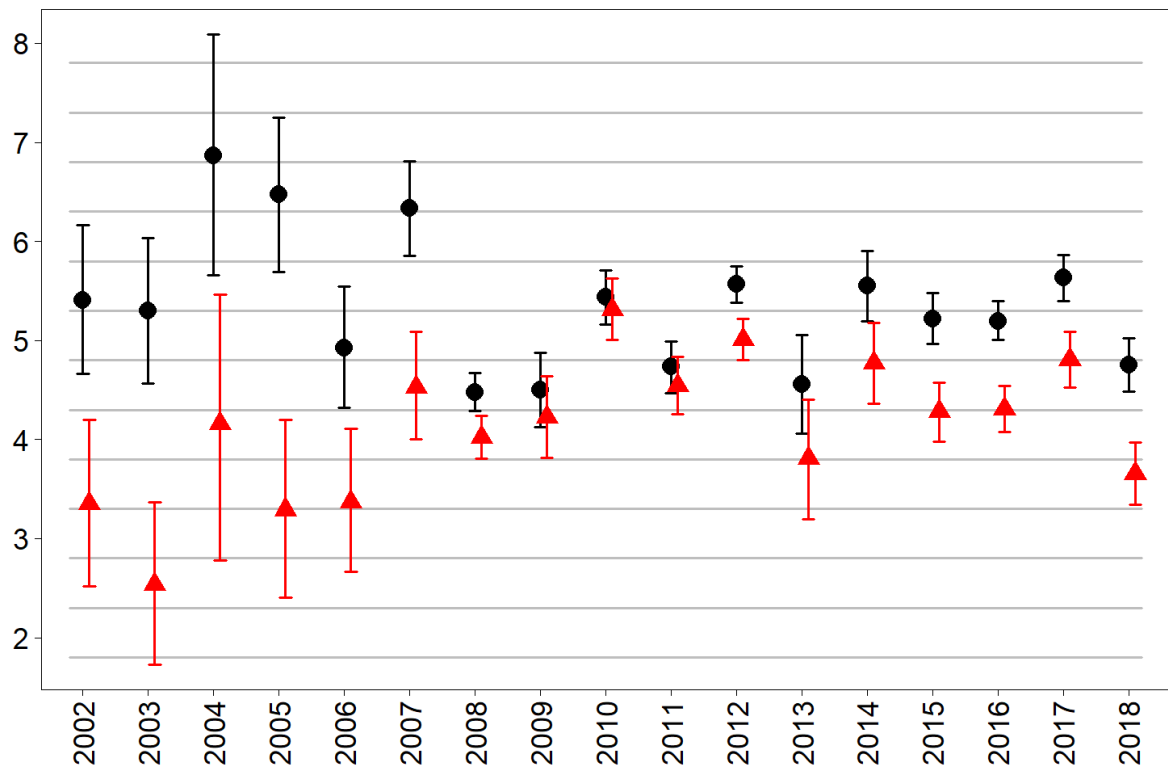


Abb. 23. Mittlere Gelegegrösse (schwarze Punkte) und Produktivität (Zahl der Küken im beringungsfähigen Alter; rote Dreiecke) pro Jahr bei der Schleiereule.

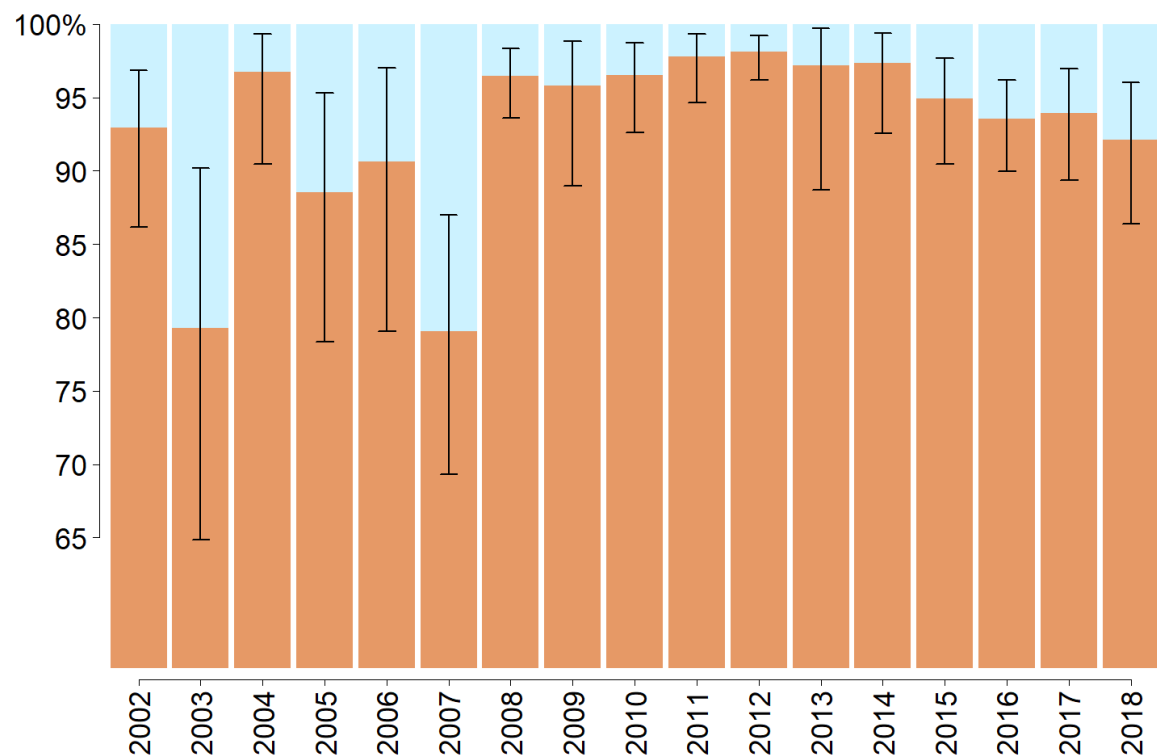


Abb. 24. Bruterfolg (orange) inkl. Standardabweichung bei der Schleiereule.

3.4 Populationsdynamik beim Turmfalke

Die in diesem Kapitel beschriebenen Resultate stammen aus zwei Publikationen (Fay et al. 2019, Fay et al. 2020a).

Tab. 1. Schätzung der jährlichen Mittelwerte und Varianzen der verschiedenen demographischen Parameter für die Jahre 2002–2016. Die Werte in Klammern bezeichnen die 95 %-Unsicherheitsintervalle.

Demographische Parameter	Mittelwert	Varianz
Überlebensrate der Altvögel	0,72 (0,69, 0,76)	0,15 (0,01, 0,37)
Überlebensrate der Jungvögel	0,49 (0,45, 0,54)	0,11 (0,01, 0,30)
Bruterfolgsrate	0,88 (0,87, 0,90)	0,24 (0,09, 0,44)
Produktivität pro erfolgreiche Brut	4,20 (3,99, 4,41)	0,38 (0,25, 0,59)
Differenz aus Zu- und Abwanderung	-0,38 (-0,49, -0,27)	0,08 (0,00, 0,18)
Jährliches Populationswachstum	1,07 (1,05, 1,08)	–

3.4.1 Beitrag der Nistkästen zur Bestandsentwicklung

Die geschätzte mittlere jährliche Überlebensrate beträgt bei Altvögeln 72 % (95 % Unsicherheitsintervall: 69–76 %) und bei Vögeln im ersten Lebensjahr 49 % (45–54 %) (Tab. 1, Abb. 25 oben).

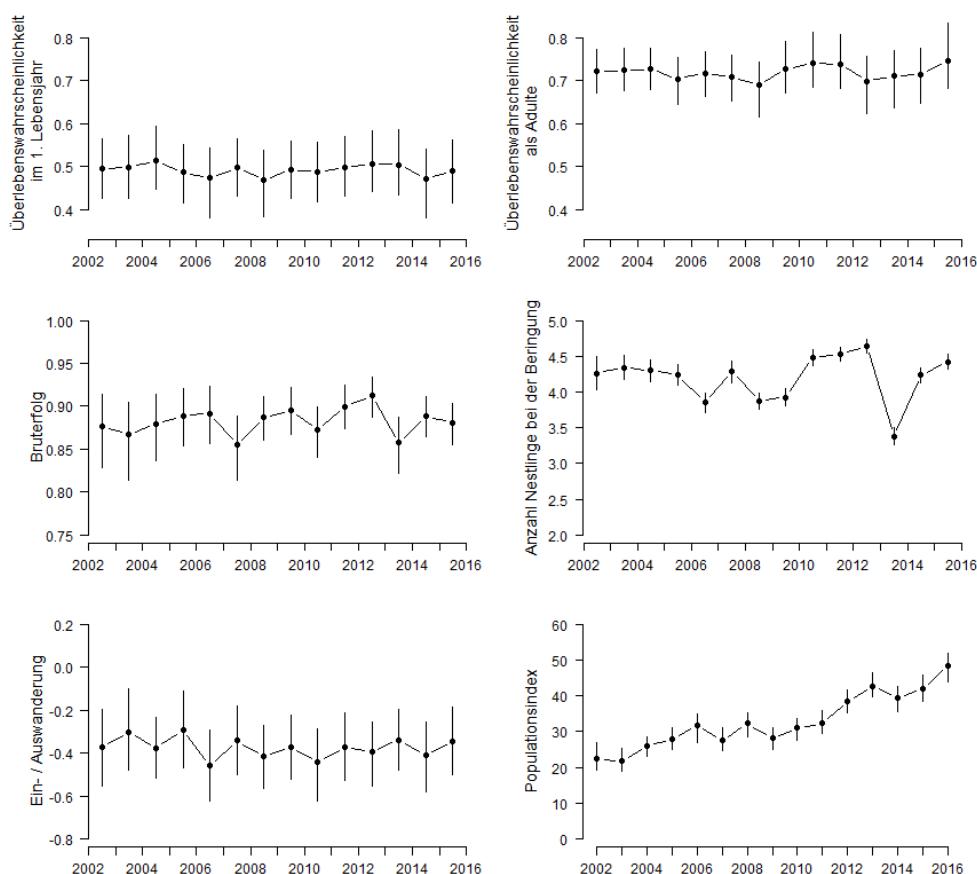


Abb. 25. Jährliche Schätzwerte der verschiedenen demographischen Parameter aus den integrierten Populationsmodellen aus Fay et al. (2019). Der Bruterfolg und die Anzahl Nestlinge bei Beringung (Produktivität) weichen aufgrund einer unterschiedlichen Datenselektion leicht von jenen im Kapitel 3.3 ab.

Das Modell zeigt, dass die Netto-Migration, also die Differenz zwischen Zu- und Abwanderung negativ ausfällt (Abb. 25, erste Spalte unten). Die Anzahl der im Projektgebiet aufgezogenen Jungvögel, die abwandern und sich ausserhalb der überwachten Regionen ansiedeln, ist also grösser als jene der Vögel, die den umgekehrten Weg nehmen und einwandern. Tierbestände, die mehr Individuen in fortpflanzungsfähigem Alter produzieren als sie benötigen, nennt man Source-Populationen, das Gegenteil davon sind Sink-Populationen. Ringfunde belegen, dass die Jungvögel bis zu mehrere hundert Kilometer weit abwandern. Von den überschüssigen Jungvögeln des Untersuchungsgebietes profitieren also auch die benachbarten Bestände (Abb. 26).

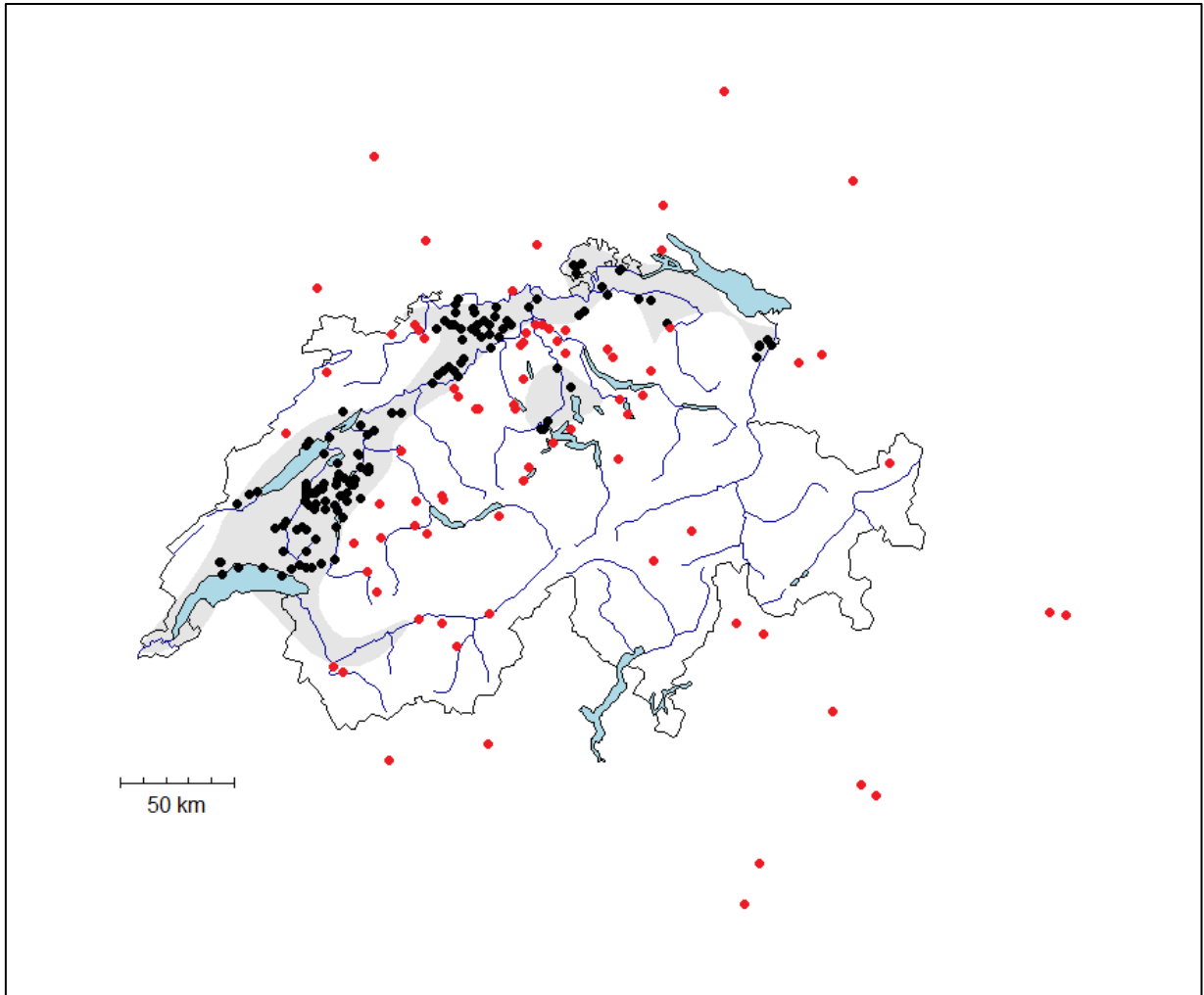


Abb. 26. Ringfunde von als Nestling beringten und als Altvögel zur Brutzeit (1. April–15. August) wieder gefundenen Turmfalken aus Fay et al. (2019). Schwarze Punkte markieren Fundorte innerhalb, rote ausserhalb der Projektgebiete.

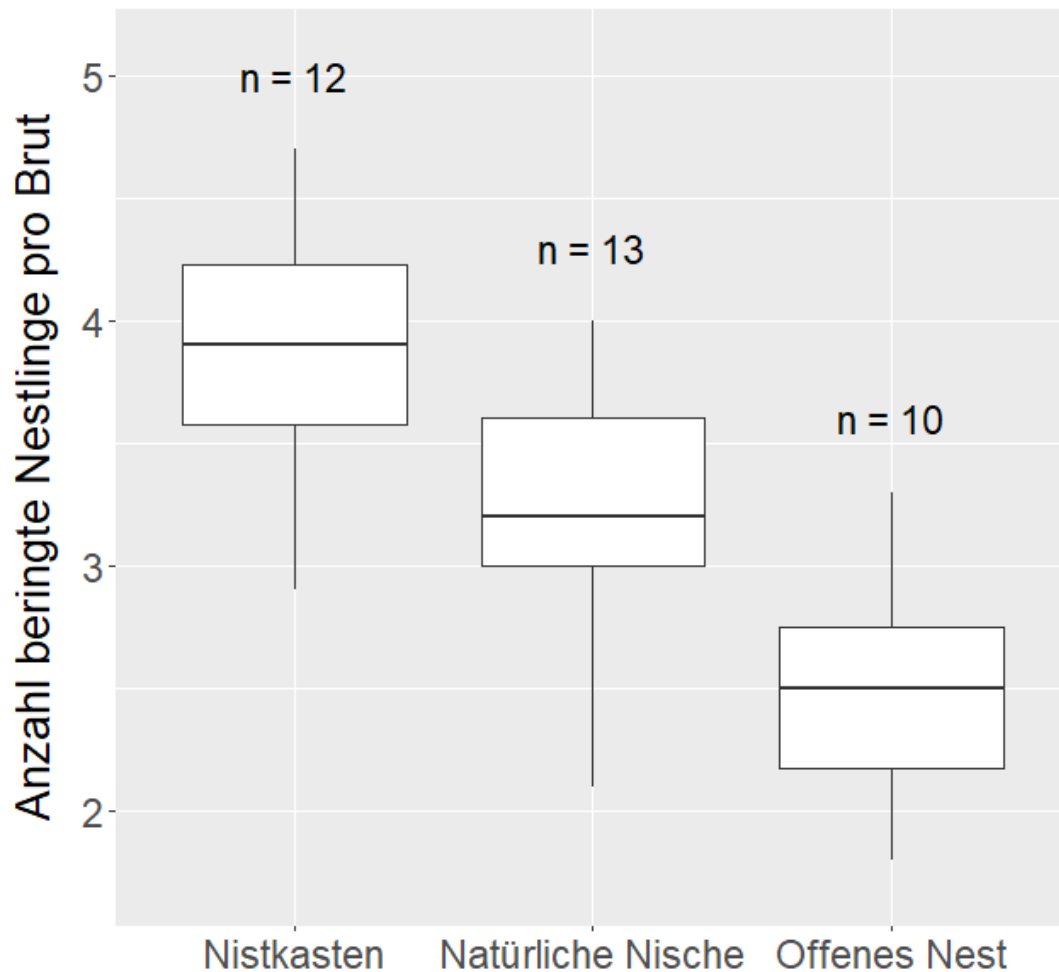


Abb. 27. Anzahl der pro Brut ausgeflogenen jungen Turmfalken in Abhängigkeit vom Brutplatztyp. Die Werte stammen aus publizierten Studien, deren Anzahl pro Kategorie unter n angegeben ist; aus Fay et al. (2019).

Eine Literaturanalyse hat ergeben, dass der Bruterfolg in Nistkästen am höchsten ist. In natürlichen Höhlen/Nischen und vor allem in Offennestern liegt er signifikant tiefer (Abb. 27). Da die Gelegegrößen an allen Brutplatztypen recht ähnlich sind, entstehen die Unterschiede in der Produktivität durch unterschiedliche Schlüpf- und Überlebensraten der Küken. Müsste sich die Turmfalkenpopulation ausschliesslich in Offennestern fortpflanzen, käme gemäss einer Simulation mit Hilfe des integrierten Populationsmodells kein Nachwuchsüberschuss mehr zustande, und bei Brutplätzen in natürlichen Höhlen/Nischen wäre dieser ebenfalls geringer (Fay et al. 2019).

Die jährlichen Bestandsschwankungen ergeben sich vor allem durch Unterschiede in der Produktivität in den einzelnen Jahren. Demnach hängt auch das Populationswachstum in erster Linie vom Bruterfolg ab, aber auch die Bilanz aus Zu- und Abwanderung von Jungvögeln scheint einen starken Einfluss auf die Bestandsveränderungen zu haben.

3.4.2 Beziehungen zwischen demographischen Parametern

Jungvögel, die in einer produktiven Brutsaison aufgewachsen sind, haben im ersten Lebensjahr im Mittel bessere Überlebenschancen als Jungvögel aus Jahren mit tiefer Produktivität. Auch Altvögel profitieren nach gutem Bruterfolg von einer leicht erhöhten Überlebensrate, auch wenn diese Beziehung weniger deutlich ist als bei den Jungvögeln (Abb. 28).

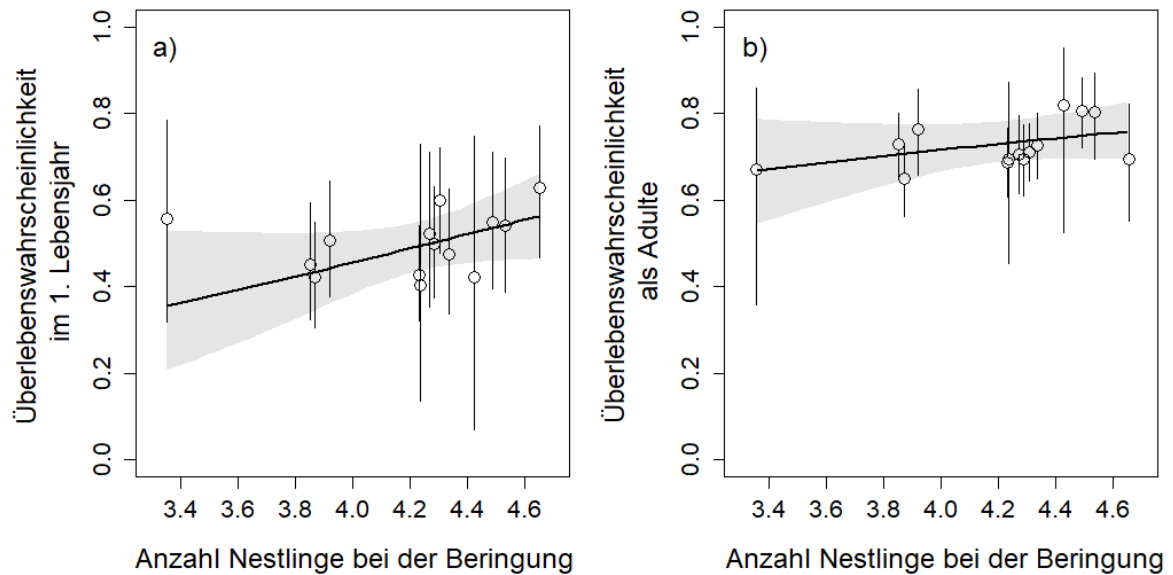


Abb. 28. Zusammenhang zwischen dem Bruterfolg und der Überlebensrate von Jung- (links) und Altvögeln (rechts). Aus Fay et al. (2020a).

3.5 Synchronität der Produktivität als Indikator für das Beuteangebot

Die hier zusammengestellten Ergebnisse stammen aus Fay et al. (2020b).

Der Wühlmausanteil in den Beuteresten erklärt 86 % der jahrgangsbedingten Unterschiede in der Produktivität beim Turmfalken. In Jahren, in denen Wühlmäuse in weniger als 50 % der Reste vorkommen, erreichen pro Brut durchschnittlich nur 3,5–4 Jungvögel das beringungsfähige Alter, in Jahren mit einem Anteil von mehr als 50 % sind es 4,5–5 (Abb. 29).

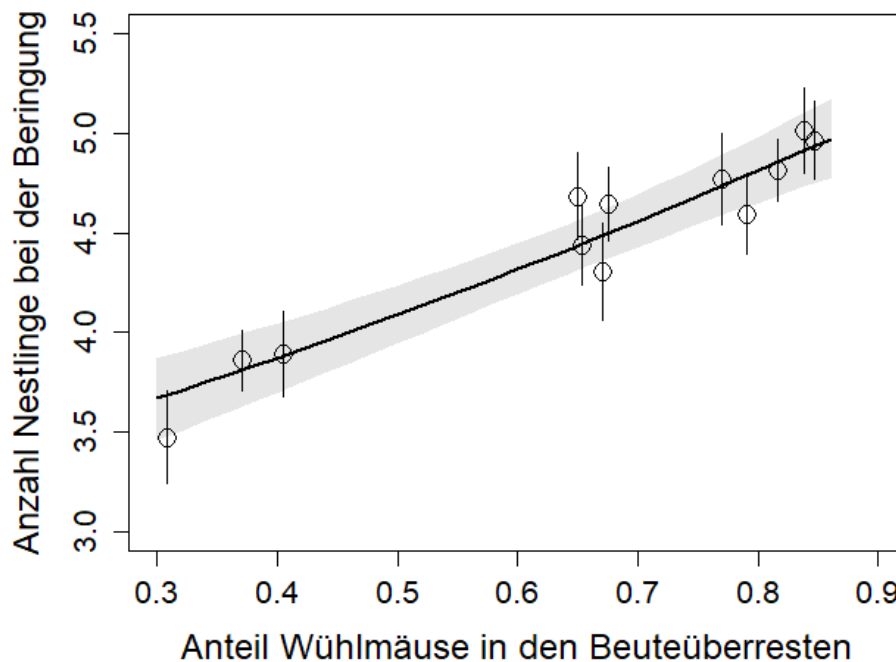


Abb. 29. Beziehung zwischen dem Wühlmausanteil in den Beuteresten und dem Bruterfolg des Turmfalken. Aus Fay et al. (2020b)

Wir testeten ebenfalls, wie stark die Produktivität räumlich synchron verläuft und bis zu welchen Distanzen. Innerhalb eines Jahres haben Bruten bis zu einer Distanz von 150 km eine ähnliche Produktivität, dass heisst die Produktivität ist räumlich positiv korreliert. Bei 200 km Distanz ist diese Synchronität noch halb so stark und verschwindet bei ca. 300 km (Abb. 30). Dies ist auch die maximale Distanz zwischen Nistkästen aus den Projektgebieten des koordinierten Programms. Da die Produktivität ja auch das Nahrungsangebot an Wühlmäusen widerspiegelt, lässt sich daraus ableiten, dass die Wühlmausbestände grossräumig synchron fluktuieren, was vor allem mit klimatischen Einflüssen zusammenhängen dürfte.

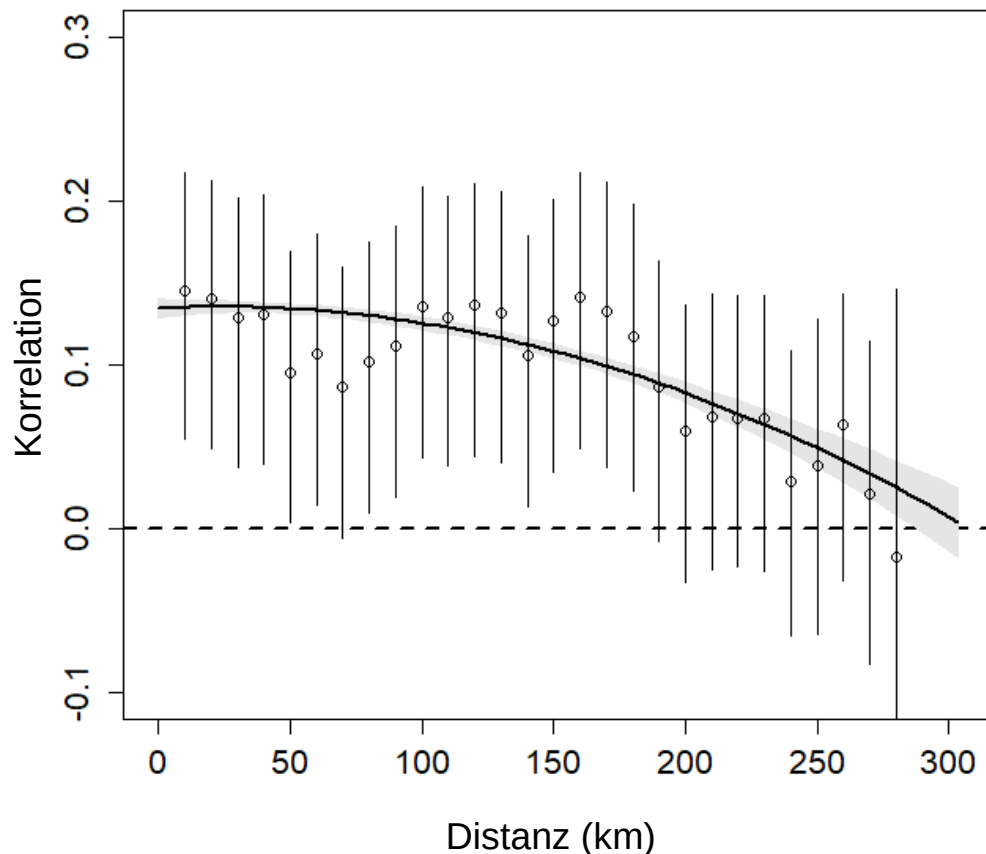


Abb. 30. Die jährliche Produktivität von Turmfalkenbruten ist bis zu einer Distanz von 300 km positiv räumlich korreliert (fette Linie). Die Kreissymbole sind Schätzwerte pro 10 km. Die vertikalen Linien und die graue Fläche zeigen den Unsicherheitsintervall an (Fay et al. 2020b).

4. Diskussion

Das von freiwilligen Vogelwarte-Mitarbeitenden durchgeführte Populationsmonitoring Turmfalke/Schleiereule dient vor allem der Bestandsüberwachung und dem Schutz der beiden Arten. Die Analyse der Turmfalkendaten hat die grosse Bedeutung der in Nistkästen brütenden Teilpopulation für die positive Bestandsentwicklung in der Schweiz belegt. Der grosse Aufwand der Freiwilligen hat sich gelohnt, denn ihre systematisch erhobenen Daten haben dazu beigetragen, die Mechanismen hinter der Populationsdynamik besser zu verstehen.

4.1 Turmfalke

4.1.1 Gründe für die positive Bestandsentwicklung

Angesichts des stark gestiegenen Angebots an Nistkästen ist die leichte, aber langfristige Zunahme der Besetzungsrate bemerkenswert (Abb. 10). Dies deutet darauf hin, dass die Brutbestände in den Projektgebieten die umweltbedingte Kapazitätsgrenze noch nicht erreicht haben. Der Index aus dem Monitoring Häufige Brutvögel ergibt eine Verdoppelung der Bestände seit dem Jahr 2000 (Abb. 31) und bestätigt damit den beim Integrierten Monitoring nachgewiesenen Aufschwung.

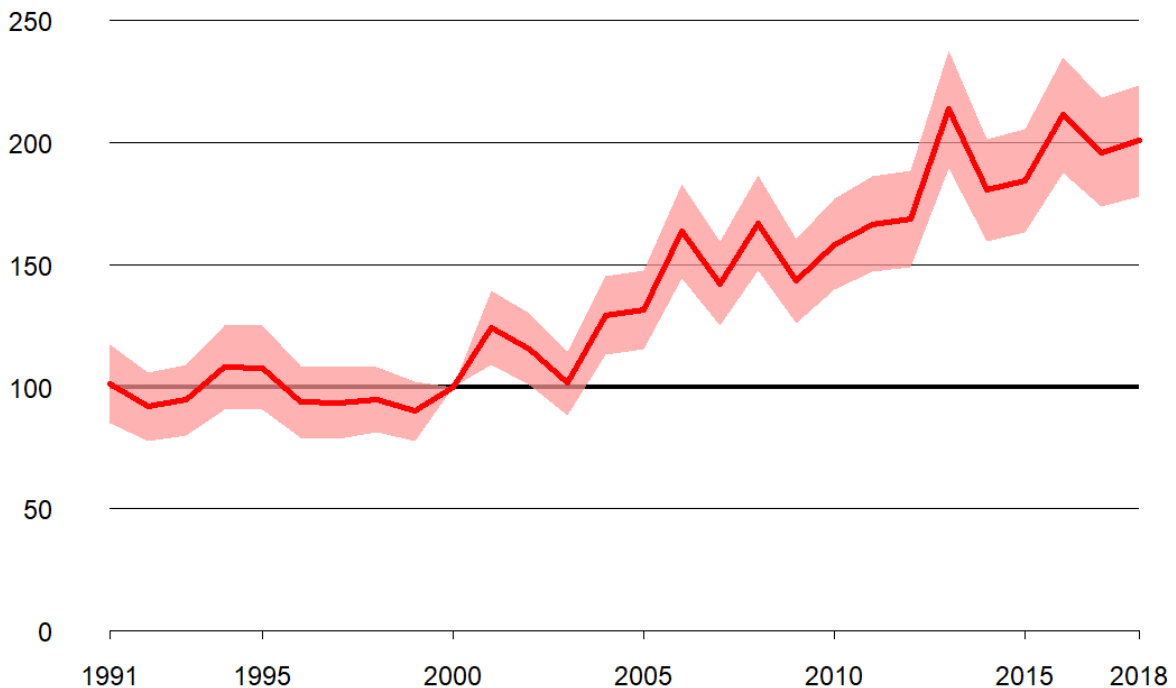


Abb. 31. Bestandsindex des Turmfalken; aus Schmid et al. (2018).

Nach einer jahrzehntelangen Periode des Niedergangs (Schmid 1990) hat der massive Wiederaufschwung Ende der Neunzigerjahre, lokal bereits Ende der Achtzigerjahre eingesetzt. Drei mögliche Ursachen könnten diese Trendwende ausgelöst haben: 1. Änderungen bei der Landbewirtschaftung haben sich positiv auf das Beuteangebot bzw. die Beuteverfügbarkeit ausgewirkt; 2. mildere Winter haben für eine geringere Sterblichkeit gesorgt; 3. dank eines besseren Brutplatzangebotes in qualitativer oder quantitativer Hinsicht ist der Bruterfolg gestiegen.

Die **Landbewirtschaftung** hat sich seit den Achtzigerjahren eher intensiviert. Andererseits hat die Einführung von Direktzahlungen für ökologische Leistungen, seit 1993 auf freiwilliger (Harder 1998, Aviron et al. 2009) und seit 1998 auf obligatorischer Basis (Widmer 1998) dazu geführt, dass die Anzahl von extensiv oder wenig intensiv bewirtschafteten Flächen zugenommen hat (König 2019).

Die Wichtigkeit des verfügbaren Wühlmausangebotes zeigt sich im Bruterfolg des Turmfalken in der Schweiz. Vermutet wurde, dass eine Abnahme dieser Beutetiere ein Grund für den Rückgang der Turmfalkenpopulation in der Schweiz (Aschwanden et al. 2005) und europaweit (Hagemeyer & Blair 1997) hätte sein können. Die in der Broyeebene durchgeführte Turmfalkenstudie hat einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Zahl der Jungvögel bei der Beringung und dem Anteil der Wühlmäuse in den im Nistkasten gefundenen Beuteresten belegt (Fay et al. 2020b; Abb. 29). Menge und Verfüg-

barkeit der Wühlmäuse beeinflussen nicht nur den Bruterfolg, sondern offenbar auch die Überlebensbedingungen für Jung- und Altvögel. Das Beuteangebot sorgt also für grosse Unterschiede zwischen guten und schlechten Jahren, weil es die beiden wichtigen Faktoren steuert, die die Zahl der potenziellen Erstbrüter bestimmen, nämlich den Bruterfolg und die Überlebensraten im ersten Lebensjahr. Beide schwanken in ähnlicher Weise und kumulieren damit ihre Wirkung (Fay et al. 2020a).

In den ersten Wochen nach dem Ausfliegen könnten die Jungvögel stark vom Angebot an wirbellosen Tieren abhängig sein, die einfacher zu erbeuten sind als Kleinsäuger. Bei den Insekten scheint die Biomasse im Allgemeinen stark abzunehmen. Verschiedene grosse Heuschreckenarten, vor allem das Grüne Heupferd *Tettigonia viridissima* und die Zwitscherschrecke *T. cantans*, breiten sich in den letzten 20 Jahren allerdings aus (Datenbank Info-Fauna; C. Monnerat, pers. Mitt.) oder nehmen zumindest lokal im Bestand zu (Artmann-Graf 2017), wobei die Gründe für diese Zunahme unklar sind. Überreste dieser beiden grossen Insektenarten finden sich in der Broyeebene regelmässig in den nachgewiesenen Beuteresten (J. Jeanmonod, pers. Mitt.).

Nach **harten Wintern** erleiden Turmfalken zumindest kurzfristig starke Verluste (Kaesler & Schmid 1989). Insbesondere aus dem Kanton Luzern zeigen Daten, dass die Schneebedeckung im Winter in den letzten 30 Jahren weniger ausgeprägt war als in den Jahrzehnten davor. (Abb. 32). Diese strengen Winter könnten für die Turmfalken eine höhere Mortalität oder höhere energetische Ausgaben zur Folge gehabt haben. In den letzten 15 Jahren variierte die Überlebensrate der in Nistkästen brütenden Turmfalken allerdings nur geringfügig, und lag auch in Jahren mit relativ harten Wintern nicht wesentlich tiefer (Fay et al. 2019).

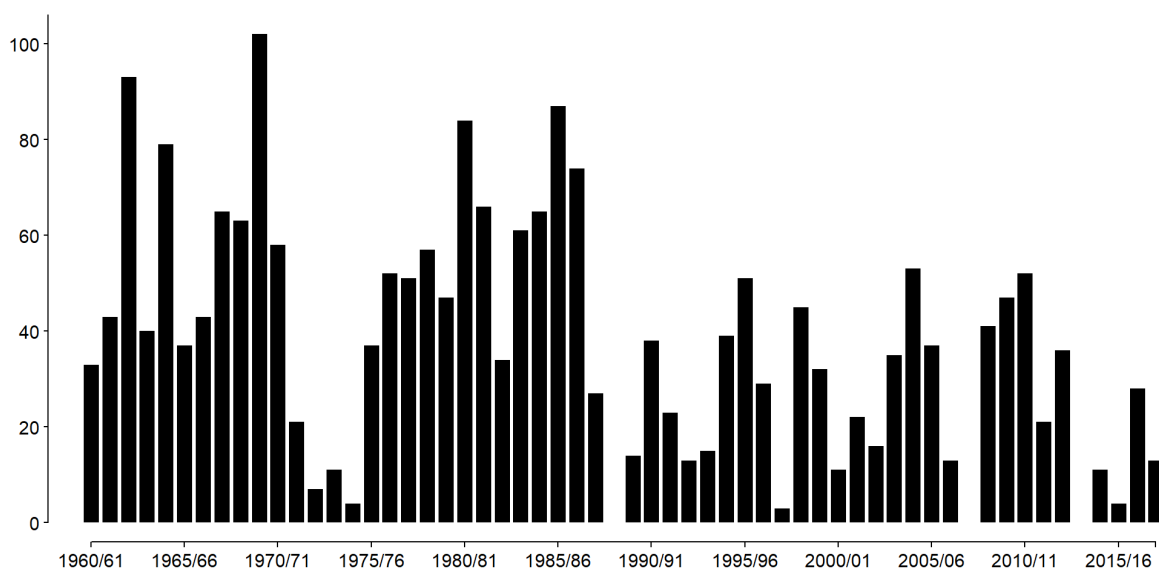


Abb. 32. Summe der Tage mit schneebedecktem Boden pro Winter in Luzern. In den Achtzigerjahren lag deren Mittelwert deutlich höher als in allen späteren Perioden. Quelle: MeteoSchweiz.

In den letzten beiden Atlasperioden 1993–1996 und 2013–2016 ist die Bestandszunahme des Turmfalken in den Projektregionen mit neu aufgebauten **Nistkastenparks** besonders stark ausgefallen (siehe Abb. 33 im Vergleich mit Abb. 3; Knaus et al. 2018). Die Ausnahme bilden Pioniergebiete wie die Broyeebene, wo die Vorkommenswahrscheinlichkeit schon in den Neunzigerjahren dank eines bereits damals gut etablierten Nistkastenparks nahe bei 100 % lag. Daher ist eine weitere Verdichtung der Bestände auf der Karte für diese Region nicht erkennbar, trotz einer Zunahme der in Nistkästen brütenden Paare von 85 in 1995 auf 165 in 2016.

Nistkästen für Turmfalken in der Schweiz wurden erstmals in den Fünfzigerjahren erwähnt. Der Aufbau von Nistkastenparks, die das Brutplatzangebot in grösserem Umfang beeinflussen, setzte dagegen erst in den Achtzigerjahren ein und führte in den betroffenen Gebieten zu einem Anstieg des Brutbestands (Schmid 1990). Die Situation in der Brojeebene vor dem intensiven Einsatz von Nistkästen beschreibt sehr gut, mit welchen Schwierigkeiten die Turmfalken damals konfrontiert waren: Die Wetterbedingungen im Jahr 1981 waren schlecht, alle sechs Bruten in Offennestern scheiterten, während von den fünf erfolgreichen Bruten immerhin vier in Nistkästen stattfanden (Jeanmonod & Broch 2001). 1985 wurden im Gebiet nur elf Brutpaare registriert. Zehn Jahre später hatte sich der Bestand als Folge der Anbringung von 140 Turmfalken- und 100 Schleiereulen-Nistkästen nahezu verzehnfacht (Jeanmonod & Broch 2001). Zu dieser Zeit befanden sich die Brutpaarzahlen in weiten Teilen der Schweiz und Mitteleuropas nach einem mindestens zwei Jahrzehnte dauernden Rückgang auf einem Tiefpunkt. Der gesamtschweizerische Aufschwung des Turmfalken, der damals einsetzte, ist durch das Aufhängen von Nistkästen im praktisch gesamten Mittelland eindeutig unterstützt worden.

Veränderung des Vorkommens 1993–1996 vs. 2013–2016



Abb. 33. Veränderung der Vorkommenswahrscheinlichkeit des Turmfalken zwischen den Atlasperioden 1993–1996 und 2013–2016. Aus Knaus et al. (2018). Hintergrundkarte: © Swisstopo.

4.1.2 Höhenverbreitung

Das Populationsmonitoring des Turmfalken deckt vor allem das Mittelland ab, mittlere Höhenlagen sind weniger gut repräsentiert. Gemäss dem neuen Brutvogelatlas ist die Art dort aber auch nicht so häufig. So weisen weite Gebiete des Juras und der Voralpen nur geringe Dichten auf (Abb. 34), was auch in der Graphik zur Höhenverbreitung im Bereich zwischen 900 und 1500 m ü.M. zum Ausdruck kommt (Abb. 35). Die in dieser Zone vorkommenden ausgedehnten Waldflächen erklären die geringen Werte nicht überall.

Obwohl die Bestände dieser mittleren Lagen auch vom im Mittelland produzierten Überschuss an Erstbrütern profitiert haben dürften, ist die in den letzten zwanzig Jahren beobachtete Bestandszunahme hier geringer als in tief- oder hochgelegenen Gebieten. Die Dichteunterschiede haben sich zwischen 1993–1996 und 2013–2016 also noch verstärkt.

Die Gründe dafür sind nicht klar. In manchen Regionen könnte es am unzureichenden Brutplatzangebot liegen. Möglicherweise zeigen sich in den höheren Lagen allerdings auch klimabedingte Einschränkungen.

Warum sich das Schlüpfdatum ab einer Höhe von 600 m ü.M. für Brutpaare in Nistkästen im Jahresverlauf scheinbar nicht weiter nach hinten verschiebt (Abb. 16), können wir nicht erklären. Allerdings wird auch die Datenlage mit zunehmender Höhe dünner (Abb. 4). Die Bestandsüberwachung in Höhen zwischen 900 und 1500 m ü.M. sollte deshalb verstärkt werden, um die hier geltenden Mechanismen der Populationsdynamik besser zu verstehen und um allenfalls die Brutbedingungen verbessern zu können.

Vorkommen 2013–2016



Abb. 34. Vorkommenswahrscheinlichkeit des Turmfalken in der Schweiz in den Jahren 2013–2016. Aus Knaus et al. (2018). Hintergrundkarte: © Swisstopo.

Turmfalke

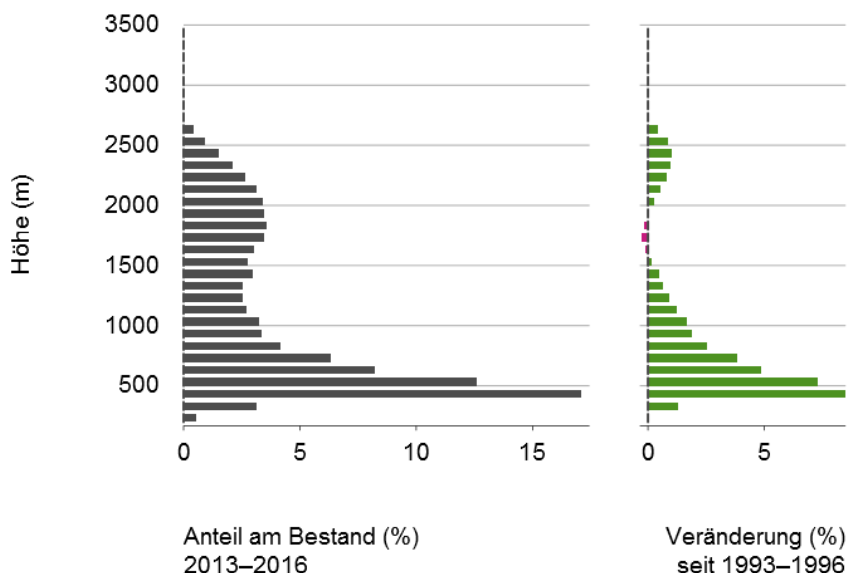


Abb. 35. Höhenverteilung der Turmfalkenbestände in der Schweiz in % des Gesamtbestands pro Höhenklasse in den Jahren 2013–2016 und Veränderung seit 1993–1996. Aus Knaus et al. (2018).

4.1.3 Fortpflanzung

In den Jahren 2016 und 2017 konnten die Turmfalken von guten Brutbedingungen profitieren. 2018 gab es durchschnittliche Gelegegrößen, aber anschliessend bedeutende Verluste. Die Zahl der Flügglinge war schliesslich die zweitschlechteste nach 2013, wenn wir die Anfangsjahre des Monitorings mit unvollständigen und deshalb schlecht vergleichbaren Datensätzen weglassen. Das Jahr 2013 war ausserdem durch sehr späte Schlüpftermine und eine überaus geringe Besatzungsrate gekennzeichnet. Diese dürfte nicht durch einen geringen Bestand an Altvögeln zustande gekommen sein, sondern durch den Verzicht vieler Altvögel auf eine Brut. Das passt auch zum hohen Bestandsindexwert für dieses Jahr aus dem Monitoring Häufige Brutvögel (Abb. 31). Dieser basiert auf der Kartierung von Einzeltieren zur Brutzeit, deren Brutstatus aber ungeklärt bleibt, so dass Nichtbrüter nicht von Brutvögeln unterschieden werden können.

Der schlechte Bruterfolg des Jahres 2013 kann weitgehend durch das Wettergeschehen erklärt werden: die Monate Mai und Juni waren überdurchschnittlich kalt und niederschlagsreich (Abb. 36). Das dürfte den Zugang zu Beutetieren erschwert haben, weil die Wiesen wegen des regnerischen Wetters über einen grossen Teil der Jungenaufzuchtperiode nicht gemäht werden konnten. Mit Wetterkapriolen lässt sich dagegen der mittelmässige Bruterfolg im Jahr 2018 kaum erklären, denn diese Brutsaison war ziemlich warm und trocken, trotz zweier Regenperioden Mitte Mai und Mitte Juni (Abb. 36). Vermutlich lag es am geringen Nahrungsangebot, denn 2013 und 2018 war der Wühlmausanteil in den Beuteresten, die in den Nistkästen der Broyeebene gefunden worden sind, so niedrig wie sonst nie in der analysierten Periode (Fay et al. 2020b, Supplementary Material).

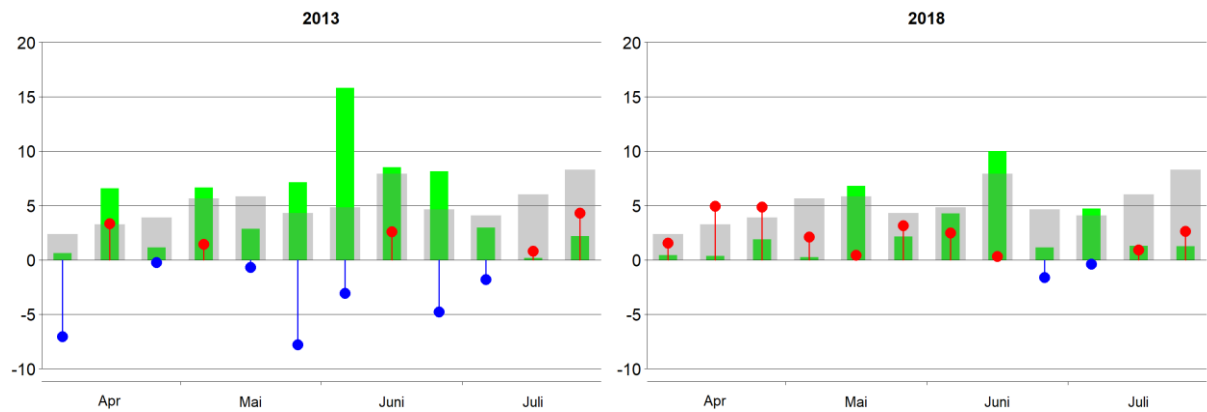


Abb. 36. Niederschläge und Temperaturen der Messstation St. Gallen für die mit Zahlen angegebenen Monate April bis Juli der Jahre 2013 und 2018. Die grauen Säulen entsprechen den Niederschlags-Mittelwerten pro Dekade der Periode 2000–2018, die grünen Säulen denjenigen des entsprechenden Jahres (2013 resp. 2018). Die roten und blauen Linien zeigen die Differenz zwischen den Temperatur-Mittelwerten der entsprechende Jahre (2013 resp. 2018) und jenen der Dekade für die Periode 2000–2018. Quelle: MeteoSchweiz.

4.2 Schleiereule

Die Nistkastenparks des Monitoringprojekts decken das Verbreitungsgebiet der Schleiereule gemäss der Darstellung im neuen Brutvogelatlas weitgehend ab (Abb. 37, im Vergleich mit Abb. 3; Knaus et al. 2018).

Vorkommen 2013–2016

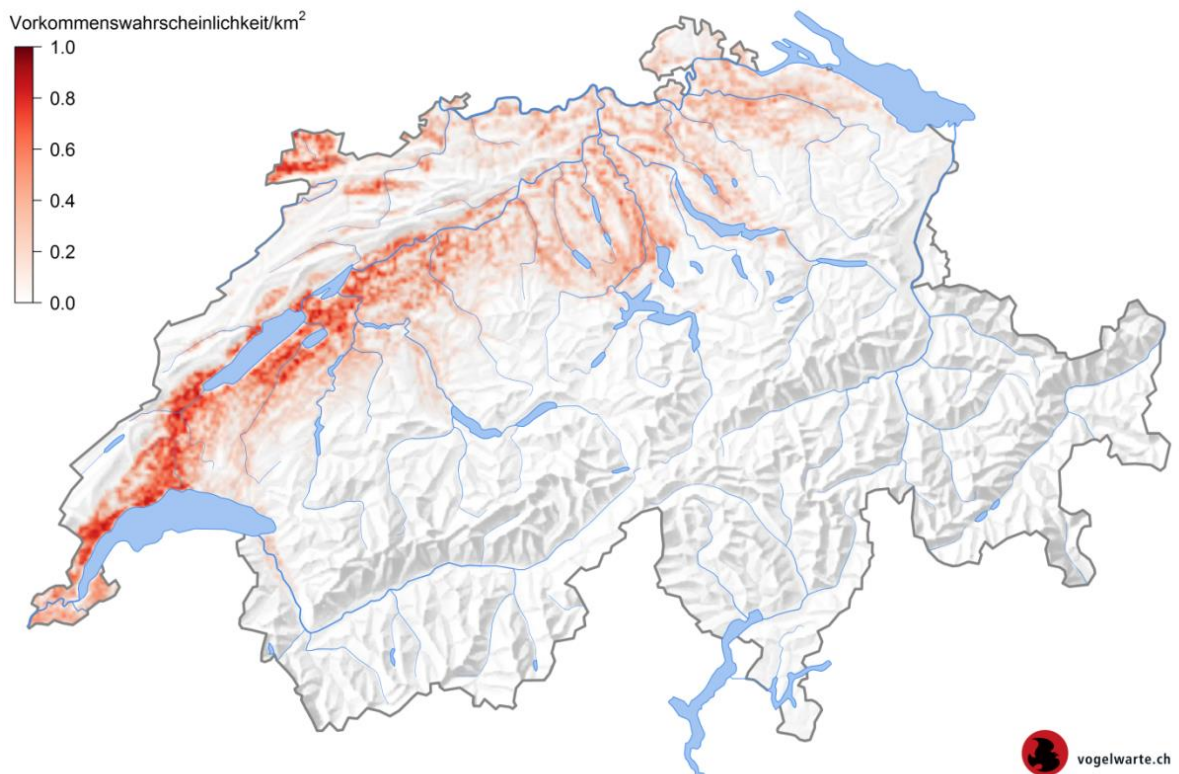


Abb. 37. Vorkommenswahrscheinlichkeit der Schleiereule in der Schweiz in den Jahren 2013–2016. Aus Knaus et al. (2018). Hintergrundkarte: © Swisstopo.

Der Bestandsindex (Abb. 38) zeigt grosse Ähnlichkeit mit der Besatzungsrate. Die Bestandseinbrüche in den Jahren 2009, 2013 und in geringerem Mass auch 2006 sind hier ebenfalls erkennbar. Er legt ausserdem nahe, dass die Bestände in der Auswertungsperiode tiefer liegen als zu Beginn des Überwachungsprogramms (2002). Der anhand der Besatzungsrate vermutete Rückgang zwischen 2002 und 2004 (Abb. 12) ist möglicherweise real, auch wenn die zugrunde liegenden Daten unzureichend sind. Dass die Brutbestände in den Neunzigerjahren allerdings so konstant gewesen sein sollen, wie es der Bestandsindex vorgibt, überrascht und könnte durch die gewählte Analyse-methode beeinflusst sein. Die in der Broyeebene im selben Jahrzehnt beobachteten Bestandsschwankungen (Altwegg et al. 2003) lassen vermuten, dass es schon damals bedeutende Ausschläge gab.

Harte Winter mit lang anhaltender Schneedecke kosten viele Alt- und Jungvögel das Leben und sorgen damit auch für starke Rückgänge bei den Brutpaarzahlen (Altwegg et al. 2006). Die Besatzungsrate zeigt solche Einbrüche nach den relativ harschen Wintern 2005–2006, 2008–2009 und 2012–2013 (Abb. 12). Anschliessend haben sich die Bestände zuerst im Südwesten des Landes erholt, was vermuten lässt, dass von dort aus eine Wiederbesiedlung der übrigen Landesteile stattfindet, unterstützt möglicherweise durch einwandernde Vögel.

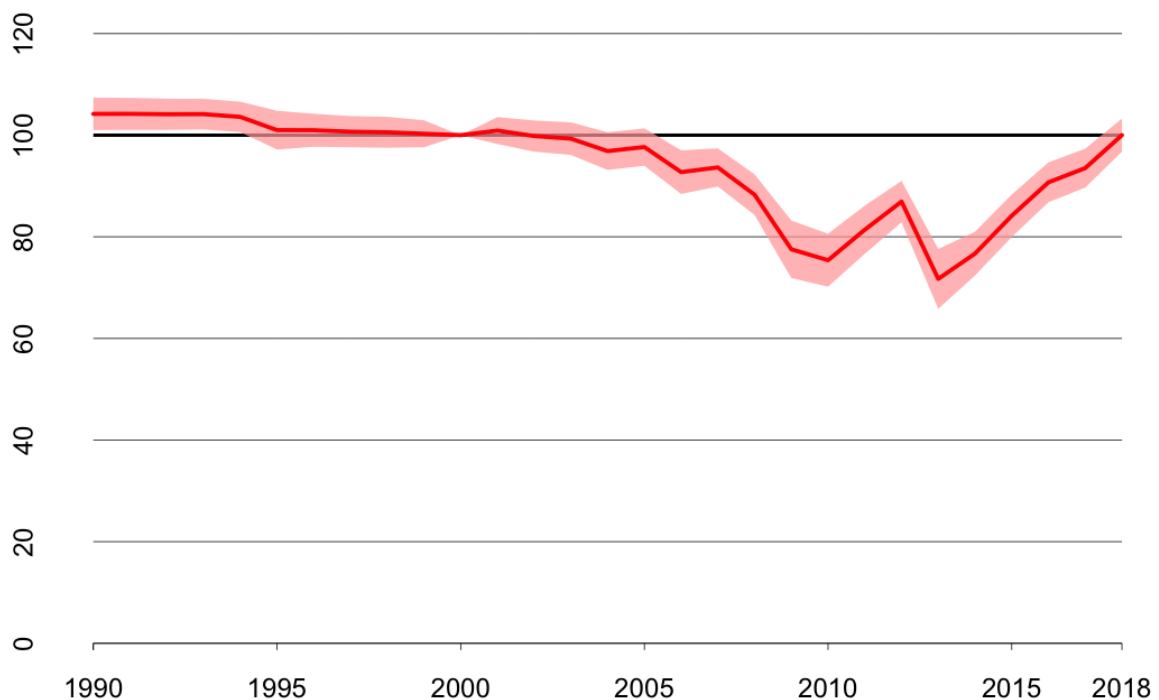


Abb. 38. Bestandsindex der Schleiereule in der Schweiz. Aus Schmid et al. (2018).



Abb. 39. Schleiereulenbrut mit fünf Küken.

4.2.1 Fortpflanzung

Seit 2015 ist der Bruterfolg leicht aber stetig abnehmend (Abb. 24). Die Produktivität hat während dieser Periode jedoch nicht deutlich abgenommen (Abb. 23), sondern schwankt wie in den Vorjahren. Auch der in diesen Jahren stattfindende Wiederaufschwung der Brutbestände (Abb. 12) ist offenbar nicht von der Produktivität beeinflusst.

Kennzeichen des Jahres 2018 sind der niedrigste Bruterfolg seit 2008 sowie die niedrigste Produktivität, wenn man die Anfangsjahre des Projekts mit seiner ungenügenden Datenlage weglässt. Die Saison startete schon mit unterdurchschnittlichen Gelegegrößen, und in der Aufzuchtzeit starben dann auch noch viele Küken. Ursache für diese bescheidene Brutsaison war vermutlich das schlechte Nahrungsangebot. Der Wühlmausanteil in den Beuteresten in den von Turmfalken besetzten Nistkästen der Broyeebene war 2013 und 2018 wie bereits erwähnt sehr niedrig (Fay et al. 2020b, Supplementary material).

4.3 Förderung

Die ehrenamtlichen Mitarbeitenden der Vogelwarte tragen mit der Bereitstellung, dem Unterhalt und der Überwachung der zahlreichen Nistkästen dazu bei, dass wichtige Nistplätze geschaffen werden und erhalten bleiben. Die zur Verfügung gestellten Nistkästen unterstützen die Zunahme der Turmfalkenbestände massgeblich und auch die Schleiereule profitiert in guten Jahren vom ausreichenden Nistkastenangebot. Vermutlich verdanken beiden Arten dem Brüten in Nistkästen einen relativ hohen Bruterfolg.

Durch Ihre Erfahrung und Expertise tragen die ehrenamtlichen Mitarbeitenden auch massgeblich zum guten Ruf bei, den die beiden Mäusejäger bei den Landwirten geniessen. Die Rolle als Helfer im Kampf gegen Wühlmäuse fördert sicherlich die Akzeptanz von Turmfalke und Schleiereule bei den Landwirten. Jedes Jahr bringen daher auch zahlreiche Privatpersonen zusätzliche Nistkästen für die beiden Mäusejäger an. Die Pflege der Beziehungen zwischen Ornithologen und Landwirten bildet eine wichtige Brücke zwischen Naturschutz und Landwirtschaft. Während dem die Bauern durch die eh-

renamtlichen Mitarbeitenden für den Schutz bedrohter Arten sensibilisiert werden, profitieren letztere von einem tieferen Verständnis für die komplexen Zusammenhänge zwischen Bewirtschaftungsmethoden und Schutz der Biodiversität auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Beide Arten dienen oft als Zielarten in Vernetzungsprojekten. Die grossen Dichte, welche Turmfalke und Schleiereule auch in intensiv bewirtschafteten Gebieten erreichen, scheint überraschend. Auch wenn beide Arten hier eine gewisse Toleranz zeigen, sind vor allem Strukturen auf der landwirtschaftliche Nutzfläche wichtig (Aschwanden et al. 2005). So sollen Landwirte motiviert werden auch extensive Strukturen anzulegen, welche Turmfalke und Schleiereule bei der Jagd nutzen. Das Anbringen von Nistkästen wird ebenfalls häufig und zurecht als einfache und effiziente Fördermassnahme propagiert. Allerdings bleibt der Unterhalt und die Kontrollen der grossen regionalen Nistkastenparks meist in der Verantwortung der ehrenamtlichen Mitarbeitenden, womit auch der Schutz von Turmfalke und Schleiereule in vielen Regionen grösstenteils vom grossen Engagement der Ehrenamtlichen abhängt.



Abb. 40. Direktübertragung der Vorgänge bei einer Turmfalkenbrut via Webcam in einen Bioladen in Murten.

5. Dank

Das Artenschutzprojekt Turmfalke/Schleiereule verdankt seinen Erfolg in erster Linie dem unermüdlichen Einsatz von ehrenamtlichen Gruppen, die diese beiden Arten in weiten Teilen der Schweiz überwachen und beringen. Für diese ausserordentliche Arbeit sprechen wir ihnen unseren herzlichen Dank aus. Unser Dank geht auch an die Bauernfamilien und die anderen Partner, die ihre Gebäude für das Aufhängen der Nistkästen und die regelmässigen Kontrollen zugänglich machen.

Weiter danken wir Alexandre Roulin und seiner Arbeitsgruppe der Universität Lausanne, die bei der Überwachung mitwirken und dem Projekt ihr grosses Know-how zur Verfügung stellen.

Die Beringerbewilligungen erteilt die Sektion Wildtiere und Artenförderung beim Bundesamt für Umwelt BAFU. Die Administration aller Beringungsangelegenheiten liegt bei der Schweizerischen Beringungszentrale. Auch ihnen danken wir für die gute Zusammenarbeit.

6. Anhänge

6.1 Analysemethoden der demografischen Parameter

Die unterschiedlichen Modelle und demografischen Indizes wurden mit der Version 3.4.1 der Software R berechnet (R Development Core Team 2018).

6.1.1 Index der Besetzungsrate

In den Modellen der Besetzungsrate berücksichtigt die Einführung des Nistkastens als Zufallsfaktor die Pseudokorrelation durch Mehrfachbeobachtungen am selben Kasten (d.h. es wurde ein gemischtes lineares Modell erstellt).

Das Jahr wurde als fester Faktor verwendet. Bei einer Verwendung von Jahr als Zufallsfaktor würde angenommen, dass die jahrspezifischen Abweichungen aus einer Normalverteilung stammen, was für die Jahre mit ausserordentlichen Umweltbedingungen nicht zutrifft. Zudem würden die Schätzwerte dieser Extremjahre abgeschwächt ("shrinkage"), wogegen wir uns spezifisch auch für diese speziellen Jahre interessierten.

Vor 2012 haben einige Projekte die leeren Nistkästen nicht systematisch dokumentiert. Diese Fälle erhöhen die Besetzungsrate künstlich. Daher wurden Datenreihen mit ausschliesslich besetzten Nistkästen von den Analysen ausgeschlossen. Einige dieser Fälle wurden jedoch vermutlich nicht durch die Filter entfernt. Daher sind die kantonalen Indizes der Besetzungsrate mit Vorsicht zu geniessen, vor allem in den frühen Jahren des Monitorings und wenn eine hohe Besetzungsrate und eine grosse Ungenauigkeit geschätzt werden.

Das binominale Modell für die Besetzungsrate lautete: $Besetzungsrate \sim Jahr_{\text{fester Faktor}} + Nistkasten_{\text{Zufallsfaktor}}$ und wurde mit der Funktion `stan_gmler` des Pakets `rstanarm` in R gerechnet (Goodrich et al. 2018).

6.1.2 Schätzung des Schlüpfdatums

Die jährliche und räumliche Variation im Schlüpfdatum für den Turmfalken wurde mittels eines additiven generalisierten Modelles berechnet (generalised additive model), wobei die Funktion `gam` des Pakets `mgcv` (Wood et al. 2017) in R verwendet wurde: $Schlüpfdatum \sim (Längengrad + Breitengrad)_{\text{geglättet}} + Höhe_{\text{geglättet}} + Jahr_{\text{fester Faktor}}$. Das Modell integriert den Standort einer Brut, indem eine nicht parametrische Regression in drei Dimensionen angewendet wird. So wird einerseits der Zusammenhang zwischen Schlüpfdatum und der geografischen Lage (Längengrad/Breitengrad) geschätzt. Die dritte Dimension wird durch die Beziehung zwischen Schlüpfdatum und Höhe über Meer mit einbezogen (Abb. 16). Das Jahr wird als fester Faktor im Modell gerechnet. Für die Darstellung der Ab-

bildungen 15 und 16 wurden die Schätzwerte des Jahres 2017 gewählt, welches Schlupfdaten aufweist, die dem langjährigen Mittel nahe sind.

6.1.3 Schätzung der Gelegegrösse, der Produktivität und des Bruterfolges pro Jahr

Die mittlere jährliche Gelegegrösse wurde mittels eines gemischten linearen Modells berechnet: $Gelegegrösse \sim Jahr_{fester\ Faktor} + Nistkasten_{Zufallsfaktor}$. Die Produktivität (Anzahl Junge im beringungsfähigen Alter pro Brut) wurde mit derselben Art von Modell geschätzt: $Produktivität \sim Jahr_{fester\ Faktor} + Nistkasten_{Zufallsfaktor}$. Der Bruterfolg wurde mit Hilfe eines binomialen gemischten Modells geschätzt: $Bruterfolg \sim Jahr_{fester\ Faktor} + Nistkasten_{Zufallsfaktor}$.

Die Funktion *lmer* des Pakets *lme4* (Bates et al. 2015) wurde für die gemischten linearen Modelle verwendet, für das gemischte binomiale Modell die Funktion *stan_glmer* aus *rstanarm* (Gelman & Su 2018). Die Verteilungen der Schätzwerte wurden mit der bayesianischen Funktion *sim* des Pakets *arm* ermittelt (Gelman & Su 2018).

7. Literatur

- ALTWEGG, R., A. ROULIN, M. KESTENHOLZ & L. JENNI (2003): Variation and covariation in survival, dispersal, and population size in barn owls *Tyto alba*. J. Anim. Ecol. 72: 391–399.
- ALTWEGG, R., A. ROULIN, M. KESTENHOLZ & L. JENNI (2006): Demographic effects of extreme winter weather in the barn owl. Oecologia 149: 44–51.
- ARTMANN-GRAF, G. (2017): Heuschrecken in der zentralen Nordwestschweiz gestern und heute: Verbreitungsatlas und Monitoring. Bird Life Solothurn.
- ASCHWANDEN, J., S. BIRRER & L. JENNI (2005): Are ecological compensation areas attractive hunting sites for common kestrels (*Falco tinnunculus*) and long-eared owls (*Asio otus*)? J. Ornithol. 146: 279–286.
- AVIRON, S., H. NITSCH, P. JEANNERET, S. BUHOLZER, H. LUKE, L. PFIFFNER, S. POZZI, B. SCHÜPBACH, T. WALTER & F. HERZOG (2009): Ecological cross compliance promotes farmland biodiversity in Switzerland. Frontiers Ecol. Environ. 5: 247–252.
- BATES, D., M. MÄCHLER, B. BOLKER & S. WALKER (2015): Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. Journal of Statistical Software 67.
- FAY, R., S. MICHLER, J. LAESSER, J. JEANMONOD & M. SCHAUB (2020a): Can temporal covariation and autocorrelation in demographic rates affect population dynamics in a raptor species? Ecol Evol 10: 1959–1970.
- FAY, R., S. MICHLER, J. LAESSER, J. JEANMONOD & M. SCHAUB (2020b): Large-Scale Vole Population Synchrony in Central Europe Revealed by Kestrel Breeding Performance. Front. Ecol. Evol. 7: 512.
- FAY, R., S. MICHLER, J. LAESSER & M. SCHAUB (2019): Integrated population model reveals that kestrels breeding in nest boxes operate as a source population. Ecography 42: 2122–2131.
- GELMAN, A. & Y.-S. SU (2018): arm: Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models: R package version 1.10-1.
- GOODRICH, B., J. GABRY, I. ALI & S. BRILLEMANN (2018): rstanarm: Bayesian applied regression modeling via Stan: R package version 2.17.4.
- HAGEMEIJER, W. J. M. & M. J. BLAIR (1997): The EBCC Atlas of European breeding birds: Their distribution and abundance. T. & A.D. Poyser, London.
- HARDER, W. (1998): Parlament verabschiedet "Agrarpolitik 2002". Agrarforsch. 5: 229–232.

- JEANMONOD, J. & L. BROCH (2001): Suivi d'une population de Faucon crécerelle *Falco tinnunculus* dans la vallée de la Broye en suite d'une pose intensive de nichoirs: premiers résultats. Nos Oiseaux suppl. 5: 27–39.
- KAESER, G. & H. SCHMID (1989): Bestand und Bruterfolg des Turmfalken *Falco tinnunculus* und der Schleiereule *Tyto alba* in der Region Rheinfelden 1951–1988. Ornithol. Beob. 86: 199–208.
- KELLER, V., R. AYÉ, W. MÜLLER, R. SPAAR & N. ZBINDEN (2010a): Die prioritären Vogelarten der Schweiz: Revision 2010. Ornithol. Beob. 107: 265–285.
- KELLER, V., A. GERBER, H. SCHMID, B. VOLET & N. ZBINDEN (2010b): Rote Liste Brutvögel. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Umwelt-Vollzug 1019. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- KNAUS, P., S. ANTONIAZZA, S. WECHSLER, J. GUÉLAT, M. KÉRY, N. STREBEL & T. SATTLER (Hrsg.) (2018): Schweizer Brutvogelatlas 2013–2016: Verbreitung und Bestandsentwicklung der Vögel in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- KÖNIG, P. (2019): Zahlen zu den Biodiversitätsbeiträgen: Update 2017. BirdLife Schweiz, Zürich.
- MICHLER, S., J. LAESSER, M. SPIESS & R. SPAAR (2016): Artenförderungsprojekt und integriertes Populationsmonitoring Turmfalke/Schleiereule. Resultate aus 14 Projektjahren. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2018): R: A Language and Environment for Statistical Computing. URL <http://www.R-project.org/>.
- SCHMID, H. (1990): Die Bestandsentwicklung des Turmfalken *Falco tinnunculus* in der Schweiz. Ornithol. Beob. 87: 327–349.
- SCHMID, H., M. KESTENHOLZ, P. KNAUS, L. REY & T. SATTLER (2018): Zustand der Vogelwelt in der Schweiz: Bericht 2018. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- SPIESS, M., M. SCHAUB & M. KESTENHOLZ (2006): Populationsmonitoring von Schleiereule und Turmfalke: Feld-Manual. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- VON RÖNN, J. A. C., M. SCHAUB, F. KORNER-NIEVERGELT, M. KÉRY, S. MICHLER & L. JENNI (2019): Monitoring démographique MoDem - Objectifs et exigences de projets de baguage d'espèces spécifiques. Station ornithologique suisse, Sempach.
- WIDMER, C. (1998): Möglichkeiten für eine naturnahe Landwirtschaft aufgrund des neuen Landwirtschaftsgesetzes. Mitt.Nat.forsch.Ges.Bern 55: 199–206.
- WOOD, S. N., N. PYA & B. SÄFKEN (2017): Smoothing Parameter and Model Selection for General Smooth Models. Journal of the American Statistical Association 111: 1548–1563.
- ZELLWEGER-FISCHER, J., M. SCHAUB, C. MÜLLER, M. RUDIN, M. SPIESS & L. JENNI (2011): Der Bruterfolg des Turmfalken *Falco tinnunculus*: Resultate und Erkenntnisse aus fünf Jahren integriertem Populationsmonitoring. Ornithol. Beob. 108: 37–54.