



Räumliche Verteilung von Luftfahrtaktivitäten und mögliche Konflikte mit Raufusshühnern und Wildhuftieren

KURZBERICHT

Erstellt im Auftrag des Schweizerischen Hängegleiter-Verbands und des Aero-Club der Schweiz

Claudio Signer, Benjamin Sigrist & Roland F. Graf

Forschungsgruppe Wildtiermanagement WILMA, ZHAW Wädenswil

April 2023

IMPRESSUM

Titelbild: colourbox.de

Auftraggeber:

Schweizerischer Hängegleiter-Verband SHV
Seefeldstrasse 224
CH-8008 Zürich

Aero-Club der Schweiz
Zentralsekretariat
Lidostrasse 5
CH-6006 Luzern

Autoren:

Dr. Claudio Signer, Benjamin Sigrist & Prof. Dr. Roland F. Graf
Forschungsgruppe Wildtiermanagement WILMA
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen IUNR
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW
Grüental, Postfach
CH-8820 Wädenswil

Zitiervorschlag:

Signer C., Sigrist B. & Graf R.F. (2023) Räumliche Verteilung von Luftfahrtaktivitäten und mögliche Konflikte mit Raufusshühnern und Wildhuftieren – Kurzbericht. Erstellt im Auftrag des Schweizerischen Hängegleiter-Verbands und des Aero-Club der Schweiz. Forschungsgruppe Wildtiermanagement WILMA, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Wädenswil.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1. Einleitung	3
2. Material und Methoden	5
3. Resultate	7
4. Diskussion	13
5. Dank	16
6. Literaturverzeichnis	17

Zusammenfassung

Untersuchungen über den Einfluss von Hängegleitern und anderen Luftfahrzeugen fokussierten bei Wildhuftieren bislang insbesondere auf direkte Verhaltensänderungen und Fluchtreaktionen. Bei Greifvögeln und Raufusshühnern wurden vor allem unmittelbare Veränderungen der Raumnutzung sowie Veränderungen des Abwehr- bzw. Territorialverhaltens und Bruterfolgs untersucht. Es fehlen aktuell jedoch u. a. Erkenntnisse über längerfristige Veränderungen in der Raumnutzung von Wildtieren und über die Bedeutung des Lebensraumverlusts aufgrund von Flugaktivitäten. Im Auftrag des Schweizerischen Hängegleiter-Verbands und des Aero-Club der Schweiz haben wir deshalb die räumliche Verteilung der Luftfahrtaktivitäten in der Schweiz und Liechtenstein untersucht und mit den Vorkommen von Raufusshühnern und Wildhuftieren verglichen.

Hierfür haben wir in einem ersten Schritt die Flugintensität anhand der vorhandenen Flugdaten aus der von Hängegleitern betriebenen Flugdatenbank «XContest» landesweit flächig berechnet. Dies sowohl für den Gesamtzeitraum 2007–2020 und für einen zeitlichen Vergleich auch getrennt für die beiden Zeitabschnitte 2007–2013 und 2014–2020. Es zeigte sich, dass die südexponierten Hanglagen der Haupttäler zwischen dem Prättigau und dem Walensee, dem Bündner Oberland und Unterwallis, dem Sihlsee und Zugersee, gewisse Gebiete zwischen dem Vierwaldstättersee und dem Genfersee, der Alpstein, der Jurasüdfuss und Teile des Unterengadins und Tessins besonders häufig von Hängegleitern frequentiert wurden. Der Vergleich der beiden Zeitabschnitte 2007–2013 und 2014–2020 erbrachte zudem, dass der Anteil an Flugbewegungen in den meisten Bereichen des Alpenhauptkamms, im Osten der Schweiz sowie in Liechtenstein im Vergleich zu anderen Gebieten teilweise deutlich abgenommen hat. Dagegen verzeichneten viele Fluggebiete in der Zentralschweiz und ganz besonders diejenigen im Berner Oberland und den Voralpen zwischen dem Entlebuch und dem Genfersee anteilmässig sehr deutliche Zunahmen an Flugbewegungen.

In einem zweiten Schritt haben wir die von Hängegleitern bevorzugt genutzten Gebiete mit den für Wildtiere gut geeigneten Lebensräumen überlagert. Dabei haben wir als Zielarten auf vier typische und weitverbreitete Wildtierarten unserer Gebirgslebensräume fokussiert; das Birkhuhn (*Lyrurus tetrix*) und Schneehuhn (*Lagopus muta*) seitens Raufusshühner sowie die Gämse (*Rupicapra rupicapra*) und den Alpensteinbock (*Capra ibex*) seitens Wildhuftiere. Die landesweiten Analysen ergaben oftmals relativ klar abgrenzbare Zonen mit erhöhtem Konfliktpotenzial zwischen intensiv genutzten Fluggebieten und gut geeigneten Wildtierlebensräumen. Diese potenziellen Konfliktzonen erstreckten sich insbesondere über längere zusammenhängende Gebiete entlang der südexponierten Hanglagen der Haupttäler in den Alpen und nördlichen Voralpen. Die potenziellen Konfliktzonen umfassten bei allen vier Zielarten jeweils etwa 10–12 % ihrer gut geeigneten Lebensräume in der Schweiz und in Liechtenstein.

Insgesamt ermöglichte unsere Studie eine geeignete Übersicht zur Hängegleiter-Flugaktivität in der Schweiz und in Liechtenstein. Ebenso konnten wir die raum-zeitlichen Veränderungen der landesweiten Flugbewegungen auf einer relativen Skala gut darstellen. Mit dem Fokus auf unsere Zielarten liess sich ausserdem ausweisen, wo potenziell kritische Konfliktzonen zwischen Gebieten mit besonders hohem Flugaufkommen und gut geeigneten Wildtierlebensräumen bestehen. Mit einigen weiterführenden regionalspezifischen Betrachtungen konnte unsere Studie zudem aufzeigen, dass besondere Konfliktpotenziale vornehmlich in Regionen vorkommen, welche durch entsprechende Infrastrukturen gut erschlossen sind und sich in der Nähe von Ballungszentren befinden.

Aus fachlicher Sicht herausfordernd sind Untersuchungen zum effektiven Einfluss der Flugintensität auf die Vorkommen und Bestandsentwicklungen von Wildtieren. Dabei bilden gerade solche Erkenntnisse in den spezifischen Regionen wichtige fachliche Grundlagen für die Diskussionen um Flugbeschränkungen oder für die Ausarbeitung von zielführenden Flugvereinbarungen. Diesbezüglich sehen wir Bedarf für weitere Forschungsprojekte, welche idealerweise regionalspezifisch im Rahmen eines begleitenden Monitorings zur Erfolgskontrolle von umgesetzten Schutzbestrebungen stattfinden.

1. Einleitung

Im Auftrag des Schweizerischen Hängegleiter-Verbands und des Aero-Clubs der Schweiz erstellte die Forschungsgruppe Wildtiermanagement der ZHAW eine Vorstudie, in welcher der aktuelle Wissensstand über die Reaktionen von Wildtieren auf Luftfahrzeuge erarbeitet und bestehende Wissenslücken identifiziert worden sind (Signer & Koch 2020). Mit Bezug auf die Wissenslücken wurden in dieser Vorstudie insgesamt 6 Module für Folgestudien vorgeschlagen, welche teilweise aufeinander aufbauen (Abb. 1). Der gegenständliche Projektbericht entspricht dem Modul 1 dieser Folgestudien und stellt damit die Basis für mögliche weitere Untersuchungen dar.

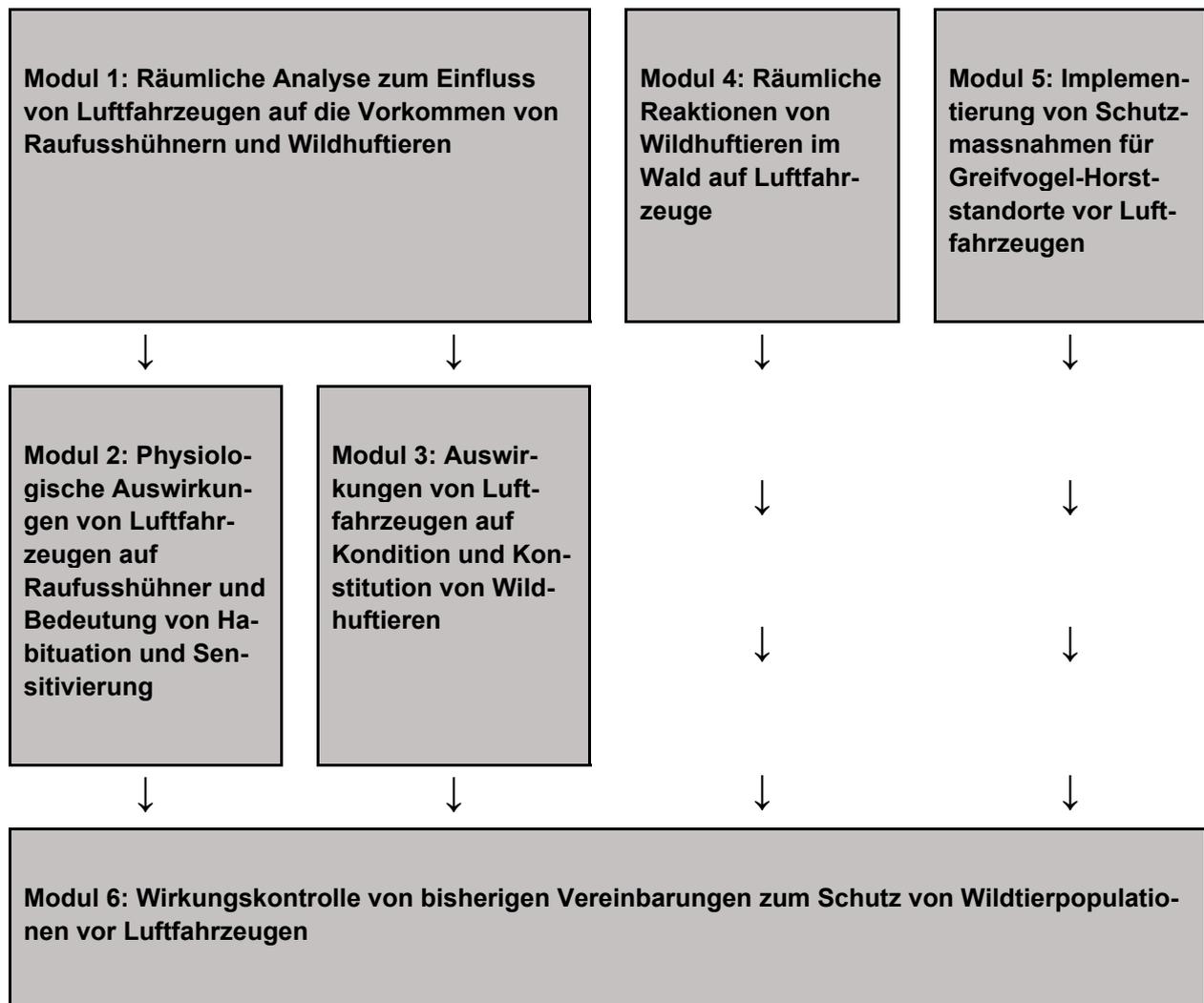


Abb. 1: Matrix der 6 vorgeschlagenen Studienmodule zur Schliessung der wesentlichsten Wissenslücken über die Auswirkungen von Luftfahrzeugen auf Wildtiere. (Quelle: Signer & Koch 2020)

Die Sichtung der aktuellen Fachliteratur durch Signer & Koch (2020) hat gezeigt, dass bei Wildhuftieren bislang insbesondere direkte Verhaltensänderungen und Fluchtreaktionen untersucht wurden. Bei Greifvögeln und Raufusshühnern wurden vorwiegend Aspekte der unmittelbaren Raumnutzung, des Abwehr- bzw. Territorialverhaltens sowie des Bruterfolgs untersucht. Sowohl bei den Wildhuftieren wie bei den Raufusshühnern fehlen jedoch Erkenntnisse über längerfristige Veränderungen in der Raumnutzung resp. über die Bedeutung des Lebensraumverlusts aufgrund von Störung generell sowie auch spezifisch durch Luftfahrzeuge. Die Kenntnis langfristiger Auswirkungen auf Populationsebene sind für Flugverbände aber von zentraler Bedeutung als Grundlage für Diskussionen um neue Flugbeschränkungen über sensiblen Gebieten.

Das Birkhuhn (*Lyrurus tetrix*, früher: *Tetrao tetrix*) und das Alpenschneehuhn (*Lagopus muta*) gelten in der Schweiz als potenziell gefährdet (Knaus et al. 2021). Studien haben gezeigt, dass sich Störungen durch Freizeitaktivitäten insbesondere während der Brutphase und im Winter negativ auf Raufusshühner auswirken können. Bei den bisherigen Untersuchungen standen Störungen durch Wintersportaktivitäten, Mountainbiking und Wandern im Vordergrund. Unmittelbare Fluchtreaktionen von Raufusshühnern aufgrund von Störung durch Luftfahrzeuge wurden teilweise beobachtet und beschrieben, jedoch fehlen Untersuchungen über längerfristige Veränderungen der Raumnutzung und allfällige Auswirkungen auf die Bestandszahlen dieser störungsempfindlichen Arten gänzlich.

Im Vergleich zu den relativ unauffällig lebenden Raufusshühnern sind die unmittelbaren Reaktionen der Alpengämse (*Rupicapra rupicapra*) und des Alpensteinbocks (*Capra ibex*) auf Störung durch Luftfahrzeuge wesentlich besser untersucht. Dies unter anderem wohl aufgrund der besseren Beobachtbarkeit der Huftiere. Da sich Wildhuftiere aber häufig im Spannungsfeld zwischen verschiedenen Nutzungsansprüchen befinden und es sich beim Steinbock gemäss Bundesrecht um eine geschützte Tierart handelt (SR 922.0, 922.01), ist eine Klärung der langfristigen Auswirkungen von Störung durch Luftfahrzeuge auf diese Arten ebenfalls von Interesse. Generell bestehen Wissenslücken zur Charakterisierung besonders sensibler Lebensräume mit hohem Konfliktpotential zwischen Luftfahrzeugen und Wildtieren.

In diesem Kontext war das Ziel dieser Studie, die räumliche Verteilung der Luftfahrtaktivitäten in der Schweiz und Liechtenstein zu untersuchen und mit den Vorkommen von Raufusshühnern und Wildhuftieren zu vergleichen. Die damit gewonnenen Erkenntnisse können bei Bedarf als Grundlage für weitere Studien herangezogen werden.

Konkret untersuchten wir im Rahmen unserer Studie folgende Fragen:

1. Wo in der Schweiz und in Liechtenstein befinden sich die Schwerpunktgebiete der Flugbewegungen und wie hat sich die räumliche Verteilung der Flugbewegungen in den letzten Jahren verändert?
2. In welchen Gebieten überlappen bevorzugte Fluggebiete und Wildtierlebensräume und bergen damit ein erhöhtes Konfliktpotenzial?

Wir fokussierten auf Birkhuhn, Schneehuhn, Gämse und Steinbock als prioritäre Zielarten, weil diese in ihren weitgehend offenen Lebensräumen an der Waldgrenze und darüber durch Luftfahrzeuge massgeblich beeinflusst werden können. Zudem lagen für diese Wildtierarten im Vergleich zu vielen anderen Tierarten relativ gute Datengrundlagen vor, beispielsweise aus dem Schweizer Brutvogelatlas (Knaus et al. 2018) und dem Atlas der Säugetiere der Schweiz und Liechtensteins (Graf & Fischer 2021). Ausserdem existierten teilweise detaillierte Daten von kantonalen Jagdverwaltungen. Im Hinblick auf die Schutzwürdigkeit handelt es sich beim Birkhuhn und Schneehuhn in der Schweiz zudem um potenziell gefährdete Arten, beim Steinbock um eine geschützte Art.

Das übergeordnete Ziel unserer Studie bestand darin, eine fundierte Übersicht zur räumlichen Überlappung von Fluggebieten und Wildtierlebensräumen zu erstellen. Auf die kausale Untersuchung effektiver Auswirkungen des Flugbetriebs auf die Vorkommen von Wildtieren haben wir weitgehend verzichtet, weil dies nach unserer Einschätzung lediglich im Rahmen von aufwändigen Feldexperimenten möglich ist.

2. Material und Methoden

2.1 Hängegleiter-Flugbewegungen

Als Datengrundlage über die Flugbewegungen von Hängegleitern wurden uns vom SHV bzw. von Medtades GmbH die in der Onlineplattform «XContest» in der Schweiz und in Liechtenstein erfassten Fluglinien der Flugjahre 2007–2020 zur Verfügung gestellt, wobei ein Flugjahr jeweils den Zeitraum von Oktober bis September umfasst (so beginnt z.B. das Flugjahr 2020 im Oktober 2019 und endet im September 2020). XContest ist eine Plattform, in der die Pilot:innen ihre Flugbewegungen freiwillig eintragen können. Erfahrungsgemäss werden eher längere Flüge in dieser Datenbank eingetragen, wohingegen Abgleiter- und Gondelflüge, Hike&Fly-Flüge, gewisse Streckenflüge und Flüge von Flugschulen in der Regel nicht erfasst werden. Insgesamt hat die Anzahl Einträge in die Plattform seit 2007 deutlich zugenommen und, damit einhergehend, wohl auch der Anteil an digital erfassten Flügen im Vergleich zu den nicht digital erfassten Flügen. Es ist zu berücksichtigen, dass von den Pilot:innen verschiedene Geräte zur Erfassung der Flugdaten eingesetzt werden, was sich u. a. auf die Auflösung und die räumliche Genauigkeit der jeweils erhobenen Parameter auswirkt. Deshalb und aufgrund des Einsatzes von verschiedenen Höhenmesssystemen haben wir auf die Analyse von Flughöhen aus diesem Datensatz verzichtet und lediglich die Positionsdaten verwendet.

Aus dem aus Linien bestehenden XContest-Datensatz haben wir mittels dem in ArcGIS Pro (ESRI 2021) vorhandenen Werkzeug «line density» in einem landesweiten Rasterdatensatz mit einer Auflösung von 1 ha die Liniendichte berechnet. Dies sowohl für den Gesamtdatensatz aus den Flugjahren 2007–2020 wie auch zeitlich getrennt für die Flugjahre 2007–2013 und 2014–2020. Zur besseren Vergleichbarkeit der Flugbewegungen in den beiden Zeitabschnitten haben wir die Liniendichte in den einzelnen Rasterzellen jeweils umskaliert in eine relative Skala 0–1 (0 = keine Flugbewegungen, 1 = sehr viele Flugbewegungen). Dies ist nötig, weil sich der Anteil an digital erfassten Flügen im Vergleich zu den nicht digital erfassten Flügen im Zeitverlauf deutlich erhöht haben dürfte. Somit erlaubt die Umskalierung einen zuverlässigen landesweiten Vergleich zur relativen Entwicklung des Flugaufkommens.

Für die Analyse und Darstellung von Raumdaten und anderweitigen Datengrundlagen haben wir grundsätzlich ArcGIS Pro (ESRI 2021) sowie R (R Core Team 2022) verwendet. Als Kartengrundlagen haben wir verschiedene Quellen von swisstopo genutzt.

2.2 Flugbewegungen von Motor- und Segelflugzeugen

Für Motor- und Segelflugzeuge stand uns im Gegensatz zu den Hängegleitern keine einheitlichen Aufzeichnung von Flugbewegungsdaten zur Verfügung. Die Aufzeichnung von Streckenflügen durch Segelfluggpiloten wird zunehmend durch die Onlineplattform «weglide.org» weltweit erfasst, erlaubt aber noch keine robuste Vergleichbarkeit über verschiedene Zeitabschnitte.

2.3 Vorkommen von Birk- und Schneehuhn

Für das Birkhuhn und Schneehuhn wurde uns von der Schweizerischen Vogelwarte die artspezifisch modellierte Vorkommenswahrscheinlichkeit gemäss dem Schweizer Brutvogelatlas 2013–2016 (Knaus et al. 2018) zur Verfügung gestellt. Bei diesen Geodatensätzen mit einer Skala von 0–1 handelt es sich um landesweite Rasterdaten mit einer Auflösung von 1 km². Auf die Verwendung weiterer Datensätze, welche die Veränderung der Vorkommenswahrscheinlichkeit zwischen verschiedenen Erfassungszeiträumen darstellen (Brutvogelatlas 2013–2016 [Knaus et al. 2018] vs. Brutvogelatlas 1993–1996 [Schmid et al. 1998]) haben wir aufgrund der methodisch bedingten begrenzten Vergleichbarkeit verzichtet.

2.4 Vorkommen von Gämse und Steinbock

Für Gämse und Steinbock wurde uns von info fauna (Schweizerisches Zentrum für die Kartografie der Fauna CSCF) die artspezifisch modellierte Antreffwahrscheinlichkeit gemäss dem Atlas der Säugetiere

der Schweiz und Liechtensteins (Graf & Fischer 2021) zur Verfügung gestellt. Bei diesen Geodatenätzen mit einer Skala von 0–100 handelt es sich um landesweite Rasterdaten mit einer Auflösung von 1 ha.

2.5 Überschneidung von bevorzugten Fluggebieten und Wildtierlebensräumen

Zur landesweiten Eruiierung von Zonen mit einem hohen Konfliktpotenzial bezüglich Hängegleiter-Flugaufkommen und Wildtiervorkommen haben wir aus dem Gesamtdatensatz der Flugbewegungen diejenigen Bereiche mit einer erhöhten Flugintensität von >0.5 (Gesamtskala 0–1; siehe oben) überlagert mit den Vorkommenswahrscheinlichkeiten von Birkhuhn und Schneehuhn sowie den Antreffwahrscheinlichkeiten von Gämse und Steinbock. Dabei haben wir auch bei den wildtierspezifischen Flächen nur diejenigen Bereiche mit einer Vorkommenswahrscheinlichkeit von >0.5 bzw. einer Antreffwahrscheinlichkeit von >50 berücksichtigt. Diese entsprechen potenziell gut geeigneten Habitaten mit einem mittleren bis hohen Lebensraumpotenzial.

2.6 Regionale Fokusgebiete

Basierend auf den Ergebnissen der obigen Analysen und unter Berücksichtigung der spezifischen Bedürfnisse unserer Auftraggeber haben wir 5 Fokusgebiete mit einer Grösse von jeweils 625 km^2 ($25 \times 25 \text{ km}$) für weiterführende regionale Betrachtungen definiert. Diese Fokusgebiete umfassen das Unterengadin und Schams im Kanton Graubünden sowie die Gebiete Mythen (Kanton Schwyz), Niesen-Augstmatthorn (Kanton Bern) und Unterwallis.

3. Resultate

3.1 Landesweite Übersicht der Flugbewegungen

Die räumliche Darstellung der XContest-Daten erbrachte deutliche Unterschiede hinsichtlich der Flugintensität. Von Hängegleitern stark genutzte Gebiete befinden sich insbesondere im Alpstein, in den südexponierten Hanglagen der Haupttäler zwischen dem Prättigau und dem Walensee, den südexponierten Hanglagen der Haupttäler zwischen dem Bündner Oberland und dem Unterwallis, den Gebirgen zwischen Sihlsee und Zugersee, gebietsweise in den Nordalpen und Voralpen zwischen Vierwaldstättersee und Genfersee, im Jurabogen sowie teilweise im Unterengadin und Tessin (Abb. 2). Diese Gebiete wurden in den Zeiträumen 2007–2013 und 2014–2020 grundsätzlich stark frequentiert. Im Vergleich dieser beiden Zeitabschnitte zeigen sich jedoch interessante Entwicklungen: Während der Anteil an Flugbewegungen in den meisten Bereichen des Alpenhauptkamms, im Osten der Schweiz sowie in Liechtenstein im landesweiten Vergleich teilweise deutlich abnahm, verzeichneten viele Fluggebiete in der Zentralschweiz und ganz besonders diejenigen im Berner Oberland und den Voralpen zwischen dem Entlebuch und dem Genfersee anteilmässig meist sehr deutliche Zunahmen der Flugbewegungen (Abb. 2c).

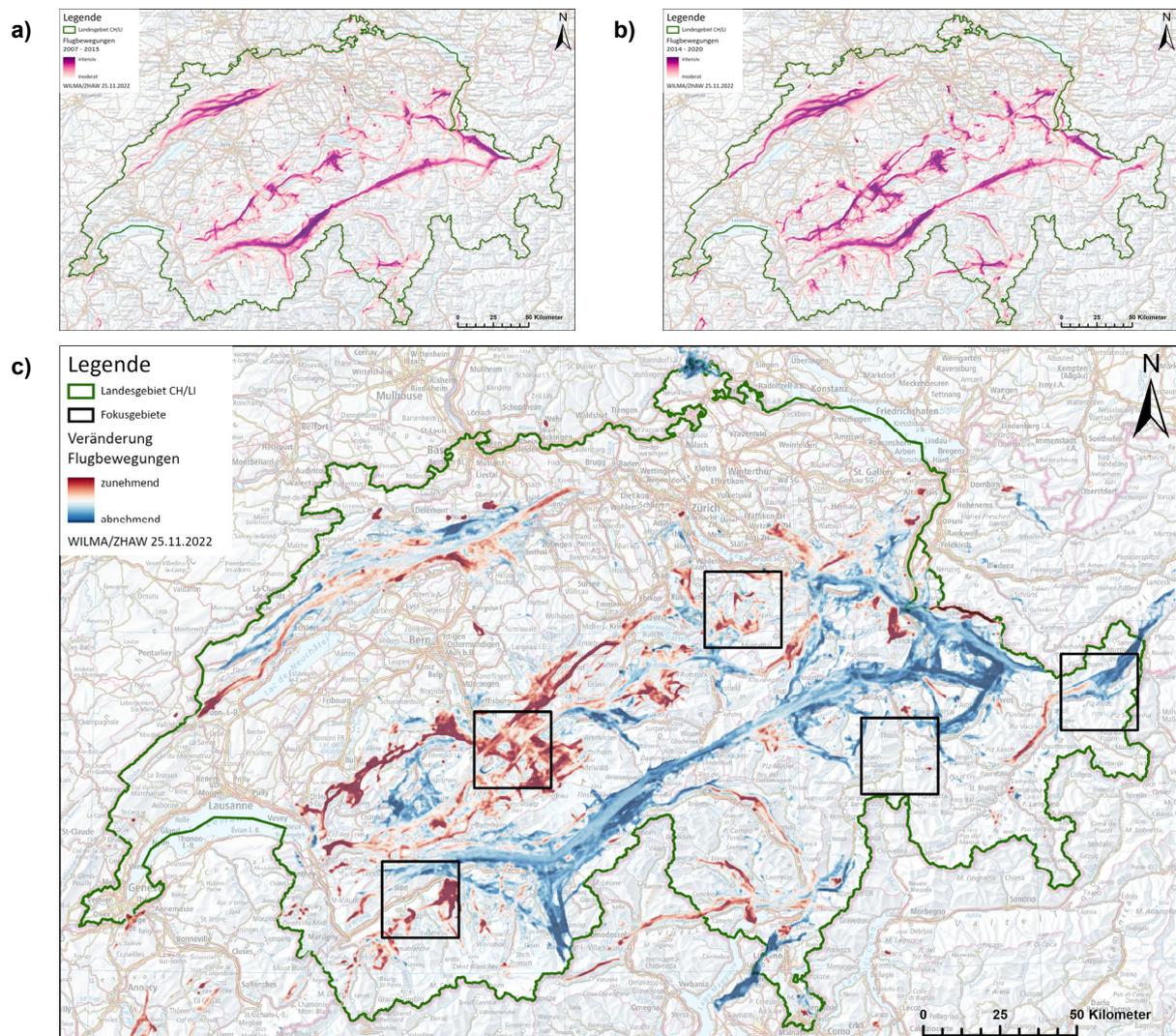


Abb. 2: Flugbewegungen gemäss XContest-Daten in den Zeiträumen 2007–2013 (a) und 2014–2020 (b), zur Vergleichbarkeit jeweils dargestellt auf einer relativen landesweiten Skala von 0–1. Die Veränderung der Flugbewegungen zwischen den beiden Zeiträumen (c) ergibt sich im landesweiten Vergleich durch Subtraktion der skalierten Werte innerhalb der einzelnen Rasterzellen (Zeitraum 2014–2020 minus Zeitraum 2007–2013): Rot = Im landesweiten Vergleich zunehmende Flugbewegungen im Zeitverlauf, Blau = Im landesweiten Vergleich abnehmende Flugbewegungen im Zeitverlauf. In Abbildung c) sind die Fokusgebiete quadratisch (25x25 km) eingezeichnet, von Ost nach West: Unterengadin, Schams, Mythen, Niesen-Augstmatthorn, Unterwallis.

3.2 Überschneidung von bevorzugten Fluggebieten und Wildtierlebensräumen

Die Überschneidung der Bereiche mit erhöhter Flugintensität (>0.5) im Gesamtzeitraum 2007–2020 und den gut geeigneten Birkhuhn- und Schneehuhn-Lebensräumen (modellierte Vorkommenswahrscheinlichkeiten >0.5) ergab räumlich relativ klar abgrenzbare Zonen mit erhöhtem Konfliktpotenzial (Abb. 3). Die potenziell kritischen Zonen erstrecken sich häufig entlang von südexponierten Hanglagen der Haupttäler in den Alpen und nördlichen Voralpen. Insgesamt überlappen bevorzugte Fluggebiete und gut geeignete Birkhuhn-Lebensräume zu einem Anteil von 11.92 % (Gesamtfläche Birkhuhn-Vorkommenswahrscheinlichkeit $>0.5 = 5'636 \text{ km}^2$, Fläche Birkhuhn-Vorkommenswahrscheinlichkeit >0.5 mit erhöhter Flugintensität $>0.5 = 672 \text{ km}^2$; siehe orange Flächen in Abb. 3a). Beim Schneehuhn überlappen bevorzugte Fluggebiete und gut geeignete Lebensräume zu einem Anteil von 9.58 % (Gesamtfläche Schneehuhn-Vorkommenswahrscheinlichkeit $>0.5 = 7'297 \text{ km}^2$, Fläche Schneehuhn-Vorkommenswahrscheinlichkeit >0.5 mit erhöhter Flugintensität $>0.5 = 699 \text{ km}^2$; siehe orange Flächen in Abb. 3b).

Grundsätzlich sehr ähnliche Zonen mit erhöhtem Konfliktpotenzial ergaben sich bei den entsprechenden Analysen der Bereiche mit erhöhter Flugintensität und den gut geeigneten Gams- und Steinbock-Lebensräumen (modellierte Antreffwahrscheinlichkeiten >50). Auch hier erstreckten sich die potenziell kritischen Zonen meist über längere zusammenhängende Bereiche entlang den südexponierten Hanglagen der Haupttäler in den Alpen und nördlichen Voralpen (Abb. 4), wobei diese potenziellen Konfliktzonen grundsätzlich etwas breiter waren als bei den Raufusshühnern. Für die Gämse haben sich zudem weitere Konfliktzonen im Jurasüdfuss ergeben (Abb. 4a). Insgesamt überlappen bevorzugte Fluggebiete und gut geeignete Gams-Lebensräume zu einem Anteil von 11.17 % (Gesamtfläche Gams-Antreffwahrscheinlichkeit $>50 = 21'002 \text{ km}^2$, Fläche Gams-Antreffwahrscheinlichkeit >50 mit erhöhter Flugintensität $>0.5 = 2'346 \text{ km}^2$; siehe orange Flächen in Abb. 4a). Beim Steinbock überlappen bevorzugte Fluggebiete und gut geeignete Lebensräume zu einem Anteil von 9.78 % (Gesamtfläche Steinbock-Antreffwahrscheinlichkeit $>50 = 15'388 \text{ km}^2$, Fläche Steinbock-Antreffwahrscheinlichkeit >50 mit erhöhter Flugintensität $>0.5 = 1'505 \text{ km}^2$; siehe orange Flächen in Abb. 4b).

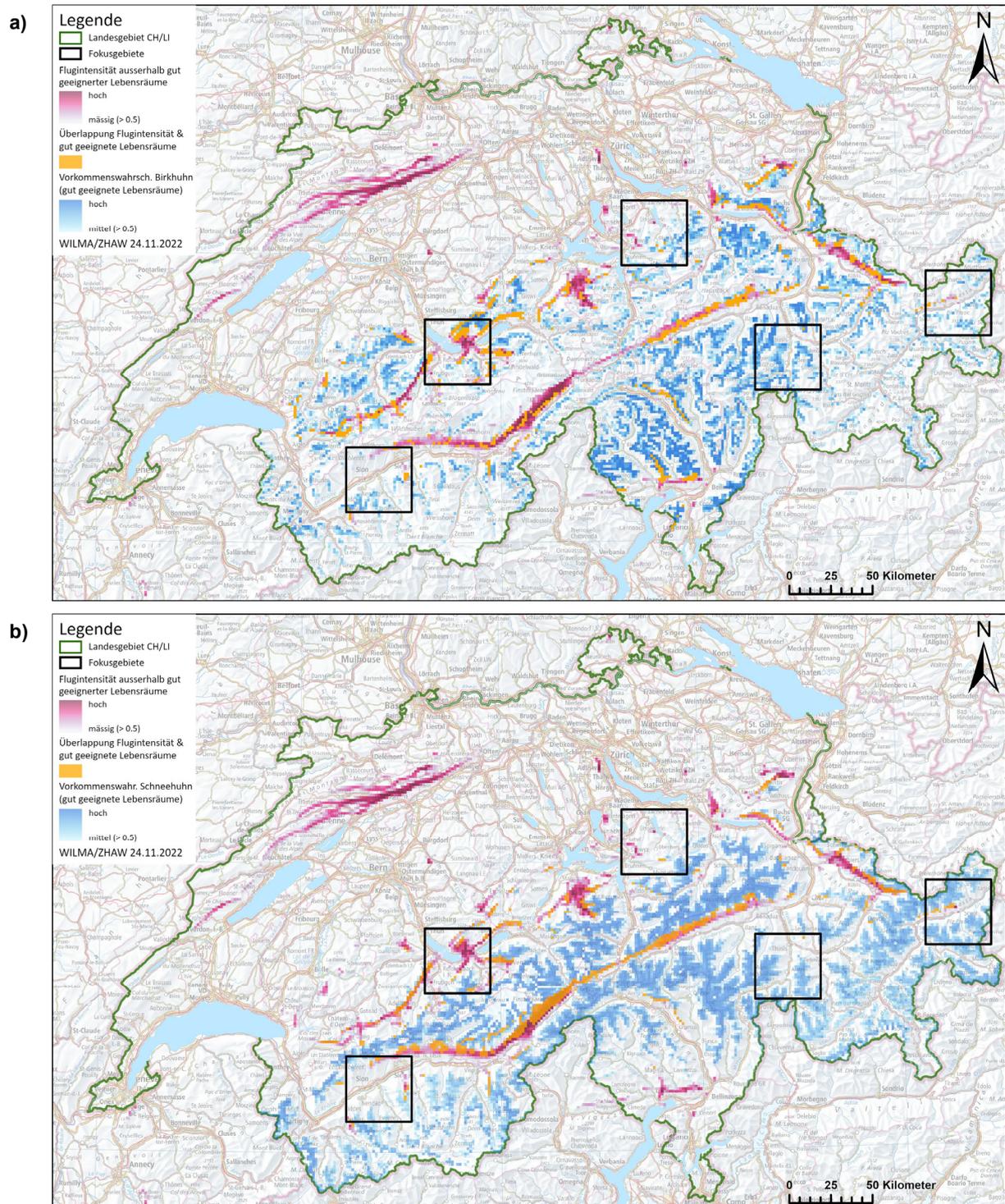


Abb. 3: Landesweite Übersicht zur Überschneidung von bevorzugten Fluggebieten (Flugintensität >0.5) und gut geeigneten Lebensräumen (Vorkommenswahrscheinlichkeit >0.5) von a) Birkhühnern und b) Schneehühnern: Blau = Keine Überlappung von hoher Flugintensität und gut geeigneten Raufusshühner-Lebensräumen, Orange = Überlappung von hoher Flugintensität und gut geeigneten Raufusshühner-Lebensräumen, Violetttöne = Bereiche mit hoher Flugintensität ohne gut geeignete Raufusshühner-Lebensräume, Schwarze Quadrate = Fokusgebiete (von Ost nach West: Unterengadin, Schams, Mythen, Niesen-Augstmatthorn, Unterwallis). (Datenquelle der Raufusshühner-Vorkommenswahrscheinlichkeiten: Knaus et al. 2018, Schweizerische Vogelwarte)

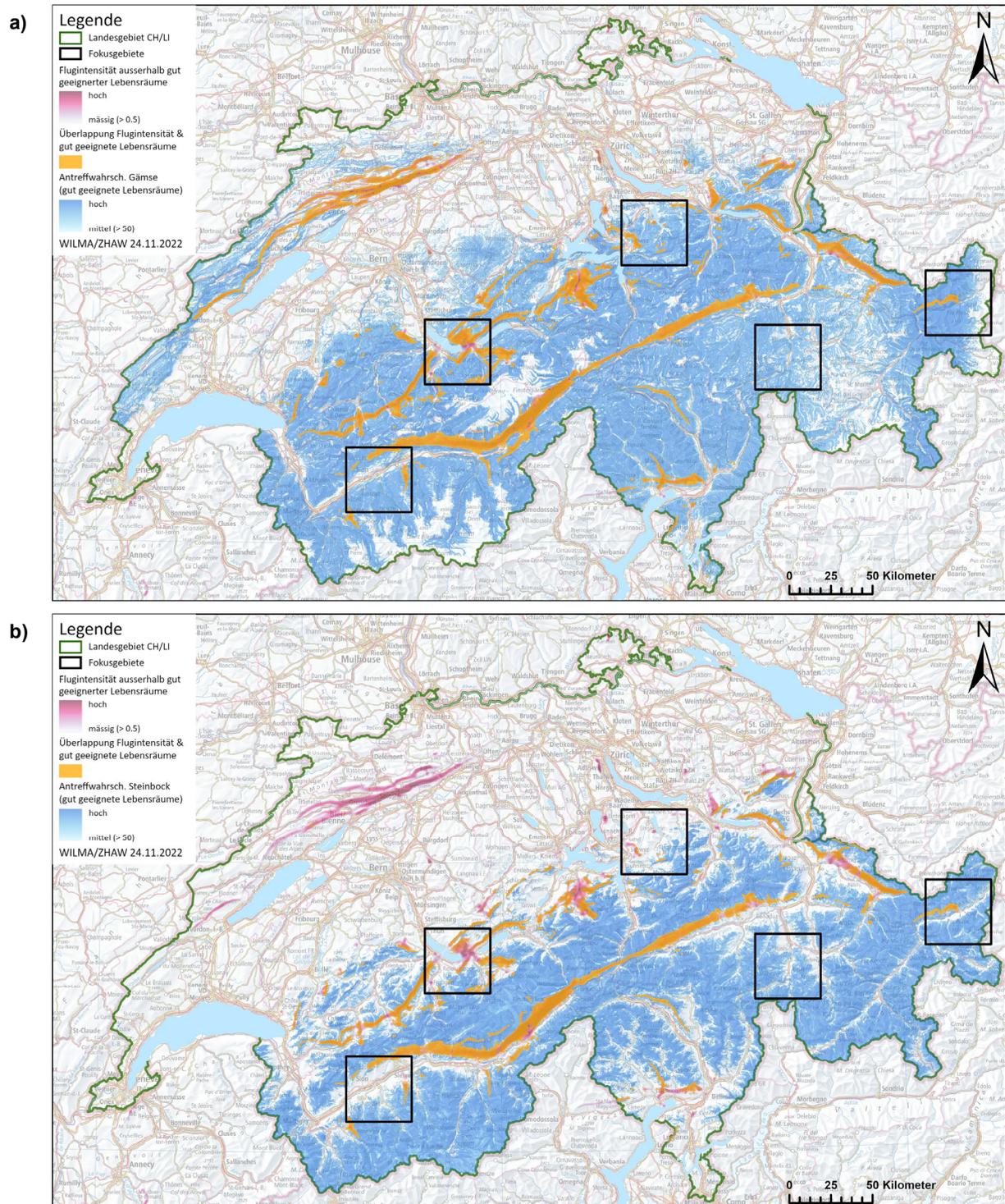


Abb. 4: Landesweite Übersicht zur Überschneidung von bevorzugten Fluggebieten (Flugintensität >0.5) und gut geeigneten Lebensräumen (Antreffwahrscheinlichkeit >50) von a) Gämssen und b) Steinböcken: Blau = Keine Überlappung von hoher Flugintensität und gut geeigneten Wildhuftier-Lebensräumen, Orange = Überlappung von hoher Flugintensität und gut geeigneten Wildhuftier-Lebensräumen, Violetttöne = Bereiche mit hoher Flugintensität ohne gut geeignete Wildhuftier-Lebensräume, Schwarze Quadrate = Fokusgebiete (von Ost nach West: Unterengadin, Schams, Mythen, Niesen-Augstmatthorn, Unterwallis).. (Datenquelle der Wildhuftier-Antreffwahrscheinlichkeiten: Graf & Fischer 2021, info fauna – CSCF)

3.3 Regionale Betrachtungen in Fokusgebieten

Unterengadin (Kt. GR)

Im Fokusgebiet Unterengadin konzentrieren sich die Flugbewegungen vornehmlich auf die südexponierten Hanglagen des Haupttals (Abb. 2). Insbesondere im westlichen Teil dieses Flugbereichs wurden im untersuchten Gesamtzeitraum 2007–2020 verhältnismässig viele Flugbewegungen registriert, wohingegen der östliche Teil weniger intensiv befliegen wurde. Auch im Zeitverlauf 2007–2013 vs. 2014–2020 haben die Flugbewegungen im landesweiten Vergleich im westlichen Teil anteilmässig eher zugenommen, im östlichen Teil dagegen abgenommen (Abb. 2c). In anderen Bereichen des Fokusgebiets, insbesondere entlang den nordexponierten Hanglagen des Haupttals (d. h. im südlichen Bereich des Fokusgebiets), wird hingegen wenig bis gar nicht geflogen.

In Bezug auf Wildtiere umfasst das Fokusgebiet zahlreiche Vorkommen von Birkhuhn, Schneehuhn, Gämse und Steinbock (Abb. 3 & 4). Im südlichen Teil erstreckt sich das Fokusgebiet teilweise in den Schweizerischen Nationalpark (SNP), einem Wildnis-Vorranggebiet, in welchem für Hängegleiter ein generelles Start- und Landeverbot herrscht (Art. 19, Abs. 1a, Aussenlandeverordnung AuLaV, SR 748.132.3). Für sämtliche Flugobjekte gilt im SNP zudem ein Gebot zum «Überflug in möglichst grosser Höhe», wobei wir diesbezüglich keine spezifischen rechtsverbindlichen Höhenangaben in Erfahrung bringen konnten (gemäss der schriftl. Mitteilung von A. Ryser vom 29.11.2022 gelten für Segel- und Motorflugzeuge grundsätzlich die üblichen Minimalflughöhen von 150 m über unbesiedeltem Gebiet und 300 m über bewohntem Gebiet).

Schams (Kt. GR)

Das Fokusgebiet Schams umfasst neben der zentralen Talschaft Schams auch Teile des Rheinwalds, Safientals, Heizenbergs, Domleschgs, Albulatals und Oberhalbsteins. Das Fokusgebiet zeichnet sich gemäss XContest-Datensatz insgesamt durch ein geringes Flugaufkommen aus (Abb. 2). Lediglich in den ostexponierten Flanken nahe der Bergbahnen Lenzerheide (im Nordosten des Fokusgebiets) und Savognin (im Südosten des Fokusgebiets) wurde lokal ein vermehrtes Flugaufkommen festgestellt, wobei der Anteil an Flugbewegungen im landesweiten Vergleich der Zeiträume 2007–2013 und 2014–2020 bei der Lenzerheide eher abnahm, bei Savognin dagegen deutlich zunahm (Abb. 2c).

Im Fokusgebiet Schams finden die vier Zielarten Birkhuhn, Schneehuhn, Gämse und Steinbock an zahlreichen Standorten und relativ flächig gut geeignete Lebensräume vor (Abb. 3 & 4). Im westlichen Bereich des Fokusgebiets befindet sich das Eidgenössische Jagdbanngebiet Beverin. Im Jagdbanngebiet gilt als Fauna-Vorranggebiet für Hängegleiter ein generelles Start- und Landeverbot (SR 922.31).

Mythen (Kt. SZ)

Das Fokusgebiet Mythen erstreckt sich über weite Teile des Kantons Schwyz und stellenweise auch über die Kantonsgrenzen hinaus. Innerhalb des Fokusgebiets konnte v. a. im Gebirgszug um den Klein und Gross Mythen und damit auch im Eidgenössischen Jagdbanngebiet Mythen ein hohes Flugaufkommen festgestellt werden (südwestlicher Bereich des Fokusgebiets in Abb. 2). Die häufige Nutzung des Jagdbanngebiets Mythen durch Hängegleiter – trotz generellem Start- und Landeverbot und Aufforderungen zur Unterlassung von Überflügen (siehe unten) – hängt u. a. wohl mit der günstigen topografischen Lage und der guten Erschliessung aus dem weiteren Umfeld zusammen. Zudem finden auch in den Bereichen des First und Roggenstock, in den Hügelzügen südlich von Einsiedeln sowie in den Hanglagen Richtung Zürichsee vermehrt Flugbewegungen statt. Alle diese Gebiete weisen im landesweiten Vergleich in den letzten Jahren eine starke anteilmässige Zunahme der Flugbewegungen auf (Abb. 2c).

Im Fokusgebiet Mythen ist das gleichnamige Eidgenössische Jagdbanngebiet Mythen faunistisch besonders relevant, namentlich für Gämsen (Abb. 4). Daneben umfasst das Fokusgebiet im südöstlichen Bereich auch Teile des Eidgenössischen Jagdbanngebiets Silbern-Jägern-Bödmerenwald. Wie in allen Eidgenössischen Jagdbanngebieten gilt auch in den beiden Jagdbanngebieten innerhalb des Fokusgebiets Mythen ein generelles Start- und Landeverbot für Hängegleiter (SR 922.31). Auf der offiziellen Infotafel zum Eidgenössischen Jagdbanngebiet Mythen wird zudem darauf hingewiesen, das Überfliegen des Jagdbanngebietes zu unterlassen.

Niesen-Augstmatthorn (Kt. BE)

Das Fokusgebiet Niesen-Augstmatthorn umfasst ausgedehnte Gebiete des Berner Oberlands, welche von Hängegleitern sehr stark frequentiert werden (Abb. 2). Ganz besonders häufig befliegen werden die südost-exponierten Hanglagen oberhalb des Briener- und Thunersees, des Frutigtals sowie der Därliggrat zwischen Thunersee und Saxetal. Auch die Gebirgszüge im Lütchen- und Lauterbrunnental werden von Hängegleitern häufig frequentiert. In praktisch all diesen insgesamt stark befliegenen Gebieten zeigte sich im landesweiten Vergleich der Zeiträume 2007–2013 und 2014–2020 auch eine deutliche anteilmässige Zunahme der Flugbewegungen. Ausserdem befinden sich im Fokusgebiet ein Flugplatz (Reichenbach) sowie drei Helibasen (Interlaken, Gsteigwiler und Lauterbrunnen).

Auf faunistischer Seite befinden sich im Fokusgebiet Teile von zwei Eidgenössischen Jagdbanngebieten; Augstmatthorn im Nordosten und Kiental im Süden. Unter anderem in diesen Fauna-Vorranggebieten befinden sich grössere und gut geeignete Lebensräume für die vier Zielarten Birkhuhn, Schneehuhn, Gämse und Steinbock (Abb. 3 & 4). Mit einem ausgedehnten und hohen Flugaufkommen von Hängegleitern, verschiedenen Fluginfrastrukturen und zahlreichen Wildtierlebensräumen, die sich teilweise in Jagdbanngebieten befinden, besteht in diesem Fokusgebiet mutmasslich ein hohes Konfliktpotenzial zwischen Luftfahrzeugen und Wildtieren.

Unterwallis (Kt. VS)

Das Fokusgebiet Unterwallis weist Bereiche auf, welche von Hängegleitern relativ stark frequent werden, umfasst aber auch Bereiche mit einem relativ geringen Flugaufkommen. Insbesondere in den südexponierten Hanglagen des Haupttals (d. h. im nördlichen Bereich des Fokusgebiets) sowie in der Val d'Anniviers im östlichen Bereich des Fokusgebiets finden vermehrt Hängegleiterflüge statt (Abb. 2). Während der Anteil an Flugbewegungen in den südexponierten Hanglagen des Haupttals im Vergleich der Zeiträume 2007–2013 und 2014–2020 im landesweiten Vergleich eher abgenommen hat, ist in den südlichen und östlichen Bereichen des Fokusgebiets eine starke relative Zunahme der Flugbewegungen zu verzeichnen. Ausserdem befindet sich der Flugplatz Sion im Haupttal im zentralen Bereich des Fokusgebiets.

Im Fokusgebiet Unterwallis kommen Birkhühner und Schneehühner gebietsweise vor, während Gämsen und Steinböcke relativ flächig gut geeignete Lebensräume vorfinden. Im Nordwesten des Fokusgebiets befindet sich zudem ein Teil des Eidgenössischen Jagdbanngebiets Haut de Cry/Dehborence.

4. Diskussion

Schwerpunktgebiete der Flugbewegungen und Veränderung der Flugintensität

Mit der Aufbereitung der XContest-Daten konnten die Flugbewegungen von Hängegleitern räumlich visualisiert und auch im mehrjährigen Verlauf zielführend untersucht werden. Der flächige Ansatz erlaubte es, die Intensität der Flugbewegungen auf einer landesweiten Skala gut vergleichbar darzustellen. Der Vergleich der zwei Zeitabschnitte ermöglichte eine Einschätzung, in welchen Regionen der Schweiz und Liechtensteins die Flugbewegungen anteilmässig zu- oder abgenommen haben. Dabei weisen infrastrukturell gut erschlossene Gebiete in der Nähe von Ballungszentren, wie beispielsweise das Gebiet Mythen oder das Fokusgebiet Niesen-Augstmatthorn, besonders viele und stark zunehmende Flugbewegungen auf.

In methodischer Hinsicht erwies sich die Transformation des XContest-Liniendatensatzes in einen Rasterdatensatz als zielführend. Die landesweit einheitliche Skalierung erlaubte einen guten Vergleich der Flugaktivitäten in den verschiedenen Regionen. Dies war u. a. hilfreich für die Ausscheidung geeigneter Fokusgebiete mit teilweise sehr unterschiedlichem Flugaufkommen. Auch die Unterteilung des XContest-Datensatzes in zwei gleich lange Zeitabschnitte (2007–2013, 2014–2020) hat sich bewährt und ermöglichte dank einer einheitlichen Neuskalierung der einzelnen Zeitabschnitte einen guten landesweiten Vergleich der Entwicklung des Flugaufkommens. Allerdings erlaubt dieser Ansatz nur einen relativen Vergleich der Veränderungen von Flugbewegungen und keine Angabe von absoluten Werten. Ausserdem ist zumindest in einzelnen Gebieten möglich, dass weitere Nutzungen durch Hängegleiter stattgefunden haben, ohne dass diese in der XContest-Datenbank erfasst worden sind und in unseren Betrachtungen demnach nicht erscheinen. Dies dürfte insbesondere für Abgleiter- und Gondelflüge, Hike&Fly-Flüge sowie Flugstrecken von Flugschulen zutreffen.

Ausscheidung potenzieller Konfliktzonen zwischen Fluggebieten und Wildtierlebensräumen

Die Datenlage erlaubte zudem eine Identifikation von Hot Spots mit besonderem Konfliktpotenzial zwischen Luftfahrzeugen und Wildtieren anhand der landesweiten Überlagerung der von Hängegleitern bevorzugten Fluggebiete (gemäss XContest-Datensatz) mit den gut geeigneten Lebensräumen unserer Zielarten Birkhuhn, Schneehuhn, Gämse und Steinbock (gemäss Lebensraum-Potenzialkarten). Die Analysen ergaben oftmals relativ klar abgrenzbare Bereiche mit erhöhtem Konfliktpotenzial, die sich insbesondere über längere zusammenhängende Gebiete entlang der südexponierten Hanglagen der Haupttäler in den Alpen und nördlichen Voralpen erstrecken.

Die Auswahl von Birkhuhn, Schneehuhn, Gämse und Steinbock als Zielarten erachten wir für unsere Untersuchungen grundsätzlich als geeignet. Bei allen vier Zielarten umfassen diese potenziellen Konfliktzonen jeweils etwa 10–12 % ihrer gut geeigneten Lebensräume in der Schweiz und in Liechtenstein. Je nach Tierart befinden sich diese Überlappungsbereiche in etwas unterschiedlichen Gebieten; während sich die Überlappungsbereiche beim Birkhuhn, Schneehuhn und Steinbock entsprechend ihren Hauptverbreitungsgebieten vorwiegend auf die Alpen und Voralpen konzentrieren, zeigten sich bei der Gämse grössere Überlappungsbereiche auch über weiten Teilen des Jurasüdfusses.

Regionale Betrachtungen zu Flugintensitäten und Wildtiervorkommen

Bei der Betrachtung aller vier Zielarten wies das Fokusgebiet Niesen-Augstmatthorn von allen Fokusgebieten am meisten Überschneidungen zwischen intensiv genutzten Fluggebieten und gut geeigneten Wildtierlebensräumen auf. Bei gewissen Zielarten ergaben sich auch in den Fokusgebieten Mythen (insbesondere im Bereich des gleichnamigen Jagdbanngiets), Unterengadin (v.a. im westlichen Bereich) und teilweise auch im Unterwallis Bereiche, in denen sich wesentliche Fluggebiete und Wildtierlebensräume überlagern. In all diesen Überschneidungsbereichen nahmen die Hängegleiter-Flugbewegungen in den letzten Jahren im landesweiten Vergleich anteilmässig zu, gebietsweise auch sehr stark, insbesondere im Fokusgebiet Niesen-Augstmatthorn. Auch einige besonders bedeutsame Wildtierlebensräume wie Jagdbanngiete wurden teilweise intensiv und mit deutlich zunehmender Tendenz befliegen.

Weil sich in den potenziell kritischen Bereichen der Fokusgebiete Niesen-Augstmatthorn und Mythen mit den Eidgenössischen Jagdbanngeländen auch Wildtierschutzgebiete von nationaler Bedeutung befinden, ist dort ein besonders umsichtiger Umgang mit möglichen Konflikten zwischen Flugaufkommen und Wildtierschutz angezeigt. Für diese faunistischen Vorranggebiete sind die aktuellen Bestrebungen um ein Besucherlenkungskonzept im Jagdbanngelände Mythen und um freiwillige Vereinbarungen im Jagdbanngelände Augstmatthorn deshalb sicherlich zu begrüssen. Es empfiehlt sich, dass die dort getroffenen Massnahmen im Sinne einer Erfolgskontrolle mit einem entsprechenden Monitoring wissenschaftlich begleitet werden.

Empfehlungen für weiterführende Untersuchungen

Der von uns angewandte flächige Analyseansatz erlaubte für unsere Zielarten die Ausscheidung potenzieller Konfliktzonen zwischen bevorzugten Fluggebieten und potenziell gut geeigneten Lebensräumen in der Schweiz und in Liechtenstein. Mit den uns zur Verfügung stehenden Daten war es jedoch nicht möglich, örtliche Zusammenhänge zwischen Flugintensität und der Bestandsentwicklung von Wildtieren schlüssig zu untersuchen. Zum Nachweis entsprechender kausaler Zusammenhänge wären nach unserer Einschätzung gezielte Feldexperimente an spezifischen Standorten nötig, beispielsweise durch Störungsexperimente mit besenderten Wildtieren (siehe z.B. Graf et al. 2018, Signer et al. 2022, Thiel et al. 2018) oder durch Stresshormonanalysen (siehe z.B. Rehnus et al. 2014, Thiel et al. 2008). Eine weitere – wenngleich sehr aufwändige – Möglichkeit wäre, regionale Wildtierpopulationen im Rahmen von Langzeitmonitorings systematisch zu überwachen und gleichzeitig andere Einflussfaktoren wie die Habitatveränderungen, die Witterung und die Präsenz von Prädatoren detailliert zu untersuchen.

Entscheidend bei derartigen Untersuchungen sind neben tierart- und standortspezifischen Faktoren auch sinnvolle und praktikable Angaben zur Distanz der jeweils auftretenden Störreize (Horizontaldistanz, Vertikaldistanz bzw. Überflughöhe). Die bislang vorhandenen Studien geben für Gämsen und Steinböcke teilweise stark divergierende Reaktions- und Fluchtdistanzen zwischen 60 m bis über 1000 m an, für Birkhuhn und Schneehuhn Werte um 300–350 m (als Review siehe Signer & Koch 2020), wobei aus vielen Quellen nicht klar hervorgeht, wie diese Distanzen effektiv ermittelt wurden.

Weiter zu beachten ist, dass die Reaktionen von Wildtieren auf Störreize von den äusseren Bedingungen stark beeinflusst werden und auch in Abhängigkeit der Jahres- oder Fortpflanzungszeit deutliche Unterschiede aufweisen können. Winter und Frühling gelten dabei generell als die sensibelsten Jahreszeiten, wobei sich die Fortpflanzungszeit bei einigen der von uns betrachteten Tierarten bis in den Sommer erstreckt. Denkbar sind ausserdem tageszeitlich unterschiedliche Reaktionen, wenngleich diesbezüglich bislang kaum Studien vorliegen (siehe ebenfalls Signer & Koch 2020). Die Gewöhnung an wiederkehrende Störreize dürfte bei der Einschätzung des effektiven Einflusses von Flugobjekten auf Wildtiere ebenfalls eine bedeutende Rolle spielen, jedoch liefern bisherige Studien auch dazu teilweise stark divergierende Erkenntnisse (siehe diesbezüglich neben Signer & Koch 2020 auch die aktuellere Publikation von Fess et al. 2022). Grundsätzlich scheinen die Art des Störeinflusses und dessen Vorausehbarkeit und Wiederkehrrate neben der strukturellen Qualität eines Lebensraums zentrale Aspekte dafür zu sein, ob bei Wildtieren Habituation oder Sensitivierung eintritt. Auch tierartspezifisch ist das Anpassungspotenzial stark unterschiedlich.

Schlussfolgerungen und Management-Empfehlungen

Aufgrund unseres aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstands (als Review siehe Signer & Koch 2020) müssen wir unter bestimmten Gegebenheiten von verschiedenen negativen Einflüssen durch Flugaktivitäten auf Wildtiere ausgehen. Allerdings reicht unser derzeitiger Kenntnisstand kaum aus, um beispielsweise konkrete Minimalflughöhen im Hinblick auf bestimmte Zielarten oder Lebensraumtypen zu definieren oder um die Bedeutung von Habituation bzw. Sensitivierung von Wildtieren in Gebieten mit stetig hohem Flugaufkommen abzuschätzen. Zur Schliessung dieser bedeutungsvollen Wissenslücken erachten wir, wie oben erwähnt, gezielte Feldexperimente in ausgewählten Studiengengebieten als unerlässlich. Nur so können die Auswirkungen menschlicher Einflüsse auf die Wildtiere in ihrer gesamten multifaktoriellen Komplexität hinreichend erfasst werden. Zur Untersuchung derartiger Fragestellungen würden einige unserer ausgewählten Fokusgebiete sicherlich geeignete Studiengengebiete darstellen.

Solange diese Grundlagen noch nicht zur Verfügung stehen, ist aus unserer Sicht zumindest in faunistischen Vorranggebieten wie den Eidgenössischen Jagdbanngebieten, dem Schweizerischen Nationalpark, in Wildruhezonen und anderen Naturschutzgebieten eine grundsätzliche Zurückhaltung bei der Ausübung potenzieller Störeinflüsse durch Luftfahrzeuge angezeigt. Der vorausschauende wirkungsvolle Schutz der Wildtiere vor Störung entspricht auch verschiedenen eidgenössischen Rechtsgrundlagen und gebietsbezogenen Schutzverordnungen.

Um bestehende Konflikte zu reduzieren, sollten in bedeutsamen Wildtierlebensräumen mit den tangierten Interessensvertretern einvernehmliche und auf die lokalen Bedürfnisse ausgerichtete Lösungen erarbeitet werden, beispielsweise in Form von gebietsspezifischen Vereinbarungen. Bei der Umsetzung entsprechender Massnahmen zum Schutz von Wildtieren vor Störung sind klare Zielsetzungen und Zuständigkeiten zu definieren. Zudem müssen die getroffenen Massnahmen durch beidseitige Wirkungskontrollen wiederkehrend überprüft werden, so dass deren Effektivität sowohl aus Sicht der Luftfahrtorganisationen wie auch aus Sicht des Wildtierschutzes belegt werden kann. Ein umfassendes Monitoring dürfte auch unseren aktuell ungenügenden Kenntnisstand über den räumlichen Einfluss von Luftfahrzeugen auf Wildtierbestände erweitern. Damit könnten wir in Zukunft besser unterscheiden zwischen potenziellen und tatsächlich vorhandenen Konflikten zwischen Luftfahrtaktivitäten und Wildtieren.

5. Dank

Wir danken folgenden Institution und Personen herzlich für die Unterstützung in diesem Projekt:

- Dominik Mauchle (Metades GmbH) für den umfangreichen XContest-Datensatz.
- Schweizerische Vogelwarte Sempach (Hans Schmid & Thomas Sattler) für die Erlaubnis zur Nutzung der Birkhuhn- und Schneehuhn-Verbreitungsdaten aus dem Brutvogelatlas.
- info fauna – CSCF (Sarah Hummel & Luna Satori) für die Erlaubnis zur Nutzung der Gams- und Steinbock-Verbreitungsdaten aus dem Säugetieratlas.
- Nina Eicher, Angelika Siegfried und Alexandra Schuler vom SHV sowie Andreas Ryser vom Aeroclub der Schweiz für die anregende Zusammenarbeit und den fachlichen Austausch in diesem Projekt.

6. Literaturverzeichnis

- ESRI Environmental Systems Research Institute (2021) ArcGIS Pro 2.8. Redlands, CA, USA.
- Fess F., Klein R. & Kiepsch S. (2022) Einfluss von Modellflugplätzen auf Biodiversität, Siedlungsdichten und Revierverteilung von Brutvögeln – Forschungsstudie im Auftrag des Deutschen Modellflieger Verbands e.V.. MILVUS GmbH, Rehlingen-Siersburg.
- Graf R.F. & Fischer C. (Hrsg.) (2021) Atlas der Säugetiere: Schweiz und Liechtenstein. Schweizerische Gesellschaft für Wildtierbiologie SGW – SSBF. Haupt Verlag, Bern.
- Graf R.F., Signer C., Reifler-Bächtiger M., Wyttenbach M., Sigrist B. & Rupf R. (2018) Wildlife and humans in outdoor recreational areas near cities / Wildtier und Mensch im Naherholungsraum. Swiss Academies Factsheets / Akademien der Wissenschaften Schweiz. 13(2), S. 1–8.
- Knaus P., Antoniazza S., Keller V., Sattler T., Schmid H. & Strebel N. (2021) Rote Liste der Brutvögel: Gefährdete Arten der Schweiz. Bundesamt für Umwelt BAFU & Schweizerische Vogelwarte. Umwelt-Vollzug Nr. 2124
- Knaus P., Guélat J., Sattler T., Wechsler S., Kéry M., Strebel N. & Antoniazza S. (2018) Schweizer Brutvogelatlas 2013–2016: Verbreitung und Bestandsentwicklung der Vögel in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Rehnus M., Wehrle M. & Palme R. (2014) Mountain hares *Lepus timidus* and tourism: stress events and reactions. *Journal of Applied Ecology* 51: 6–12.
- Schmid H., Luder R., Naef-Daenzer B., Graf R. & Zbinden N. (1998) Schweizer Brutvogelatlas: Verbreitung der Brutvögel in der Schweiz und im Fürstentum Lichtenstein 1993–1996. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- Signer C. & Koch T. (2020) Vorstudie über die Reaktionen von Wildtieren auf Luftfahrzeuge. Forschungsgruppe Wildtiermanagement WILMA, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Wädenswil. Erstellt im Auftrag des Schweizerischen Hängegleiter-Verbands und des Aero-Club der Schweiz.
- Signer C., Wirthner S., Sigrist B., Wellig S.D., Kämpfer D., Albrecht L. & Graf R.F. (2022) Rothirschprojekt Aletsch-Goms: Abschlussbericht zum Forschungs- und Managementprojekt 2017–2021. ZHAW Wädenswil, Kanton Wallis & Pro Natura.
- SR 748.132.3. Verordnung über das Abfliegen und Landen mit Luftfahrzeugen ausserhalb von Flugplätzen (Aussenlandeverordnung, AuLaV) vom 14. Mai 2014 (Stand 15. Juli 2015).
- SR 748.941. Verordnung des UVEK über Luftfahrzeuge besonderer Kategorien (VLK) vom 24. November 1994 (Stand 1. Januar 2019).
- SR 922.0. Bundesgesetz über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel (Jagdgesetz, JSG) vom 20. Juni 1986 (Stand 1. Januar 2022).
- SR 922.01. Verordnung über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel (Jagdverordnung, JSV) vom 29. Februar 1988 (Stand 15. Juli 2021).
- SR 922.31. Verordnung über die eidgenössischen Jagdbanngebiete (Jagdbanngebietsverordnung, VEJ) vom 30. September 1991 (Stand 15. Juli 2015).
- Thiel, D., Jenni-Eiermann S., Braunisch V., Palme R. & Jenni L. (2008) Ski tourism affects habitat use and evokes a physiological stress response in capercaillie *Tetrao urogallus*: a new methodological approach. *Journal of Applied Ecology* 45: 845–853.
- Thiel D., Signer C., Graf R.F., Wellig S.D., Nef U., Nigg H., Elmiger A. & Ammann A. (2018) Rothirsch in der Ostschweiz: Abschlussbericht des interkantonalen Forschungsprojekts in der Ostschweiz der Jahre 2014–2017.