



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

Schlussbericht November 2016

---

# **Vogelzugintensität und Anzahl Kollisionsopfer an Windenergieanlagen am Standort Le Peuchapatte (JU)**

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE

Forschungsprogramm Wind

CH-3003 Bern

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Auftragnehmer:**

Schweizerische Vogelwarte Sempach

Seerose 1

6204 Sempach

[www.vogelwarte.ch](http://www.vogelwarte.ch)

**Autoren:**

Dr. Janine Aschwanden, Schweizerische Vogelwarte Sempach, [janine.aschwanden@vogelwarte.ch](mailto:janine.aschwanden@vogelwarte.ch)

Dr. Felix Liechti, Schweizerische Vogelwarte Sempach, [felix.liechti@vogelwarte.ch](mailto:felix.liechti@vogelwarte.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Lionel Perret

**BFE-Programmleiterin:** Dr. Katja Maus

**BFE-Vertragsnummer:** SI/501139-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	5
Résumé .....	7
Summary .....	9
1 Einleitung.....	11
1.1 Ausgangslage und Ziele der Studie .....	11
1.2 Anwendung auf Schwellenwert zur Betriebseinschränkung .....	12
1.3 Fledermäuse.....	12
2 Methoden .....	13
2.1 Windpark am Standort Le Peuchapatte .....	13
2.2 Überblick Methodik der Studie und zeitlicher Ablauf.....	13
2.3 Radarstudie .....	14
2.3.1 Radarmessungen und Beschreibung des Radargeräts .....	14
2.3.2 Auswertung der Radardaten .....	15
2.3.3 Radarstandort.....	16
2.3.4 Höhenintervall der WEA und theoretisch kollisionsgefährdete Vögel.....	17
2.4 Schlagopferstudie.....	18
2.4.1 Suche nach Schlagopfern und Beschaffenheit des Untergrunds .....	18
2.4.2 Experiment zur Bestimmung der Sucheffizienz .....	20
2.4.3 Experiment zur Bestimmung der Verbleiberate .....	22
2.4.4 Anteil der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer.....	24
2.4.5 Hochrechnung effektive Anzahl Schlagopfer und absolute Kollisionsrate.....	27
2.4.6 Fotofallen.....	28
2.4.7 Röntgenanalyse Kadaver .....	28
2.5 Verknüpfung Radarstudie und Schlagopferstudie.....	28
2.5.1 Kollisionsrate pro WEA relativ zur Summe der durchziehenden Individuen .....	28
2.5.2 Kollisionsrate pro WEA relativ zur Summe der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel ..	29
2.5.3 Ausweichrate relativ zur Summe der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel .....	29
2.6 Meteorologische Bedingungen und Betriebsdaten der WEA.....	29
3 Ergebnisse .....	30
3.1 Radarstudie .....	30
3.1.1 Überblick Mittelwerte .....	30
3.1.2 Saisonaler Verlauf der Flugaktivität.....	30
3.1.3 Höhenverteilung der Zugintensität .....	32
3.1.4 Anzahl Individuen und theoretisch kollisionsgefährdete Vögel .....	33

3.2	Schlagopferstudie.....	34
3.2.1	Beschaffenheit des Untergrundes .....	34
3.2.2	Funde im Feld insgesamt und als Schlagopfer gewertete Funde .....	34
3.2.3	Sucheffizienz .....	42
3.2.4	Verbleiberate .....	43
3.2.5	Anteil der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer .....	45
3.2.6	Hochrechnung effektive Anzahl Schlagopfer und absolute Kollisionsrate .....	46
3.3	Verknüpfung Radarstudie und Schlagopferstudie.....	47
3.3.1	Kollisionsrate relativ zur Summe der durchziehenden Individuen .....	47
3.3.2	Kollisions- und Ausweichrate relativ zur Summe der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel .....	48
3.3.3	Zusammenhang Schlagopfer und Zugereignisse .....	49
3.3.4	Anwendung auf Schwellenwert zur Betriebseinschränkung .....	51
3.4	Meteorologische Bedingungen.....	51
3.5	Betriebsdaten Windpark .....	53
4	Diskussion.....	54
4.1	Unter- oder Überschätzung unterschiedlicher Werte .....	54
4.1.1	Individuen im Höhenbereich der WEA .....	54
4.1.2	Sucheffizienz .....	54
4.1.3	Verbleiberate und als Schlagopfer gewertete Kadaver.....	54
4.1.4	Anteil der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer und Distanzverteilung .....	56
4.1.5	Hochgerechnete Anzahl Schlagopfer und absolute Kollisionsrate .....	59
4.2	Zusammenhang Schlagopfer und Zugereignisse .....	59
4.3	Artenzusammensetzung und Artspezifität.....	60
4.4	Anwendung auf Schwellenwert zur Betriebseinschränkung .....	62
4.5	Aussagekraft und Repräsentativität der Studie .....	62
4.6	Schlussfolgerungen .....	64
4.7	Offene Fragen und Vorschlag Folgeprojekte .....	64
4.8	Gewonnene Erkenntnisse zur Methodik.....	65
5	Nächste Schritte .....	65
6	Danksagung .....	65
7	Referenzen.....	66
8	Anhang.....	68

## Zusammenfassung

Die Nutzung der Windenergie birgt für die Vogelwelt ein Konfliktpotenzial. Neben Habitatveränderungen und Habitatverlust werden die Kollisionen von Brut- und Zugvögeln an Windenergieanlagen (WEA) weltweit als einer der grössten Konfliktpunkte wahrgenommen. In der Diskussion zur Minderung der Anzahl Kollisionsopfer von in breiter Front ziehenden Vögeln wurde für die Schweiz vorgeschlagen, die WEA während Zeiten mit intensivem Vogelzug temporär abzustellen. Zur Festlegung dieser Minderungsmaßnahmen im Rahmen von Bewilligungsverfahren für Windenergieprojekte ist die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen der Anzahl der kollisionsgefährdeten Vögel, die an einem Ort durchzieht und dem Anteil dieser durchziehenden Vögel, welcher tatsächlich an WEA verunfallt, von zentraler Bedeutung.

Die einzige Methode, welche sich für die Ermittlung der an einem Ort durchziehenden Anzahl Vögel eignet, ist die Erfassung der Vögel mittels quantitativen Radarmessungen. Die vorliegende Studie ist nach unserem Kenntnisstand national und international die erste, in der parallel zu systematischen Schlagopfersuchen auch langfristige, quantitative Radarmessungen mit zur Messung des Vogelzugs kalibrierten Radargeräten durchgeführt wurden.

Zwischen März und November 2015 wurde am Standort Le Peuchapatte im Schweizer Jura (~ 1'100 m ü.M.) der Boden unter den drei WEA des 2010 eröffneten Windparks systematisch nach Überresten (Kadaver und Federreste etc.) von Vögeln abgesucht. Bei den WEA handelt es sich um den Typ Enercon E-82 mit einer Gesamthöhe (inkl. Rotor) von rund 150 m. Die Suchen erfolgten innerhalb eines Umkreises von 50 m (an 16 Terminen) oder 100 m (an 69 Terminen) um den Mast der WEA entlang von geraden Linien (Transekte) auf der Fläche ausserhalb des Waldes. An jedem der 85 Suchtermine (im Mittel alle 2.8 Tage, Spannweite der Suchintervalle 2–7 Tage) wurden alle drei WEA abgesucht. Für die Hochrechnung der Anzahl Schlagopfer wurden drei Korrekturfaktoren berücksichtigt: die Sucheffizienz, die Verbleiberate von Kadavern sowie die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer in der abgesuchten Fläche liegt. Zur Bestimmung der Sucheffizienz und der Verbleiberate von Kadavern wurden verteilt über die Untersuchungsperiode Testkadaver von Wildvögeln unterschiedlicher Grösse ausgelegt. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer in der abgesuchten Fläche liegt, beruht auf der Verteilung der Schlagopfer unter den WEA in Kombination mit der abgesuchten Fläche in Abhängigkeit der Distanz zur WEA. Die Zugintensitäten wurden kontinuierlich (24 h) während 265 Tagen (26.2. – 17.11.2015) mit einem Radar des Typs BirdScanMT1 quantitativ erfasst.

Unter den WEA wurden 51 Überreste von Vögeln gefunden und dokumentiert. 20 dieser Funde wurden aufgrund definierter Kriterien als Schlagopfer gewertet und flossen in die Hochrechnung ein (7 Sommergoldhähnchen, 2 Wintergoldhähnchen, 2 unbestimmte Goldhähnchen, 2 Stockenten und je 1 Misteldrossel, 1 Mauersegler, 1 Wacholderdrossel, 1 Singdrossel, 1 Rotkehlchen, 1 Blaumeise, 1 Feldschwirl). 8 intakte Kadaver wurden geröntgt und bei 6 davon wurden offensichtliche Frakturen festgestellt.

In Form von Wahrscheinlichkeiten mit einem Vertrauensintervall (VI) von 95 % betragen die Sucheffizienz 0.81 (VI: 0.57 – 0.93) und die tägliche Verbleiberate 0.93 (VI: 0.91 – 0.94). Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer in der abgesuchten Fläche liegt, war 40 %. Die Hochrechnung der Anzahl Schlagopfer, die auf diesen drei Korrekturfaktoren basiert, ergab mit einer Sicherheit von 95 % für die drei WEA im Median ein Total von 62 (VI: 43 – 89) Schlagopfern pro Jahr. Dies entspricht im Median einer absoluten Kollisionsrate von 20.7 (VI: 14.3 – 29.6) Schlagopfern pro WEA pro Jahr. Bei der Diskussion der Zahlen muss berücksichtigt werden, dass die Wahrscheinlichkeit beim Median 50 % beträgt, dass effektiv mehr als 20.7 Vögel pro WEA verunfallt sind. Beim Minimum von 14.3 Schlagopfern pro WEA beträgt diese Wahrscheinlichkeit knapp 97 % und für den Maximalwert von 29.6 liegt sie bei 2.3 %. Die Radarmessungen ergaben, dass im untersuchten Zeitraum ausgehend von der Fläche der drei Rotorblätter (nicht die überstrichene Fläche) und des Masts oberhalb von 30 m über Boden pro WEA 976 Vögel theoretisch kollisionsgefährdet waren. Von diesen kollisionsgefährdeten Vögeln verunfallten aufgrund der hochgerechneten Schlagopfer (relative Kollisionsrate) im Median 2.1 % (1.5 – 3.0 %) was einer Ausweichrate von 97.9 % (98.5 – 97.0 %) entspricht.

Die untersuchte Region im Schweizer Jura weist eine hohe Zugintensität auf. Der Median von 20.7 Schlagopfern pro WEA/Jahr (und auch der Minimalwert von 14.3 Schlagopfern pro WEA/Jahr) liegt höher als der für mögliche Betriebseinschränkungen diskutierte Wert von 10 Schlagopfern pro WEA pro Jahr. Die Zahlen erfordern eine länderübergreifende, kumulative Betrachtung. Zudem wurde die Hochrechnung zur Bestimmung der absoluten Kollisionsrate konservativ durchgeführt.

Kollisionsopfer waren vor allem nachziehende Kleinvogelarten, darunter die Goldhähnchen (kleinste europäische Vogelart). Dies scheint den bisherigen Befunden aus Europa zu widersprechen, wo vor allem die Kollisionsproblematik für Grossvögel (z.B. grosse Greifvögel) erforscht und diskutiert wird. Die Anzahl der Grossvögel, die sich vor Ort bewegt haben, kann anhand der Radardaten nicht separat quantifiziert werden. Sie macht aber jeweils nur einen geringen Teil der gesamten gemessenen Anzahl Vögel aus. Deshalb ist ein Kollisionsereignis für Grossvögel deutlich seltener zu erwarten als für Kleinvögel. Im untersuchten Zeitraum ist mit einer Wahrscheinlichkeit von 85 % weniger als 1 Grossvogel pro WEA verunfallt. Somit ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass bei Le Peuchapatte nicht jedes Jahr ein Grossvogel umkommt.

Die Kollisionsereignisse traten hauptsächlich während der Zugzeit auf. Innerhalb der Zugzeit ist eine Zuordnung der Totfunde zu bestimmten Zeitfenstern mit starken Zugintensitäten schwierig. Die Kollisionsereignisse schienen nicht immer unmittelbar im Zusammenhang mit hohen Zugintensitäten im Höhenbereich der WEA zu stehen. Dies zeigt, dass der Zusammenhang zwischen Zugintensität und Anzahl Kollisionsopfer innerhalb der Zugzeit komplexer ist, als bisher angenommen. Eine grosse Rolle dürften die meteorologisch bedingten Sichtverhältnisse gespielt haben. Die Berücksichtigung dieses Faktors könnte einen Beitrag zur Optimierung der diskutierten Betriebseinschränkungszeiten leisten. Meteorologisch bedingte Sichtverhältnisse sollten daher in künftigen Studien systematisch untersucht und einbezogen werden.

Die Ergebnisse dürften sich für in breiter Front ziehende Vögel, die nicht auf Thermik angewiesen sind, auf topografisch ähnliche Räume übertragen lassen. Die Übertragbarkeit auf alpine Standorte sowie für Standorte im Mittelland ist jedoch nicht gegeben. Zudem ist unklar, in wie weit sich die Ergebnisse auf höhere und grössere WEA übertragen lassen. Die Kollisionsrate könnte mit zunehmender Höhe und Grösse der WEA ansteigen, da die WEA weiter in den Zugstrom hineinragen. Ob die gefundenen Muster für das betroffene Artenspektrum repräsentativ sind oder spezifisch für das Untersuchungsjahr, ist ebenfalls noch unbekannt.

## Résumé

L'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas sans conséquences pour l'avifaune. Outre les modifications causées à leur habitat, voire leur perte, les collisions d'oiseaux nicheurs et migrateurs avec les éoliennes sont reconnues partout dans le monde comme l'un des aspects les plus problématiques de la question. Lors de la discussion menée en Suisse dans le but de limiter le nombre d'accidents pour les oiseaux qui migrent sur un large front, il a été proposé d'interrompre momentanément le fonctionnement des éoliennes pendant les périodes de forte migration. Pour pouvoir définir ces mesures de restriction dans le cadre des procédures d'autorisation de projets éoliens, il est essentiel de connaître précisément le rapport entre le nombre d'oiseaux à risque de collision qui passent sur un site et le nombre d'oiseaux qui sont effectivement victimes de collisions avec les éoliennes.

La seule méthode d'évaluation du nombre d'oiseaux passant par un site donné est celle consistant à effectuer des mesures quantitatives par radar. A notre connaissance, la présente étude est la seule, tant au niveau suisse qu'international, à avoir effectué un décompte systématique des victimes en parallèle à des mesures quantitatives à long terme en utilisant des radars calibrés pour la mesure des migrations.

Entre mars et novembre 2015, on a effectué un relevé systématique des restes d'oiseaux (cadavres, restes de plumes etc.) au pied des trois éoliennes du site du Peuchapatte, parc ouvert en 2010 dans le Jura suisse (env. 1 100 m d'alt.). Il s'agit d'installations de type Enercon E-82 d'une hauteur totale (y compris le rotor) de 150 m environ. Les recherches ont porté sur un rayon de 50 m (à 16 dates) ou de 100 m (à 69 dates) autour du mât des éoliennes, le long de lignes droites (transects) sur la surface hors forêt. Lors de chacune des 85 dates de visite (en moyenne tous les 2,8 jours, dans un intervalle allant de 2 à 7 jours), les trois éoliennes ont été examinées. Pour l'estimation du nombre de victimes, trois facteurs de correction ont été pris en compte : l'efficacité de la recherche, la probabilité de retrouver les cadavres avant leur disparition, et la probabilité qu'une victime se trouve dans la surface examinée. Pour déterminer l'efficacité de la recherche et la probabilité de retrouver les cadavres avant leur disparition, des cadavres-tests d'oiseaux sauvages de différentes tailles ont été déposés, pendant toute la période de recherche. La probabilité qu'une victime se trouve sur la surface examinée, quant à elle, est basée sur la répartition des victimes au pied de l'éolienne combinée à la distance de cette surface par rapport à l'éolienne. L'intensité des vols migratoires a été évaluée quantitativement en permanence (24h) pendant 265 jours (26.2. – 17.11.2015) à l'aide d'un radar de type BirdScanMT1.

51 restes d'oiseaux ont été retrouvés sous les éoliennes, et répertoriés. 20 de ces restes ont été enregistrés comme victimes, sur la base de critères précis, et pris en compte dans l'évaluation (7 roitelets à triple bandeau, 2 roitelets huppés, 2 roitelets non identifiés, 2 canards colverts, 1 grive draine, 1 martinet noir, 1 grive litorne, 1 grive musicienne, 1 rougegorge familier, 1 mésange bleue, 1 locustelle tachetée). 8 cadavres intacts ont été radiographiés, dont 6 ont montré des signes évidents de fractures.

Présentée sous forme de probabilité avec un intervalle de crédibilité (IC) de 95 %, l'efficacité de recherche est de 0.81 (IC: 0,57 – 0,93) et la probabilité journalière de retrouver un cadavre avant qu'il disparaisse de 0.93 (IC: 0,91 – 0,94). La probabilité qu'une victime se trouve dans la surface examinée est de 40 %. L'évaluation du nombre de victimes, prenant en compte ces trois facteurs de correction, donne donc pour les trois éoliennes, avec une certitude de 95 %, un total médian de 62 victimes par année (IC: 43 – 89). Cela correspond à un nombre de collisions médian absolu de 20,7 victimes par éolienne par année (IC: 14,3 – 29,6). Dans la discussion des résultats, on ne doit pas oublier que la valeur médiane indique une probabilité de 50% qu'il y ait dans les faits un nombre de victimes supérieur à 20,7. Pour le minimum de 14,3 victimes par éolienne, cette probabilité se monte à tout juste 97%, et pour la valeur maximale de 29,6, elle est de 2,3%. Les mesures radar montrent qu'au cours de la période d'étude, si l'on considère la surface des trois pales (mais pas celle qu'elles balayent) et du mât, 976 oiseaux étaient théoriquement à risque de collision au-dessus de 30 m de hauteur. D'après l'estimation du nombre de victimes (c'est-à-dire 20,7, voir plus haut), le taux de collision relatif parmi ces oiseaux à risque est de 2.1% d'oiseaux accidentés (valeur médiane ; 1.5 – 3.0%). Ce qui signifie un taux d'évitement de 97.9% (98.5 – 97.0%).

La région étudiée, dans le Jura suisse, voit passer beaucoup d'oiseaux migrateurs. La médiane de 20.7 victimes par éolienne et par année (ainsi que la valeur minimale de 14,3 victimes par éolienne et par année) est plus élevée que la valeur envisagée pour une possible restriction d'exploitation des éoliennes, c'est-à-dire 10 victimes par éolienne et par année. Les chiffres doivent être pris en considération à l'échelle transnationale et de façon cumulée. En outre, le taux absolu de collision a été estimé d'une façon conservatrice.

Les victimes de collision sont avant tout des petites espèces migrant la nuit, dont les roitelets (la plus petite espèce européenne). Cela semble contredire les constatations précédentes faites en Europe, où la problématique des collisions concerne surtout les gros oiseaux (p.ex. grands rapaces). Les données du radar ne permettent pas de distinguer les gros oiseaux parmi tous ceux ayant passé par le site, mais ils ne représentent en tous les cas qu'un faible pourcentage de la totalité des oiseaux enregistrés. Les collisions de gros oiseaux sont donc nettement moins à craindre que celles des petites espèces. Si l'on considère la période étudiée, il est probable à 85 % que l'on ne constate qu'un accident de gros oiseau par éolienne. Il est donc très probable qu'il n'y ait pas chaque année de gros oiseau victime des éoliennes au Peuchapatte.

Les collisions se produisent principalement pendant la période de migration. Au sein de ces phases, il est difficile d'attribuer les restes retrouvés à des fenêtres temporelles précises qui correspondraient à des phases de forte intensité des vols migratoires. Les accidents ne semblent pas toujours directement liés à des flux migratoires plus intenses à la hauteur des éoliennes. Cela montre que le rapport entre intensité de la migration et nombre de victimes de collisions, au sein de la période de migration, est plus complexe qu'on ne le pensait jusqu'à présent. Les conditions de visibilité, dépendantes de la météo, ont certainement joué un grand rôle. Il serait peut-être utile de prendre en compte ce facteur pour optimiser les principes de restriction d'exploitation des éoliennes qui sont en discussion. La visibilité liée à la météo doit en tous les cas être systématiquement traitée par les futures études sur le sujet.

Pour les oiseaux qui migrent sur un large front et ne sont pas tributaires de l'ascendance thermique, les résultats obtenus devraient pouvoir être généralisés aux sites similaires sur le plan topographique. Il n'est toutefois pas possible de les extrapoler aux sites alpins et à ceux du Plateau. Par ailleurs, on ne sait pas dans quelle mesure les résultats sont applicables aux éoliennes plus grandes et plus hautes. Il est possible que dans ces cas-là le taux de collision augmente, puisque les éoliennes atteignent alors encore davantage les flux migratoires. Enfin, on ne sait pas non plus pour l'heure si l'échantillon relevé est représentatif du spectre des espèces concernées ou s'il est spécifique à l'année étudiée.

Traduction: Caroline Gex Morier, filoplume

## Summary

Exploitation of wind energy holds a potential for conflict with bird life. Next to changes in habitat and loss of habitat, mortality of breeding and migratory birds from collisions is globally perceived to be one of the major problems. The solutions discussed in Switzerland to reduce the number of collisions of birds migrating on a broad front included the proposition to temporarily shut down wind turbines when migration intensity is high. In order to define measures that can be integrated into the authorisation procedures for wind power projects, it is essential to understand the relationship between the number of birds theoretically exposed to collisions and the number of birds which effectively collide.

The only suitable method for determining the number of birds passing a certain location is the detection of birds using quantitative radar measurements. To our knowledge, the present study is the first one nationally and internationally that combines a systematic carcass search study with simultaneously conducted quantitative radar measurements using a radar device calibrated for bird detection.

Between March and November 2015, the ground below the three wind turbines of the wind farm at Le Peuchapatte in the Jura mountains (~1100 m asl), erected in 2010, was systematically searched for bird remains (carcasses and feather spots etc.). The wind turbines were of the type Enercon E-82 with a total height (including the rotor) of about 150 m. Searches were carried out along straight lines (transects) outside of forested areas within a radius of 50 m (on 16 dates) or of 100 m (on 69 dates) around the base of the wind turbines. All three wind turbines were searched on each of the 85 search dates (on average every 2.8 days, range of search intervals 2–7 days). Three correction factors were considered for the extrapolation of the number of collision victims: search efficiency, persistence time of carcasses, and the probability of a carcass lying within the search area. Throughout the study period, test carcasses of wild birds of different sizes were deposited below the wind turbines to determine search efficiency and the persistence time of carcasses. The probability of a carcass lying within the search area was calculated based on the distribution of carcasses below a wind turbine combined with the search area depending on the distance to a turbine. Migration intensity was recorded continuously (24 h) during 265 days (26.2. – 17.11.2015) using the radar BirdScanMT1.

51 bird remains were found below the wind turbines and documented. According to certain criteria, 20 of these findings were classified as collision victims and therefore included in the extrapolation (7 Common Firecrests, 2 Goldcrests, 2 Crests unknown, 2 Mallards, 1 Mistle Thrush, 1 Common Swift, 1 Fieldfare, 1 Song Thrush, 1 European Robin, 1 Eurasian Blue Tit, 1 Common Grasshopper Warbler). Eight of the intact carcasses were examined by X-ray analysis; of these, six showed obvious fractures.

In terms of probabilities with a credibility interval (CI) of 95 %, the search efficiency was 0.81 (CI: 0.57 – 0.93) and the daily persistence time 0.93 (CI: 0.91 – 0.94). The probability of a carcass lying within the searched area was 40 %. With a certainty of 95 %, the result of the extrapolation of the number of collision victims based on these three correction factors is a median of 62 (CI: 43 – 89) collision victims per year for the three wind turbines combined. This corresponds in median to an absolute collision rate of 20.7 (CI: 14.3 – 29.6) birds per wind turbine per year. When discussing these numbers, one has to be aware that the median number means a probability of 50 % that the true value was higher than 20.7 birds per wind turbine. For the minimum value of 14.3 birds per wind turbine this probability is 97 %, and for the maximum value of 29.6 birds per wind turbine it is 2.3 %. Considering the surface of the three rotor blades (not the swept area) and the surface of the tower from 30 m upwards, radar data showed that 976 birds per wind turbine were theoretically exposed to a collision. The relation of the extrapolated number of collisions to the number of birds theoretically exposed to a collision (relative collision rate) showed that in median, 2.1 % (1.5 – 3.0 %) of the birds theoretically exposed to a collision were effectively colliding, which corresponds to an avoidance rate of 97.9 % (98.5 – 97.0 %).

The study area in the Swiss Jura mountains is characterised by high migration intensity. The median value of 20.7 bird collisions per wind turbine/year (and also the minimum value of 14.3 bird collisions per wind turbine/year) is larger than the value of 10 bird collisions per wind turbine/year which is currently being discussed as a benchmark for possible curtailment measures in wind energy exploitation.

The numbers need to be considered at a transnational, cumulative level. Furthermore, the extrapolation to determine the absolute collision rate was conducted conservatively.

Collision victims mainly belonged to nocturnally migrating small passerines, especially Crests (smallest European bird species). This seems to be contradictory to previous findings in Europe where the collision of large birds (e.g. large soaring birds) is the main topic of research and discussion. It is not possible to quantify the number of large birds separately based on the radar data. But the number is usually a small proportion of the total number of recorded birds. Therefore, the occurrence of a collision event for a large bird is expected to be much rarer than for small birds. In the study period, there is a probability of 85 % that less than 1 large bird collided per wind turbine. Therefore, the probability is high that collisions of large birds do not occur every year at Le Peuchapatte.

Collision events mainly occurred during migration periods. Within migration periods, the association of carcass findings with certain time frames of high migration intensity is difficult. Collision events did not seem to be always linked to high migration intensity at the height of the wind turbines. This means that the relation between migration intensity and number of collisions within the migration season is more complex than previously believed. Limited visibility due to meteorological conditions could be of major importance. Taking this factor into account might contribute to the optimisation of mitigation measures. Limited visibility caused by meteorological factors should be systematically considered in future studies.

The results of this study could be representative for topographically similar regions when it comes to birds migrating on a broad front that do not depend on thermals. However, the findings cannot be considered representative for alpine locations or locations in the Swiss midland. Furthermore, it is not known whether the results are transferrable to higher and larger wind turbines. Collision rates might increase with increasing height and size of wind turbines because these wind turbines interfere even more with the migration flux. In addition, it is not yet known whether the patterns of species composition found are representative, or specific to the study year.

Proofreading: Stephanie Morris

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Ziele der Studie

Die Nutzung der Windenergie mittels Windenergieanlagen (WEA), die zurzeit eine Gesamthöhe (inkl. Rotor) bis zu rund 200 m aufweisen, birgt für die Vogelwelt ein Konfliktpotenzial (Wang et al. 2015, Dai et al. 2015, Smith et al. 2016). Neben Habitatveränderungen und Habitatverlust werden die Kollisionen von Brut- und Zugvögeln an WEA weltweit als einer der grössten Konfliktpunkte wahrgenommen und Minderungsmaßnahmen gesucht (Marques et al. 2014, May et al. 2015, Smith & Dwyer 2016).

In der Diskussion zur Minderung der Anzahl Kollisionsopfer von in breiter Front ziehenden Vögeln wurde für die Schweiz vorgeschlagen, die WEA während Zeiten mit intensivem Vogelzug temporär abzustellen (Liechti et al. 2013b). Zur Festlegung dieser Minderungsmaßnahmen im Rahmen von Bewilligungsverfahren für Windenergieprojekte ist die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen der Anzahl der kollisionsgefährdeten Vögel, die an einem Ort durchzieht und dem Anteil der Vögel, welcher von diesen durchziehenden Vögeln tatsächlich an WEA verunfallt, von zentraler Bedeutung. Ziel der vorliegenden Studie war es, aus den kollisionsgefährdeten Vögeln den Anteil der tatsächlich an WEA verunfallenden Vögel zu bestimmen (Kollisions- und Ausweichrate). Zudem sollte die Methodik so gewählt werden, dass die Entdeckungswahrscheinlichkeit für Schlagopfer möglichst gross ist und folglich der Hochrechnungsfaktor klein gehalten werden kann.

Die einzige Methode, welche sich für die Messung der an einem Ort durchziehenden Anzahl Vögel eignet (auch in der Nacht und bei schlechten Sichtbedingungen), ist die Erfassung der Vögel mittels quantitativen Radarmessungen. Einerseits ziehen die meisten Vögel nachts und andererseits erlaubt das Radar die Erfassung der Vögel auch bei schlechten Sichtbedingungen mit Nebel, bei denen für Vögel die grösste Kollisionsgefahr vermutet wird. Innerhalb der Zugzeiten ca. Mitte Februar bis Ende Mai (Frühjahrszug) und Mitte August bis Mitte November (Herbstzug) sind die Zugintensitäten in Abhängigkeit meteorologischer Bedingungen räumlich und zeitlich stark variabel (Liechti 2006, Liechti et al. 2013a). Die Tage und Nächte mit starkem Vogelzug innerhalb der Zugperioden liegen zwischen den Jahren je nach globalen und lokalen Wetterlagen unterschiedlich verteilt. Damit die Vogelzugintensität an einem Ort repräsentativ erfasst werden kann, ist daher offensichtlich eine kontinuierliche Messung über einen längeren Zeitraum notwendig, damit die Tage und Nächte mit den stärksten Zugintensitäten erfasst werden und in den Datensatz eingehen können. Zudem müssen Radargeräte kalibriert sein, damit quantitative Daten erhoben werden können (Schmaljohann et al. 2008).

Eine Studie, die Radardaten mit Schlagopferdaten verknüpft, wurde von Krijgsveld et al. (2009) durchgeführt. Allerdings fanden die Radarmessungen lediglich in je drei Nächten im Oktober, November und Dezember (total 9 Nächte) statt, wodurch die repräsentative Erfassung von Vogelzugintensitäten nicht gegeben ist. Zudem wurde ein Gerätetyp (vertikal rotierende Balkenantenne, Furuno FR1510, Leistung 12 kW) eingesetzt, der für die Messung von Vögeln nicht kalibriert worden ist. Bei der Studie von BioConsult SH GmbH & Co. KG & ARSU GmbH (2010) handelt es sich um eine ausführliche gutachterliche Stellungnahme zum Einfluss von WEA auf den Vogelzug auf der Insel Fehmarn (D). Darin wurden Schlagopfer in vier Windparks systematisch gesucht und an vier Standorten Radarmessungen gemacht, wobei die Messungen jeweils an zwei Standorten gleichzeitig durchgeführt wurden (z.B. 2 Tage wurde an den Standorten 1 und 3 gemessen und danach 2 Tage an den Standorten 2 und 4, ein paar Tage später wiederum 2 Tage an den Standorten 1 und 3 etc.). So wurden ca. 20 Tage des Frühjahrszugs und 28 Tage des Herbstzugs abgedeckt. Bei den beiden Radargeräten handelte es sich ebenfalls um Geräte mit vertikal rotierender Balkenantenne (Typ: JMA-5310, Leistung 10 kW), die nicht zur Erfassung des Vogelzugs kalibriert worden sind. Aus diesen Radardaten wurden keine Zugintensitäten in Form einer Anzahl von Vögeln pro Kilometer und Stunde berechnet, eine Verknüpfung mit der Anzahl Schlagopfer fehlt.

Nach unserem Kenntnisstand ist dies weltweit die erste Studie, die gleichzeitig zu systematischen Schlagopfersuchen auch langfristige, quantitative Radarmessungen mit zur Messung des Vogelzugs kalibrierten Radargeräten durchgeführt hat.

## 1.2 Anwendung auf Schwellenwert zur Betriebseinschränkung

Im Rahmen der Diskussion zur Minderung der Anzahl Kollisionsopfer von in breiter Front ziehenden Vögeln wurde seitens der Schweizerischen Vogelwarte vorgeschlagen, die Windturbinen abzustellen, wenn an einem Ort ein gewisser Schwellenwert einer Zugintensität erreicht wird (Liechti et al. 2013b). Mangels ausreichender Daten wurde nach dem Vorsorgeprinzip ein Schwellenwert von 50 Vögeln pro km und h (Migration Traffic Rate 50 =  $MTR_{200m} 50^1$ ) vorgeschlagen. Dieser Wert basiert auf der Annahme, dass dadurch in der Schweiz bei maximal 1'000 realisierbaren WEA (Energierstrategie 2050) nicht mehr als 10 Vögel pro WEA pro Jahr verunfallen (Liechti et al. 2013b).

Mit dem Schwellenwert  $MTR_{200m} 50$  zur Betriebseinschränkung konnten bis jetzt noch nie Berechnungen mit konkreten Zahlen durchgeführt werden, weil die Kollisionsraten nicht bekannt waren und weil bislang noch keine lokalen, im Höhenbereich von WEA gemessenen Winddaten zur Verfügung standen (Berechnung des Produktionsausfalls während der Abschaltzeiten). Deshalb basierte der bis jetzt vorgeschlagene Schwellenwert auf einer groben Schätzung. Die vorliegende Studie bringt hinsichtlich dieser Diskussion einen relevanten Erkenntnisgewinn.

## 1.3 Fledermäuse

Für Fledermäuse ist das Risiko, dass diese durch WEA tödlich verletzt werden, grösser als für Vögel. Im Rahmen der Schlagopfersuche sind auch tote Fledermäuse gefunden und erhoben worden. Die Auswertung der Fledermausdaten ist jedoch nicht Bestandteil der vorliegenden Studie und wird im Rahmen eines separaten Projekts behandelt.

---

<sup>1</sup>  $MTR_{200m}$  = MTR im Höhenbereich der WEA (unterhalb von 200 m über Boden, vgl. 2.3.4)

## 2 Methoden

### 2.1 Windpark am Standort Le Peuchapatte

Zur Durchführung der Studie wurde der Windpark bei Le Peuchapatte im Kanton Jura ausgewählt. Der Windpark wurde 2010 errichtet, besteht aus drei WEA des Typs Enercon E-82 (<http://wind-data.ch/wka/>) und wird von der Juvent SA betrieben. Die WEA haben eine Nabenhöhe von 108 m und einen Rotordurchmesser von 80 m. Die Gesamthöhe der WEA inklusive Rotor beträgt somit rund 150 m (Abb. 1 und Abb. 4). Der Mastfuss der drei WEA befindet sich auf einer Höhe zwischen 1'125 m und 1'180 m ü.M.



Abb. 1. Zwei der drei WEA im Windpark bei Le Peuchapatte (Blickrichtung Südwest). Die WEA am Standort 2 befindet sich rechts im Bild (Standort Zentrum des Windparks), die WEA am Standort 3 befindet sich links im Bild (Standort West des Windparks). (Foto: Schweizerische Vogelwarte Sempach, 25.08.2015).

### 2.2 Überblick Methodik der Studie und zeitlicher Ablauf

Um die Anzahl der Vögel zu bestimmen, die sich im Höhenbereich der WEA bewegen, wurden zwischen März und November 2015 kontinuierlich während 24 h quantitative Radarmessungen durchgeführt. Im gleichen Zeitraum wurde unter den drei WEA an 85 Terminen nach Schlagopfern gesucht (Tab. 1). Die Suche fand pro Termin entlang von geraden Linien (Transekte) innerhalb eines Radius von 100 m um jede WEA statt. Zur Optimierung der Kosten wurde an 16 Terminen im Sommer nur ein Radius von 50 m abgesucht. Der Abstand zwischen den Transekten betrug 5 m. Durchschnittlich fand eine Suche alle 2.8 Tage in Zeitintervallen von zwei bis sieben Tagen statt (Anhang A1). Auf eine Referenzsuche in einem Gebiet auf freiem Feld ohne WEA wurde verzichtet. Eine Studie in den USA (Grodsky et al. 2013) zeigte, dass auf den Kontrollflächen ausserhalb des Windparks keine toten Vögel gefunden worden sind. Aufgrund dieser Erkenntnis in Kombination mit finanziellen Aspekten wurde auf diese Untersuchung bewusst verzichtet.

Für die Hochrechnung der Anzahl Schlagopfer ist die Bestimmung dreier Korrekturfaktoren essenziell: Die Sucheffizienz, die Verbleiberate und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer in der abgesuchten Fläche liegt. Zur Bestimmung der Sucheffizienz sowie der Verbleiberate für Kadaver wurden separate Experimente durchgeführt. An 11 Terminen wurden von unabhängigen Personen und ohne Kenntnis der Suchpersonen Testkadaver zur Bestimmung der Sucheffizienz ausgelegt. An 16 Terminen wurden zudem Testkadaver zur Bestimmung der Verbleiberate in der Nähe von Fotofallenkameras ausgelegt. Im Mittel wurden für die Bestimmung der Sucheffizienz alle 24 Tage 7.4 Testkadaver und für die Bestimmung der Verbleiberate alle 15 Tage vier Testkadaver ausgelegt.

Die Zahl der im Feld gefundenen Schlagopfer wurde basierend auf der Sucheffizienz, der Verbleiberate und der Wahrscheinlichkeit, dass ein Opfer überhaupt auf der abgesuchten Fläche liegt, anhand eines statistischen Modells hochgerechnet. Die hochgerechnete Anzahl der Schlagopfer wurde schliesslich einerseits in Relation zur Anzahl der Individuen gesetzt, welche sich im Höhenbereich der WEA bewegt haben und andererseits in Relation zur Anzahl der Individuen, welche theoretisch kollisionsgefährdet waren.

Tab. 1. Anzahl Tage mit Radarmessungen sowie Anzahl Termine zur Suche nach Schlagopfern und zum Auslegen von Testkadavern für die Bestimmung der Sucheffizienz und Verbleiberate pro Monat (siehe auch Anhang A1).

Saison	Monat	Radarmessungen (Anzahl 24h-Tage)	Suche nach Schlagopfern (Anzahl Termine)	Auslegen Testkader Sucheffizienz (Anzahl Termine)	Auslegen Testkader Verbleiberate (Anzahl Termine)
Frühling	Februar	3	-	-	-
	März	31	9	1	2
	April	30	12	1	2
	Mai	31	4	2	2
Sommer	Juni	30	9	2	2
	Juli	31	10	1	2
	August 1. Hälfte	15	6	1	1
Herbst	August 2. Hälfte	16	7	1	1
	September	30	13	1	2
	Oktober	31	13	1	2
	November	17	2	0	0
Total		265	85	11	16

## 2.3 Radarstudie

### 2.3.1 Radarmessungen und Beschreibung des Radargeräts

Die Radardatenaufnahmen erfolgten an 265 Tagen vom 26.02.2015 (16:00 Uhr) bis 17.11.2015 (14:00 Uhr) kontinuierlich während 24 h.

Verwendet wurde ein Fixbeam-Radargerät Modell Swiss BirdScanMT1 (Bruderer et al. 2012; www.swiss-birdradar.com). Dieses Radarmodell ist ein für Vogelbeobachtungen modifiziertes Radar des Typs Sperry Marine Bridgemaster 65825H. Die Wellenlänge des Radars beträgt 3 cm (X-Band Radar), hat einen nominalen Peak Power Output von 25 kW und eine Pulsfrequenz von 1'800 Hz. Kleinvögel können bis auf eine Distanz von ca. 4 km und grosse Vögel sowie Schwärme auf eine Distanz von rund 6 km erfasst werden. Die Daten werden digital gespeichert.

Zur Überwachung des vom Radar gesamthaft abdeckbaren Luftraumes wurde der Radarstrahl quer zur Hauptzugrichtung alle vier Minuten auf eine andere Elevation (Höhenwinkel) eingestellt. Während den vier Minuten auf einer Elevation misst das Radar unverändert in eine Richtung (Abb. 2). Mit dieser Messmethode wird der Vogelzug quantitativ erfasst und es können Zugintensitäten auf unterschiedlichen Höhenstufen bestimmt werden.

Die Wahl des Höhenwinkels muss so abgestimmt werden, dass eine Radarmessung auf einer bestimmten Elevation von möglichst wenigen Bodenechos beeinträchtigt wird. Bodenechos sind Reflektionen des Radarstrahls, die von der Umgebung selbst sowie von Objekten in der Umgebung zurückgeworfen werden. Sie sind unerwünscht, weil sie Vogeleos überlagern können. Die Bodenechos sind je nach Topographie der Umgebung unterschiedlich, wodurch für jeden Standort spezifische Elevationen gewählt werden müssen. Nachtsüber (22:00-05:00, UTC +1) sind im Verlauf einer Stunde

jeweils in die Richtungen Nordwest (332°) und Südost (135°) auf sechs Elevationen je eine Messung à vier Minuten durchgeführt worden (Tab. 2). Jede Stunde wurde in der ersten Hälfte jeweils in Richtung Nordwest und in der zweiten Hälfte in Richtung Südost gemessen. Tagsüber (05:00-22:00, UTC +1) fanden die Messungen aus Sicherheitsgründen<sup>2</sup> nur in Richtung Nordwest statt, wobei der Messzyklus pro Stunde zweimal wiederholt worden ist.

Tab. 2. Liste der gemessenen Elevationen pro Richtung, Stundenabschnitt und Zeitfenster.

Zeitfenster (UTC +1)	Stundenabschnitt (min)	Messrichtungen (in Grad °) und Himmelsrichtung		Elevationen (°)
22:00 bis 05:00 (Nacht)	01-30	332	NW	2.8, 5.6, 11.3, 30.0, 45.0, 67.5
	31-00	135	SO	5.6, 11.3, 16.9, 30.0, 45.0, 67.5
05:00 bis 22:00 (Tag)	01-30	135	NW	2.8, 5.6, 11.3, 30.0, 45.0, 67.5
	31-00	135	NW	2.8, 5.6, 11.3, 30.0, 45.0, 67.5

### 2.3.2 Auswertung der Radardaten

Das Datenauswertungsverfahren besteht aus mehreren Schritten. In einem ersten Schritt werden für jede Einzelmessung à vier Minuten die Boden- und sonstigen Störechos ausgeschieden (z.B. Regenwolken). Im nächsten Schritt werden die verbleibenden Echos mittels einer Software detektiert und klassiert. Bei der Klassierung wird entschieden, ob ein Echo von einem Vogel stammt oder nicht. Diese Klassierung beruht auf der Analyse der Schwankung der Echointensität in Form von „Flügel-schlagmustern“ (Abb. 2 und Abb. 3; Zaugg et al. 2008; Bruderer et al. 2010). Die Identifizierung der Flügelschlagmuster von Grossvögeln (z.B. Greifvögel und Störche) ist derzeit technisch nicht möglich.

Da sich das vom Radar überwachte Volumen des Luftraums auf die Vogelgrösse bezieht (grosse Vögel können auf eine weitere Entfernung detektiert werden als kleine Vögel), wird der im Mittel überwachte Luftraum anhand der Verteilung der Vogelechogrößen bestimmt. Aus der Anzahl Vögel pro Zeit und überwachtem Raum wird die so genannte „Migration Traffic Rate“ ( $MTR_{total}$ ) errechnet (Schmaljohann et al. 2008). Sie drückt aus, wie viele Vögel eine hypothetische Linie von einem Kilometer Länge senkrecht zur Zugrichtung während einer Stunde überfliegen (Anzahl Vögel/[km\*h]).

Nachts ziehen Vögel meist einzeln oder in genügend grossen Abständen, so dass sie vom Radar als einzelne Echos erfasst werden. Dementsprechend können die nächtlichen Zugintensitäten als Abbild der absoluten Zahlen interpretiert werden. Tagsüber fliegen viele Vogelarten allerdings in kleineren Trupps bis grossen Schwärmen, wodurch das Radar die Vögel nicht mehr einzeln erfassen kann. Ein Schwarm von Kleinvögeln reflektiert dabei meistens nur ein Echo. Infolgedessen sind die Tagzugintensitäten relative Angaben der Zugintensität.

Als Grenze zwischen Tag- und Nachtzug gilt der Zeitpunkt des „civil twilight“ (Sonne 6° unter dem Horizont; Komenda-Zehnder et al. 2010).

<sup>2</sup> Der Wanderweg verlief unmittelbar neben dem Radargerät. Um sicher zu gehen, dass keine Passanten über längere Zeit im Einflussbereich der Radarstrahlung stehen bleiben, wurde die Messrichtung Südost tagsüber ausgelassen.

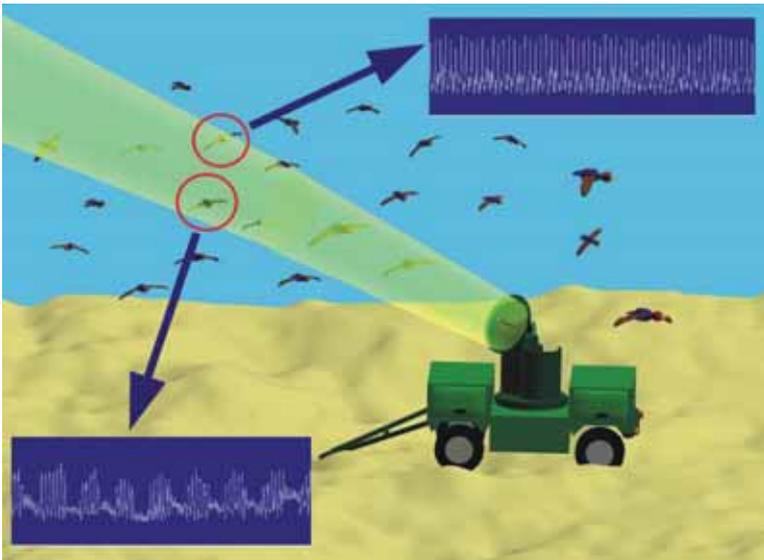


Abb. 2. Prinzip der Fixbeam-Messung. Das Radar strahlt feststehend in eine Richtung, und jeder Vogel, der durch den Radarstrahl fliegt, wird erfasst. Gleichzeitig wird das Flügelschlagmuster aufgezeichnet.

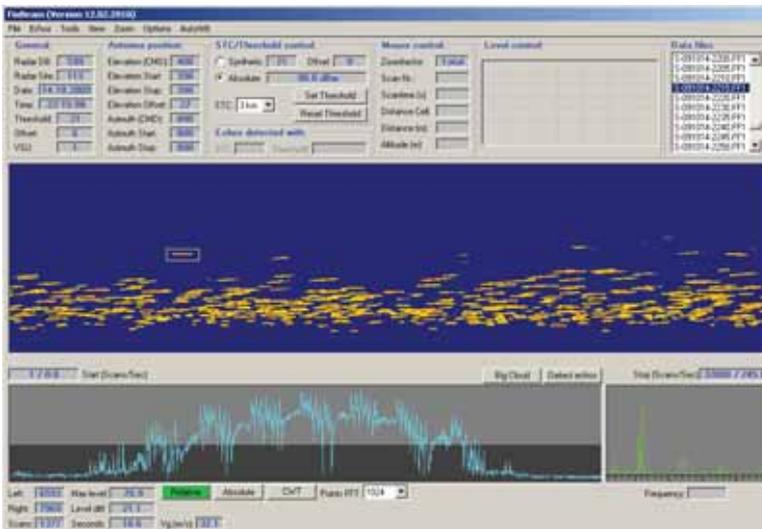


Abb. 3. Benutzeroberfläche der Auswertungssoftware. Das blau hinterlegte Fenster zeigt die Verteilung der Echos in der Distanz (von unten nach oben) und im zeitliche Verlauf (von links nach rechts). Orange dargestellt sind die Echos, die während einer Fixbeam-Messung à 4 Minuten aufgezeichnet worden sind. Von einem ausgewählten Einzelecho (eingerahmt) wird das Flügelschlagmuster (unten links, hellblau) und die Flügelschlagfrequenz (unten rechts, grün) aufgezeigt. Das Flügelschlagmuster des ausgewählten Echos ist typisch für einen Singvogel.

### 2.3.3 Radarstandort

Der Standort für die Radarbeobachtungen lag bei „Le Roselet“ auf 1'050 m ü.M. (567'312/230'508) 3.5 km nordöstlich von Le Peuchapatte und 1.3 km nordöstlich von „Les Breuleux“ (Abb. 4). Mit der Wahl dieses Standortes konnte der Radarstrahl quer zur generellen Zugrichtung der Vögel (nordöstlich im Frühling und südwestlich im Herbst) ausgerichtet und die Breite des Plateaus der Freiberge abgedeckt werden. Messrichtung und Standort wurden so ausgewählt, dass möglichst wenig störende Bodenechos die Messungen beeinträchtigten.

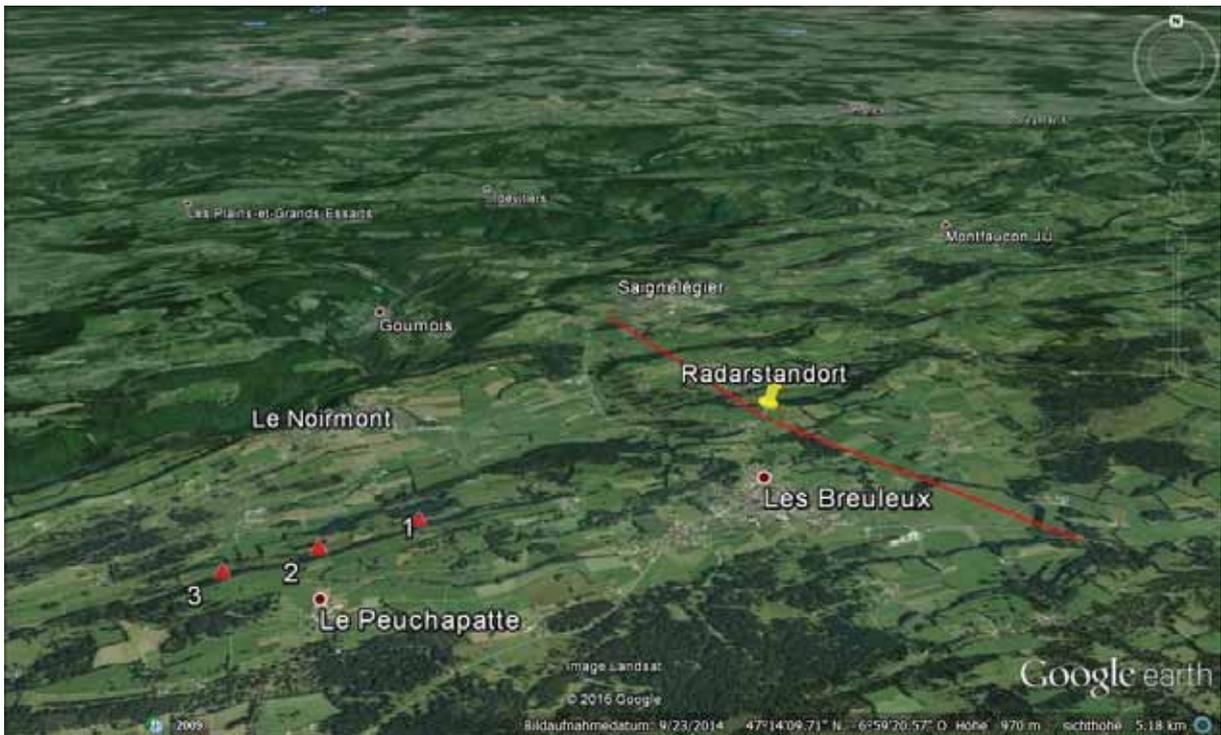


Abb. 4. Standort des Radargerätes (gelber Pin), die beiden Messrichtungen (rote Linien) sowie die Standorte der drei Windturbinen bei Le Peuchapatte (rote Dreiecke 1-3).

### 2.3.4 Höhenintervall der WEA und theoretisch kollisionsgefährdete Vögel

Mit den Radardaten wurden die Zugintensitäten für alle Höhenintervalle in 50 m-Abschnitten über dem Standort des Radargeräts berechnet. Der vom Radar abgedeckte Luftraum, in welchem die Vögel mit den WEA konfrontiert werden, umfasst vier 50 m-Abschnitte, also insgesamt 200 m zwischen 1'150 bis 1'350 m ü.M. Die Zugintensität, die sich auf dieses Höhenintervall von 200 m bezieht, wird als Zugintensität des Höhenintervalls der WEA bezeichnet. Ausgehend von der  $MTR_{total}$  (vgl. Kap. 3.1.2) ist diese Zugintensität als Anzahl Vögel zu verstehen, die pro Stunde eine senkrechte Fläche von 200 m Höhe und 1'000 m Länge durchfliegen ( $MTR_{200m}$ , Abb. 5).

Frontal betrachtet, deckt eine WEA in diesem Fenster einen Teil der Fläche ab, die für Vögel als Kollisionsfläche angenommen werden kann. Die Fläche der drei Rotorblätter (nicht die überstrichene Fläche) zusammen mit der Fläche des Masts ab 30 m über Boden<sup>3</sup> einer WEA Enercon E-82 beträgt rund 500 m<sup>2</sup> und deckt 0.25 % der Fläche des Fensters ab. Geht man davon aus, dass die Vögel das Fenster ohne Ausweichverhalten geradlinig und im Luftraum gleichmässig verteilt durchqueren sowie dabei den Luftraum zwischen den Rotorblättern unbeschadet passieren können, so würden 0.25 % aller durchziehenden Vögel mit der WEA kollidieren. Dieser Anteil der Vögel stellt die theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel dar. Die theoretische Kollisionsrate beträgt somit 0.25 %.

<sup>3</sup> Teil des Masts, oberhalb der Baumkronen

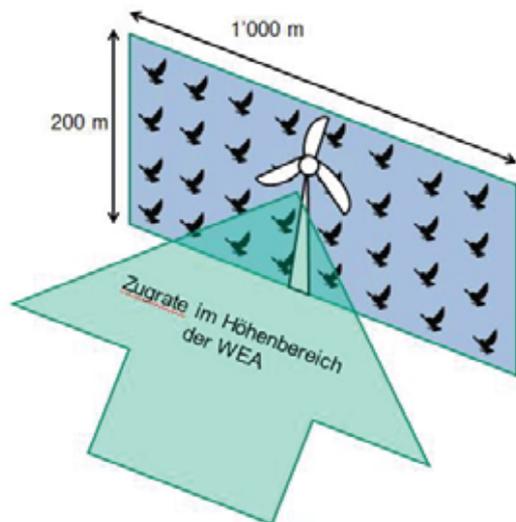


Abb. 5. Illustration zur Zugintensität (Zugrate als Vögel pro km und h) im Höhenbereich der WEA (=  $MTR_{200m}$ ) und zu den Annahmen betreffend die Anzahl der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel. Die Fläche der Rotorblätter der WEA (nicht die überstrichene Fläche) zusammen mit dem Mast ab 30 m über Boden und der Nabe decken 0.25 % der Fläche des Fensters ab, welches die Vögel im Luftraum gleichmässig verteilt durchqueren. Eine unbeschadete Passage zwischen den Rotorblättern wird als möglich angenommen.

## 2.4 Schlagopferstudie

### 2.4.1 Suche nach Schlagopfern und Beschaffenheit des Untergrunds

Die Suchen erfolgten an total 85 Terminen entlang von Transekten (Abb. 6 und Abb. 7) mit einem Abstand von 5 m innerhalb eines Radius von 100 m (an 69 Terminen) oder innerhalb eines Radius von 50 m (an 16 Terminen) um den Mastfuss der WEA herum (siehe Anhang A1). In den Zeiträumen vom 01.03.–31.05.2015 und vom 22.08.–15.11.2015, welche ungefähr die Zugzeiten abdecken, fanden alle Suchen innerhalb eines Radius von 100 m statt (58 Termine). In der Zeitperiode vom 01.06.–21.08.2015 wurde pro Woche einmal ein Radius von 100 m (11 Termine) und zusätzlich ein oder zwei Mal ein Radius von 50 m (16 Termine) abgesucht. Zur Markierung der Transekte wurde beim Ablaufen der Strecken jeweils mittels GPS am Anfangs- Mittel- und Endpunkt eines Transekts eine Stange eingesteckt (Abb. 8).

Pro Termin wurden alle drei WEA von einer Person abgesucht. An 53 Terminen wurden die Suchen von Person 1 und an 33 Terminen von Person 2 durchgeführt.

Zur Dokumentation der Feldbedingungen, zur Erfassung von Funden im Feld sowie zum Einhalten der Transekte wurde ein Tablet Samsung Galaxy Active zusammen mit der Open Source Software Geopaparazzi (<http://geopapa-razzi.github.io/geopaparazzi/>) genutzt. Mittels der Software konnten georeferenzierte, punktgenaue Notizen und Fotos aufgenommen werden.

Bei jeder Suche wurde pro WEA die prozentuale Zusammensetzung der Beschaffenheit des Untergrundes geschätzt (z.B. 20 % kurze Vegetation, 80 % mittelhohe Vegetation). Der Untergrund bestand aus Grünland und wurde in Absprache mit den lokalen Landwirten möglichst kurz gehalten. Die Fläche unter der WEA im Osten diente ab Mitte Juli 2015 und bei den anderen beiden WEA ab Mitte September 2015 als Weideland für Rinder. Im März 2015 lag bis Ende Monat teilweise noch Schnee. Die Beschaffenheit des Untergrundes wurde in die Kategorien „Schnee“, kurze Vegetation (0–5 cm), mittelhohe Vegetation (5–10 cm) und lange Vegetation (> 10 cm) eingeteilt.

Im Feld wurden auch die Totfunde sämtlicher Säugetierarten und deren Überreste dokumentiert (Fledermäuse, Maulwürfe, Mäuse, Spitzmäuse). Alle Funde wurden jeweils vollständig entfernt.

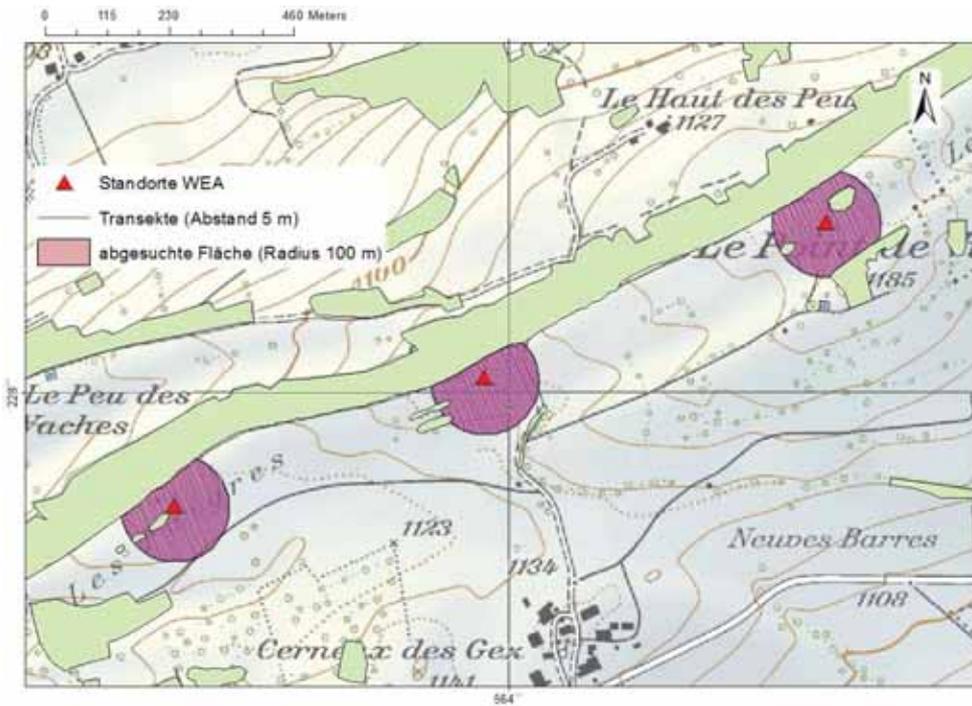


Abb. 6. Abgesuchte Fläche in einem Umkreis von 100 m mit Transekten. (PK25 © swisstopo).



Abb. 7. Transekte im Umkreis von 100 m um eine Windturbine im Schnee am Standort Le Peuchapatte entlang welcher die Suche nach Schlagopfern stattgefunden hat (6.3.2015, NATURA biologie appliquée, Sàrl).



Abb. 8. Suchende Person mit Tablet und Markierungsstange unter der WEA am westlichen Standort (21.8.2015, Schweizerische Vogelwarte Sempach).

## 2.4.2 Experiment zur Bestimmung der Sucheffizienz

Die Sucheffizienz ist einer der drei Korrekturfaktoren, der in die Hochrechnung der Anzahl Schlagopfer einfließt. Zur Bestimmung der Sucheffizienz wurden ohne das Wissen der suchenden Personen insgesamt 82 Testkadaver von Vögeln ausgelegt. Das Auslegen fand verteilt über den gesamten Untersuchungszeitraum an 11 Terminen (Anhang A1) jeweils morgens in einem Zeitfenster von zwei Stunden vor Beginn der Suchen statt. Person 1 wurde an 5 Terminen und Person 2 an 6 Terminen getestet. Die Koordinaten zum Auslegen der Kadaver wurden mittels ArcView GIS zufällig bestimmt (Abb. 9). Pro Termin wurden 5–10 Testkadaver unterschiedlicher Grössenklassen unter den drei WEA verteilt platziert (durchschnittlich 8.2 Vögel pro Termin).

Bei den Testkadavern handelte es sich um Wildvögel, die auf der Vogelpflegestation ohne Euthanasie verstorben waren und um verendet gefundene Wildvögel, für die ein Tierpräparator keine Verwendung mehr fand. Die Testkadaver wurden in drei Grössenklassen von Vögeln eingeteilt (Abb. 10, Anhang A2): 1. Klein (< Amsel), 2. mittel (Amsel bis Strassentaube), 3. gross (> Strassentaube).

Damit keine Verwechslungen mit Kadavern von tatsächlichen Schlagopfern auftreten konnten, wurden die Federspitzen der Testkadaver an den Flügeln und am Schwanz als Kennzeichnung mit einer Schere abgeschnitten. Zudem wurde jeder Testkadaver über eine Schnur an einem Bein mit einem Holzspieß vor Ort im Boden verankert. Dadurch wurde gewährleistet, dass Testkadaver nicht ohne Weiteres entfernt werden konnten, bevor die Suchen stattgefunden haben (Abb. 11 bis Abb. 14). So bestand auch die Möglichkeit, dass zumindest Überreste am Holzspieß hängen blieben (Abb. 15), wenn ein Testkadaver doch bereits prädiert wurde, bevor die suchenden Personen die Chance hatten, den Testkadaver zu finden. Nach der Schlagopfersuche wurden die Testkadaver wieder eingesammelt, die im Rahmen der Suche nicht gefunden worden waren.

Die statistische Analyse wurde mit der Software R 3.2.3 durchgeführt (R Development Core Team 2015). Dabei wurden die Wahrscheinlichkeiten, dass ein Kadaver gefunden wird, basierend auf gemischten Binomialmodellen (gefunden/nicht gefunden) bestimmt (Bates 2005). Für die Berechnung der statistischen Unsicherheit verwendeten wir Bayes'sche Methoden basierend auf flachen A-priori-Verteilungen. Die Werte der so berechneten Unsicherheitsintervalle ("Kredibilitätsintervalle") entsprechen weitestgehend den Werten der mittels frequentistischen Methoden erhaltenen Vertrauensintervallen. Der besseren Verständlichkeit zuliebe, verwenden wir für solche Unsicherheitsintervalle das Wort Vertrauensintervall (VI). Die "joint posterior distribution" wurde mit der funktion "sim" aus dem

Packet "arm" berechnet (Gelman and Hill 2007). Diese Berechnungsmethoden liegen der Funktion „search.efficiency“ aus dem R-Paket „carcass“ zugrunde (Korner et al. 2015a). Die Funktion wurde leicht modifiziert, um den Einfluss der Vogelgrösse und der Vegetationshöhe auf die Sucheffizienz zu bestimmen. Die mittlere Sucheffizienz unabhängig von der Vogelgrösse und der Vegetationshöhe wurde hingegen separat mit einem linearen gemischte Effekte Modell (Funktion „glm“) mit der Vogelgrösse als „random factor“ berechnet, da die Funktion „search.efficiency“ hierfür nicht optimal anwendbar war. Grund dafür war, dass sämtliche Testkadaver der Grössenklasse 3 (gross) gefunden worden waren (= 100 % gefunden), womit das Modell nicht umgehen konnte.

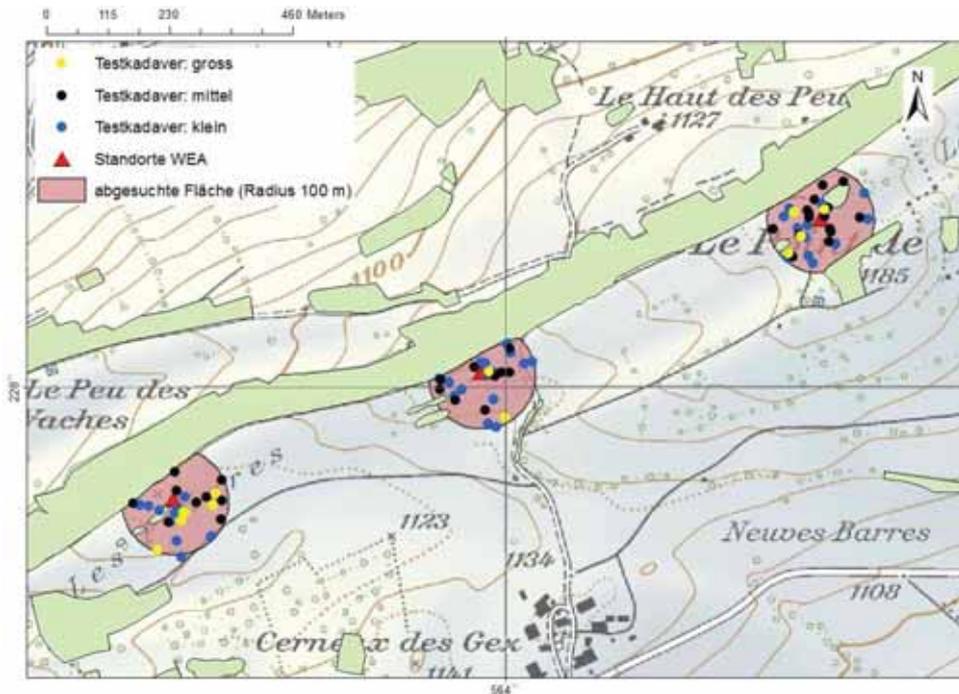


Abb. 9. Verteilung der 82 Testkadaver zur Bestimmung der Sucheffizienz pro Grössenklasse (blau: klein, schwarz: mittel, gelb: gross) unter den drei WEA (rote Dreiecke). (PK25 © swisstopo).



Abb. 10. Testkadaver unterschiedlicher Grössenklassen mit Schnur und Holzspiess. Die Federspitzen am Schwanz und an den Flügeln wurden zur Markierung mit einer Schere abgeschnitten.



Abb. 11. Im Feld (Vegetationshöhe: kurz) ausgelegter Testkadaver (Haussperling) der Grössenklasse 1 (klein). Schnur und Holzspiess befinden sich unter dem Testkadaver.



Abb. 12. Im Feld (Vegetationshöhe: kurz) ausgelegter Testkadaver (Sperber) der Grössenklasse 2 (mittel). Schnur und Holzspieß befinden sich unter dem Testkadaver.



Abb. 13. Im Feld (Vegetationshöhe: lang) ausgelegter Testkadaver (Sperber) der Grössenklasse 2 (mittel). Der Kadaver ist im hohen Gras kaum sichtbar.



Abb. 14. Testkadaver (Kleiber) der Grössenklasse 1 (klein) im Feld. Schnur und Holzspieß befinden sich unter dem Testkadaver.



Abb. 15. Überrest eines Testkadavers (Türkentaube) der Grössenklasse 2 (Vegetationshöhe: lang). An der Schnur befindet sich nur noch ein Bein. Der Rest des Kadavers ist verschwunden.

### 2.4.3 Experiment zur Bestimmung der Verbleiberate

Die Verbleiberate ist einer der drei Korrekturfaktoren, der in die Hochrechnung der Anzahl Schlagopfer einfließt. Zur Bestimmung der Verbleiberaten wurden auf den Suchflächen unter den WEA im Verlauf der Untersuchungsperiode an 16 Terminen (Anhang A1) total 65 Testkadaver von Wildvögeln unterschiedlicher Grössenklassen ausgelegt (Anhang A3). Das Auslegen der Testkadaver erfolgte jeweils möglichst im Erfassungsbereich von Fotofallenkameras, die an 8 Standorten installiert worden waren (vgl. Kap. 2.4.6). Pro Termin wurden jeweils 3–5 Testkadaver ausgelegt (im Mittel 4.1 pro Termin). Die Testkadaver stammten von Vögeln, die in den Vogelpflegestationen Bois du Petit Château, La Chaux-des-Fonds, und der Vogelwarte Sempach ohne Euthanasie verstorben waren.

Im Rahmen jeder regulären Suche wurde dokumentiert, ob ein Testkadaver noch präsent war. War ein Testkadaver oder dessen Überreste noch da, wurde der Zustand des Testkadavers fotografiert. Die Dokumentation erfolgte mit dem Tablet Samsung Galaxy Active (vgl. Kap. 2.4.1). Anhand der Bilder der Fotofallen wurden die Vorgänge bei den Testkadavern qualitativ ausgewertet und versucht, den Zeitpunkt und Urheber eines allfälligen Verschwindens zu eruieren.

Die statistische Analyse) wurde mit den Programmen R 3.2.3 (R Development Core Team 2015) und BUGS (Lunn et al. 2013) durchgeführt. Dabei handelt es sich um discrete-time Überlebensanalysen. Das Überlebensmodell wurde mittels Markov Chain Monte Carlo (MCMC) Simulationen an die Daten angepasst. Mit dieser Methode können auch bei komplexen Modellen „posterior distributions“ und damit die statistische Unsicherheit der Parameter eines Modells geschätzt werden. In einer ersten Analyse wurde untersucht, wie gross die Wahrscheinlichkeit ist, dass von einem Kadaver am nächsten Tag noch mehr als zehn Federn gefunden werden können (Verbleiberate) und wie viele Tage es dauert, bis nur noch zehn Federn vorhanden sind (Verweildauer). In einer zweiten Analyse wurde bestimmt, wie viele Tage es dauert, bis ein Kadaver entweder vor dem Zerfall durch Verwesung spur-

los verschwindet oder bis ein Kadaver vor Zerfall durch Verwesung so prädiert worden ist, dass nur noch Federn vorhanden sind. Von Testkadavern, die vor dem Zerfall durch Verwesung prädiert worden sind, waren jeweils direkt nach dem Ereignis noch deutlich mehr als zehn Federn auffindbar. Die Federn wurden schliesslich im Verlauf der Zeit immer weniger und schlechter sichtbar (Abb. 16 bis Abb. 22).



Abb. 16. Montag 06.07.2015: Als Testkadaver wurde eine Taube ausgelegt.



Abb. 17. Donnerstag 09.07.2015: Von der Taube, die am 06.07.2015 ausgelegt worden ist, sind nur noch Federn übrig.



Abb. 18. Montag 13.07.2015: Reste der Taube, die am 06.07.2015 ausgelegt worden ist.



Abb. 19. Donnerstag 16.07.2015: Reste der Taube, die am 06.07.2015 ausgelegt worden ist.



Abb. 20. Montag 20.07.2015: Reste der Taube, die am 06.07.2015 ausgelegt worden ist.



Abb. 21. Donnerstag 23.07.2015: Reste der Taube, die am 06.07.2015 ausgelegt worden ist.



Abb. 22. Montag 27.07.2015: Reste der Taube, die am 06.07.2015 ausgelegt worden ist.

#### **2.4.4 Anteil der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer**

In der Regel kann bei Schlagopferstudien nie die gesamte Fläche, die notwendig wäre, abgesucht werden. Häufig ist ein Teil der Fläche von Wald bedeckt und/oder ökonomische Gründe erfordern, dass der Suchaufwand auf eine kleinere Fläche reduziert wird. Aus diesen Gründen muss die Wahrscheinlichkeit bestimmt werden, dass ein Schlagopfer überhaupt in der abgesuchten Fläche liegt. Diese Wahrscheinlichkeit ist einer der drei Korrekturfaktoren, der in die Hochrechnung der Anzahl Schlagopfer einfließt.

Um diese Wahrscheinlichkeit zu berechnen muss die Grösse der notwendigen Suchfläche festgelegt (Kap. Bestimmung der notwendigen Suchfläche) und davon der Anteil der Fläche bestimmt werden, der abgesucht wurde (Kap. Bestimmung des Anteils der abgesuchten Fläche). Diese Flächenanteile werden mit der Verteilung der Schlagopfer in Abhängigkeit der Distanz zum Mastfuss der WEA verrechnet (Kap. Auswahl der Distanzverteilung der Schlagopfer und Kap. Anteil der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer).

##### ***Bestimmung der notwendigen Suchfläche***

Basierend auf diversen Informationen und Studien (vgl. Diskussion Kap. 4.1.4) wurde festgelegt, dass die Fläche innerhalb eines Radius von 150 m um den Mastfuss einer WEA als Suchfläche gelten müsste. Aus methodischen Gründen wurde schliesslich als Kompromiss beschlossen, dass zur Berechnung des Korrekturfaktors eine notwendige Suchfläche mit Radius 140 m berücksichtigt wird.

##### ***Bestimmung des Anteils der abgesuchten Fläche***

Von der notwendigen Suchfläche (Radius 140 m) konnte lediglich ein gewisser Teil abgesucht werden. Ein Teil der notwendigen Suchfläche war von Bäumen bewachsen und aus ökonomischen Gründen wurden die Suchen auf eine Fläche innerhalb eines Radius von 100 m (69 Termine) oder 50 m (16 Termine) beschränkt. Die von Bäumen bedeckte Fläche, sowie die Fläche ausserhalb der Suchradien bis zu einer Distanz von 140 m (Begründung siehe nachfolgende Kapitel) wurde bei der Berechnung des Korrekturfaktors als „nicht abgesucht“ gewertet.

Die notwendige Suchfläche unter jeder WEA wurde mittels ArcView GIS in 20 m breite konzentrische Distanzringe eingeteilt. Pro Distanzring wurde für jeden Suchtermin der Anteil bestimmt, der abgesucht worden ist. Lediglich einmal konnte ein Teil der Fläche unter der WEA West wegen einem Schneesturm am 01.04.2015 nicht mehr abgesucht werden. Dieser Teil der Fläche galt für diesen Suchtermin als „nicht abgesucht“.

Pro Distanzring wurde der Anteil der abgesuchten Fläche über alle Suchtermine hinweg gepoolt. Die innersten beiden Distanzringe waren durch die Suchen am besten abgedeckt, da diese am wenigsten von Bäumen bedeckt waren (Abb. 25). Die äussersten beiden Distanzringe wurden aus ökonomischen Gründen nicht abgesucht.

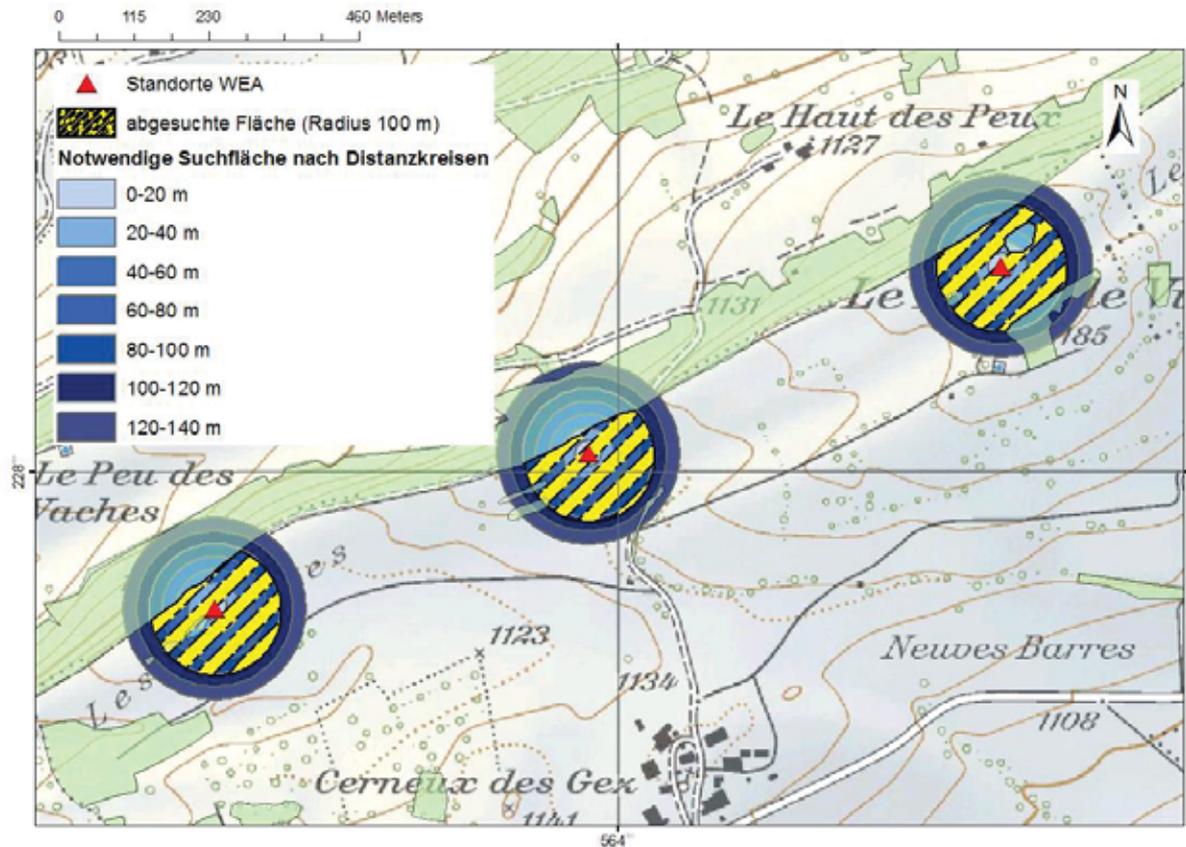


Abb. 23. Als Kompromiss festgelegte notwendige Suchfläche mit einem Radius von 140 m eingeteilt nach Distanzkreisen (Ringe in Blautönen) und abgesuchte Fläche (gelb schraffiert) unter Anwendung eines Suchradius von 100 m (69 Suchtermine) pro WEA (rote Dreiecke) sowie mit Bäumen bewachsene Flächen (grün transparent). (PK25 © swisstopo).

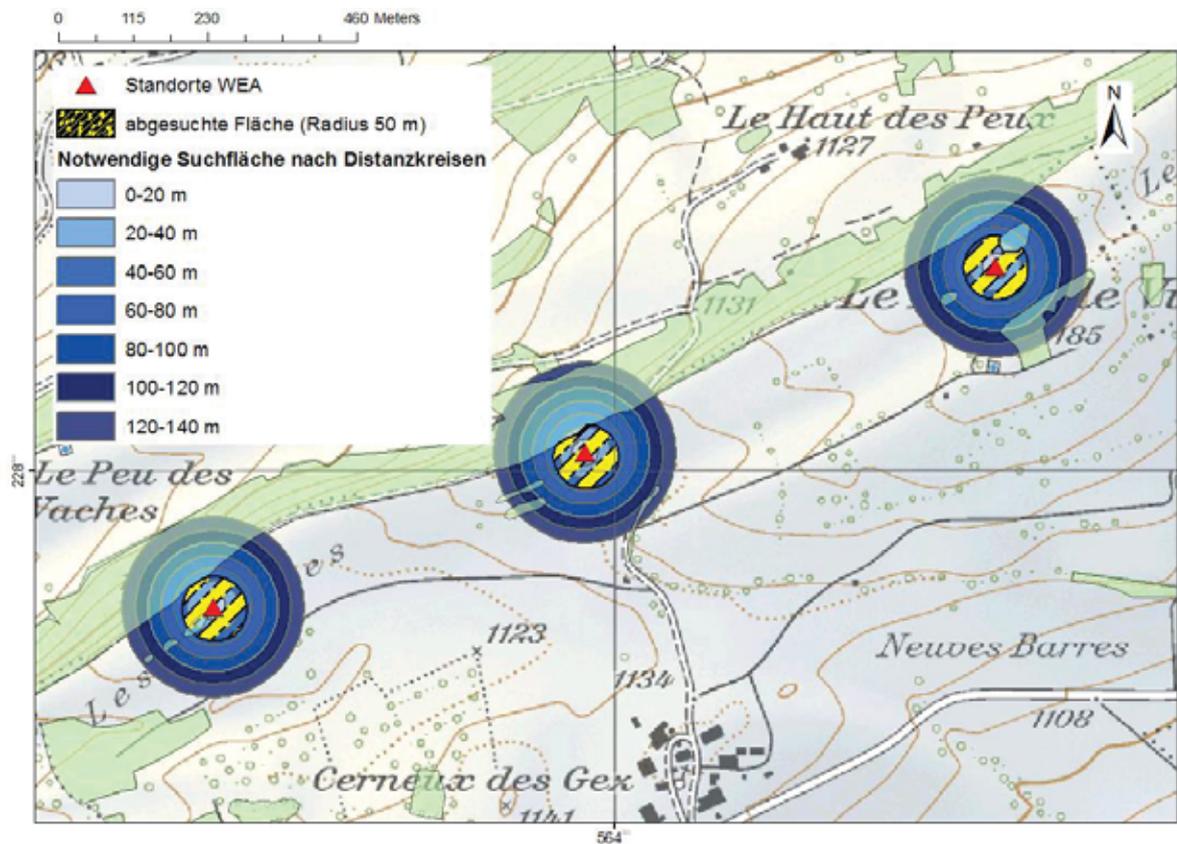


Abb. 24. Als Kompromiss festgelegte notwendige Suchfläche mit einem Radius von 140 m eingeteilt nach Distanzkreisen (Ringe in Blautönen) und abgesuchte Fläche (gelb schraffiert) unter Anwendung eines Suchradius von 50 m (16 Suchtermine) pro WEA (rote Dreiecke) sowie mit Bäumen bewachsene Flächen (grün transparent). (PK25 © swisstopo).

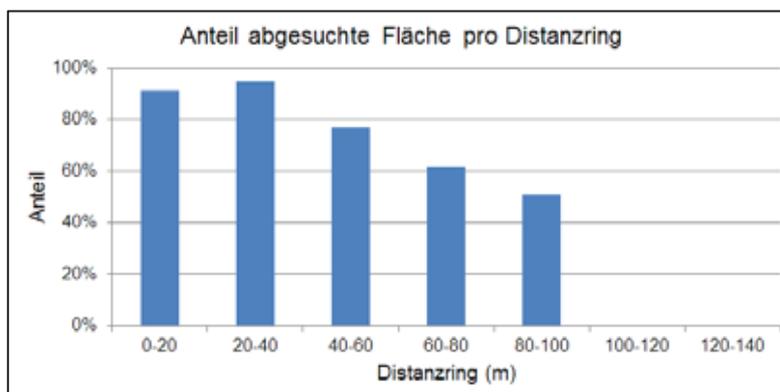


Abb. 25. Anteile der abgesuchten Fläche pro 20 m Distanzring unter den drei WEA.

### Distanzverteilung der Schlagopfer

Ein Bestandteil, der für die Berechnung des Korrekturfaktors benötigt wird, ist eine Distanzverteilung der gefundenen Schlagopfer über alle notwendigen Distanzringe. Meistens ist es aufgrund der geringen Fundzahlen von Schlagopfern bei Vögeln in Schlagopfersuchen nicht möglich, eine fundierte Verteilung über die notwendige Suchfläche zu erstellen, die nur aus den empirischen Daten besteht. Auch in der vorliegenden Studie kann die empirische Verteilung der gefundenen Schlagopfer nicht direkt verwendet werden, da zudem keine Werte für die äusseren Distanzringe verfügbar sind. Wir müssen daher auf bekannte Verteilungen aus anderen Projekten zurückgreifen.

Im Rahmen des Projekts PROGRESS (Grünkorn et al. 2016) wurden knapp 300 Schlagopfer gefunden. Basierend auf diesen Funden wurden mit Modellrechnungen erwartete Verteilungen von Kollisi-

onsopfern um WEA geschätzt. In den Modellrechnungen wurde für die Entdeckungswahrscheinlichkeit korrigiert, so dass diese Verteilung die reale Verteilung der Kollisionsopfer wiedergibt. Die Modellrechnungen ergaben, dass sich bei einer WEA mit einer Gesamthöhe (inkl. Rotor) von 140 m der grösste Anteil der Schlagopfer von kleinen und grossen Vögeln in einer Distanz (Distanzring) von 80-100 m vom Mastfuss entfernt befindet (Abb. 26a). Bei einer 160 m hohen WEA liegt der grösste Anteil der Schlagopfer in einer Distanz von 100-120 m zum Mastfuss (Abb. 26b). Die Werte der Distanzverteilung wurden von den Autoren der Studie PROGRESS für die vorliegende Studie zur Verfügung gestellt (Anhang A4). Die Studie PROGRESS verfügt über eine deutlich höhere Stichprobenanzahl aus verschiedenen Windparks als Le Peuchapatte, was die Aussage der Studie PROGRESS festigt. Das Muster der empirischen Verteilung bei Le Peuchapatte ist dem Verteilungsmuster der modellierten Werte der Studie PROGRESS für 140 m hohe WEA ähnlich (vgl. Kap. 3.2.2 Abschnitt Artenspektrum, saisonale und räumliche Verteilung der Schlagopfer).

Eine Verteilung der Anteile von Schlagopfern für 150 m hohe WEA, wie die der vorliegenden Studie, existiert nicht. Zudem wurde im Projekt PROGRESS eine andere Klassierung der Vogelgrössen vorgenommen. Für die vorliegende Studie wurden die Mittelwerte aus den beiden Vogelgrössenklassen für 140 m hohe WEA verwendet (Anhang A4).

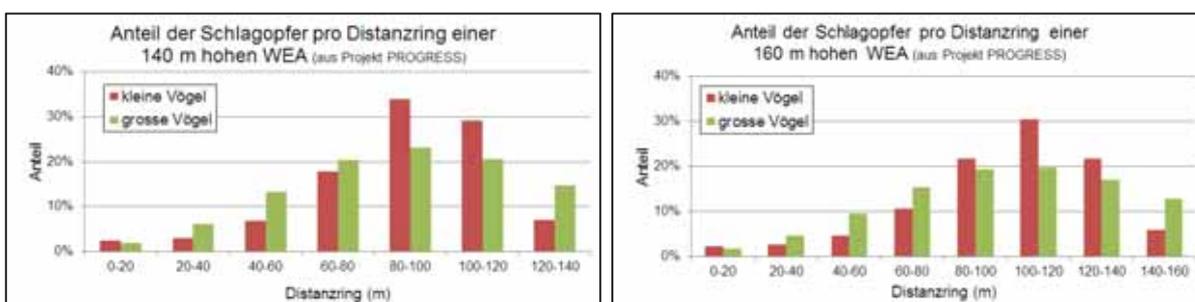


Abb. 26. Anteile der Schlagopfer pro 20 m Distanzring für eine 140 m (links) und eine 160 m (rechts) hohe WEA basierend auf 300 gefundenen Schlagopfern aus dem Projekt PROGRESS (Grünkorn et al. 2016).

### **Bestimmung des Anteils, der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer**

Nachdem die Grösse der notwendigen Suchfläche und der Anteil der abgesuchten Fläche bestimmt sowie die Distanzverteilung für Schlagopfer ausgewählt worden ist, kann der Korrekturfaktor „Anteil der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer“ berechnet werden. Dazu werden pro Distanzring die Anteile der abgesuchten Fläche mit den Anteilen der Schlagopfer multipliziert und schliesslich über die Distanzringe summiert (Korner-Nievergelt et al. 2015a, vgl. Ergebnisse 3.2.5).

## **2.4.5 Hochrechnung effektive Anzahl Schlagopfer und absolute Kollisionsrate**

Zur Hochrechnung der effektiven Anzahl Schlagopfer wurde die Funktion „estimateN“ aus dem R-Paket „carcass“ verwendet (Korner-Nievergelt et al. 2015a, Anhang A5). Die Funktion schätzt die effektive Anzahl Schlagopfer und berücksichtigt dabei die Verbleiberate sowie die Sucheffizienz zusammen mit deren statistischen Unsicherheiten sowie die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer auf der abgesuchten Fläche liegt. Die Analyse basiert auf Wahrscheinlichkeitsrechnungen nach dem Satz von Bayes und schätzt die statistische Unsicherheit des Endergebnisses mit Monte Carlo Simulationen.

Aus der Division der hochgerechneten Anzahl Schlagopfer durch die Anzahl der WEA im Windpark ergibt sich die absolute Kollisionsrate pro WEA pro Jahr. Da der untersuchte Zeitraum beinahe ein gesamtes Jahr abdeckt und ausserhalb dieser Zeitperiode kaum mit Schlagopfern von ziehenden Arten zu rechnen ist, können die Zahlen für in breiter Front ziehende Zugvögel, die nicht auf Thermik angewiesen sind, als für ein Jahr gültig betrachtet werden.

## 2.4.6 Fotofallen

Um qualitativ einen Eindruck davon zu erhalten, was im Studiengebiet abläuft und was mit Kadavern passiert, wurden acht Fotofallenkameras der Marke Reconyx, Typ HC500 HyperFire Semi-Covert IR eingesetzt. Die Kameras wurden so eingestellt, dass jede Minute ein Bild gespeichert wurde. Zusätzlich wurde ein Bild gespeichert, wenn sich in Reichweite des Bewegungssensors der Kamera ein Objekt bewegt hat. Bei Dunkelheit wurden die Bilder mit Infrarotlicht erstellt. Im Gebiet der WEA im Westen und Osten waren je drei und bei der zentral liegenden WEA zwei Kameras installiert (Abb. 27).

Die Bilder der Kameras wurden manuell durchgeschaut und aufgezeichnete Ereignisse rund um die WEA wurden deskriptiv dokumentiert.

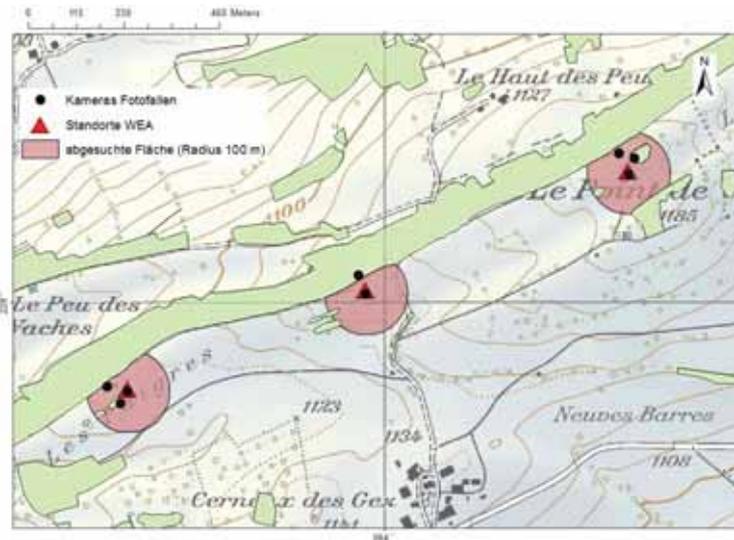


Abb. 27. Standorte der Fotofallenkameras: Drei Kameras waren an den Masten der WEA befestigt, drei an Bäumen am Waldrand und zwei an Bäumen von Feldgehölzen. (PK25 © swisstopo).

## 2.4.7 Röntgenanalyse Kadaver

Überreste von Vögeln, die im Feld gefunden worden sind und bei welchen der Körper relativ frisch und vollständig erhalten war, wurden mit einem Röntgengerät einer Tierarztpraxis für Sportpferde durchleuchtet. Die Röntgenbilder wurden anschliessend von einem Tierarzt visuell beurteilt.

## 2.5 Verknüpfung Radarstudie und Schlagopferstudie

Je nach Bezugsgrösse können anhand der Schlagopferzahlen unterschiedliche relative Kollisionsraten und Ausweichraten berechnet werden.

### 2.5.1 Kollisionsrate pro WEA relativ zur Summe der durchziehenden Individuen

Diese relative Kollisionsrate bezieht sich auf das standardisierte Fenster von 200 m Höhe und 1 km Länge. Sie wird benötigt, um die Berechnungen im Rahmen der Schwellenwertdiskussion durchzuführen, da sich die Schwellenwerte in Form von  $MTR_{200m}$ -Werten auf dieselbe Fenstergrösse beziehen (Kap. 2.5.2).

Die Kollisionsrate pro WEA relativ zur Anzahl der durchziehenden Individuen wurde berechnet, indem die hochgerechneten Schlagopferzahlen zur Anzahl Individuen in Beziehung gesetzt wird, die sich aufsummiert zwischen dem 26.02.2015 und 17.11.2015 durch das theoretische Fenster von 200 m Höhe (Höhenbereich der WEA) und 1 km Länge bewegt haben (vgl. 2.3.4).

## **2.5.2 Kollisionsrate pro WEA relativ zur Summe der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel**

Diese relative Kollisionsrate fokussiert sich auf die Anzahl der Vögel, die unmittelbar im Rotorbereich der WEA theoretisch kollisionsgefährdet ist. Sie zeigt, welcher Anteil der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel effektiv an einer WEA verunfallt. Dabei wird angenommen, dass Vögel den Rotor zwischen den Rotorblattflächen unbeschadet passieren können.

Geht man davon aus, dass die Vögel das senkrechte Fenster von 200 m Höhe x 1 km Länge ohne Ausweichverhalten geradlinig und im Luftraum gleichmässig verteilt durchqueren, so würden 0.25 % aller durchziehenden Vögel mit der WEA kollidieren. Dieser Anteil der Vögel stellt die theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel dar. Die theoretische, relative Kollisionsrate beträgt somit 0.25 %. Die hochgerechnete Anzahl Schlagopfer wurde mit der theoretischen Anzahl Schlagopfer in Beziehung gesetzt, die aufgrund der theoretischen Kollisionsrate zu erwarten wäre. Daraus ergibt sich der Anteil der kollisionsgefährdeten Vögel, der effektiv verunfallt.

## **2.5.3 Ausweichrate relativ zur Summe der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel**

Aus der Kollisionsrate pro WEA relativ zur Summe der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel kann umgekehrt geschlossen werden, welcher Anteil der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel **nicht** verunfallt ist. Dieser Anteil entspricht der Ausweichrate.

## **2.6 Meteorologische Bedingungen und Betriebsdaten der WEA**

Um einen Überblick über die meteorologischen Bedingungen zu erhalten, wurden pro Datum die mittlere Windgeschwindigkeit, die mittlere Windrichtung, die mittlere Temperatur sowie die Niederschlagsmenge ausgewertet.

Die Werte für die Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie für die Temperatur stammen von den Messgeräten des Windparks Le Peuchapatte. Als Werte für die Niederschlagsmenge pro Tag wurden die Daten der Messstation Chasseral von MeteoSchweiz verwendet.

Zur Beurteilung, ob im untersuchten Zeitraum das Kollisionsrisiko für Vögel durch die Drehung der Rotoren kontinuierlich erhöht vorhanden war, wurden die Betriebsdaten des Windparks Le Peuchapatte deskriptiv ausgewertet. Die Rotationsgeschwindigkeit lag für den untersuchten Zeitraum pro Datum in stündlichen Werten vor (Anzahl Umdrehungen pro min).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Radarstudie

##### 3.1.1 Überblick Mittelwerte

Während der gesamten Beobachtungsperiode 2015 sind 75'856 Einzelmessungen à vier Minuten aufgezeichnet worden. Diese Einzelmessungen enthielten rund 446'500 Echos, wovon rund 179'000 als Vogelechos klassiert werden konnten.

Tagsüber wurden zu bestimmten Stunden maximale Zugraten von rund 800 bis 2'600 Echos/(km\*h) gemessen. Nachts erreichten die Zugraten zu bestimmten Stunden 5'500 bis 7'500 Vögel/(km\*h).

Über die jeweilige Dauer der Hauptzugzeit gemittelt (Frühling: März und April, Herbst: September und Oktober) ergeben sich für den Frühling 2015 Tagzugraten von rund 80 Echos/(km\*h) (sd ±100, N=61) und Nachtzugraten von rund 860 Vögeln/(km\*h) (sd ±1'020, N=581) sowie für den Herbst 2015 Tagzugraten von rund 85 Echos/(km\*h) (sd ±80, N=61) und Nachtzugraten von 950 Vögeln/(km\*h) (sd ±900, N=61). Es gilt allerdings zu beachten, dass die Tagzugraten als relative Werte zu verstehen sind, da Vogelschwärme vom Radar lediglich als ein einzelnes Echo erfasst werden. Die tatsächlichen Tagzugraten werden damit jeweils unterschätzt und deshalb als Echos/(km\*h) angegeben.

Im April 2015 und im September 2015 waren durchschnittlich am meisten Zugvögel unterwegs (Tab. 4).

Tab. 4. Gerundete mittlere Zugrate (MW) pro Tag (T) und Nacht (N) der untersuchten Monate mit der Standardabweichung (± SD) für alle vom Radar abgedeckten Höhenintervalle zusammen (gesamt) und jeweils nur für das Höhenintervall, in welchem sich die WEA befinden. Zusätzlich ist die Anzahl der gemessenen Tage/Nächte jedes Mittelwertes angegeben (N Messtage). Die Hauptzugzeit ist grau hinterlegt.

		Feb. 2015		März 2015		April 2015		Mai 2015		Juni 2015		Juli 2015		Aug. 2015		Sept. 2015		Okt. 2015		Nov. 2015	
Höhe	Wert	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
gesamt	MW	17	61	104	833	60	890	62	353	12	30	22	56	49	483	76	1084	98	824	27	152
	± SD	15	90	117	933	74	1127	62	324	8	27	12	33	50	545	50	958	104	816	21	134
WEA	MW	4	12	22	192	11	114	10	39	5	6	9	12	17	111	26	352	35	219	5	33
	± SD	90	27	25	210	11	132	9	42	3	5	6	8	18	127	25	362	43	249	6	30
N Messtage		3	3	31	30	30	28	31	30	30	29	31	31	31	30	30	30	31	31	17	16

##### 3.1.2 Saisonaler Verlauf der Flugaktivität

Die mittleren Zugraten pro Datum über alle gemessenen Höhenintervalle zusammen schwankten tagsüber zwischen 0–490 Echos/(km\*h) und nachtsüber zwischen 0–4'500 Vögeln/(km\*h) (Abb. 28a bis Abb. 32a).

Im Höhenbereich der WEA (1'150–1'350 m ü.M.) schwankten die Zugraten am Tag zwischen 0–160 Echos/(km\*h) (Abb. 28b bis Abb. 32b). In der Nacht lagen diese Werte zwischen 0–1'200 Vögeln/(km\*h).

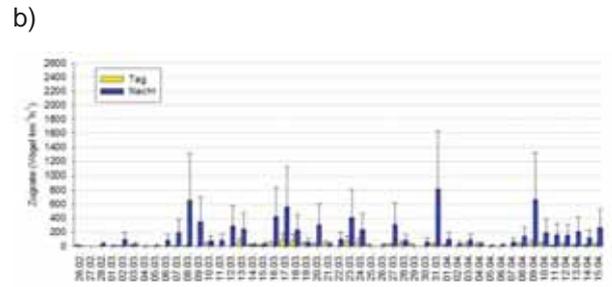
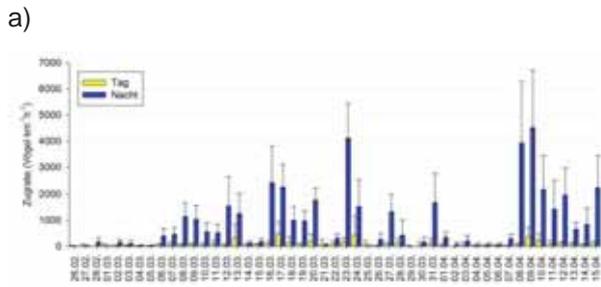


Abb. 28. Mittlere Zugraten pro Datum (mit Standardabweichung), aufgeteilt nach Tag und Nacht, Zeitperiode 26.02.–15.04.2015 (Frühling): a) über alle gemessenen Höhenintervalle, b) im Höhenbereich der WEA (1'150–1'350 m ü.M.).

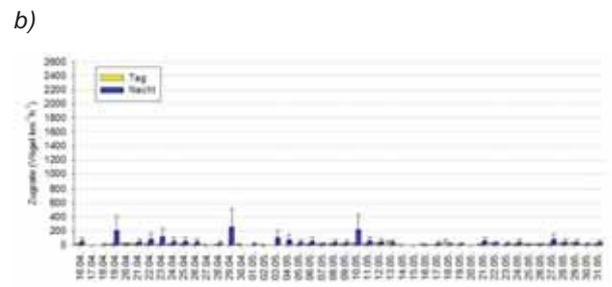
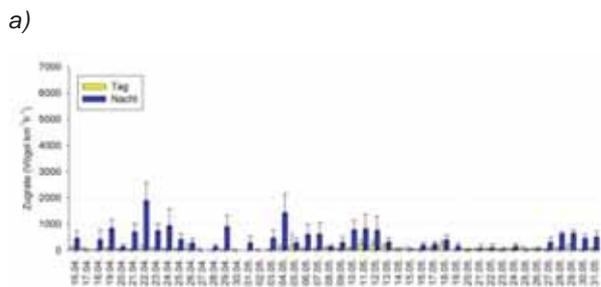


Abb. 29. Mittlere Zugraten pro Datum (mit Standardabweichung), aufgeteilt nach Tag und Nacht, Zeitperiode 16.04.–31.05.2015 (Frühling): a) über alle gemessenen Höhenintervalle, b) im Höhenbereich der WEA (1'150–1'350 m ü.M.).

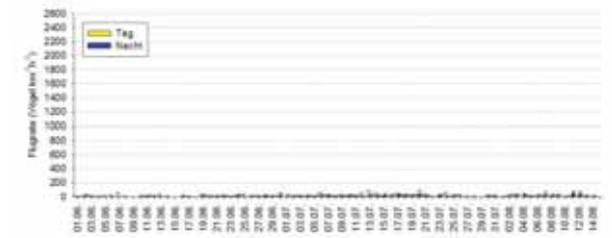
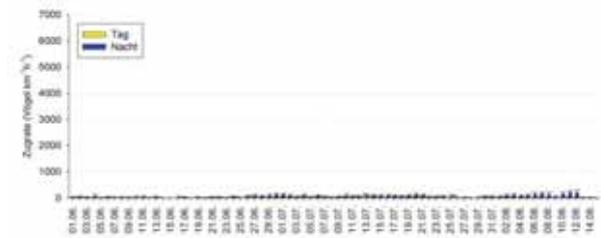


Abb. 30. Flugaktivität pro Datum (mit Standardabweichung), aufgeteilt nach Tag und Nacht, Zeitperiode 01.06.–15.08.2015 (Sommer): a) über alle gemessenen Höhenintervalle, b) im Höhenbereich der WEA (1'150–1'350 m ü.M.).

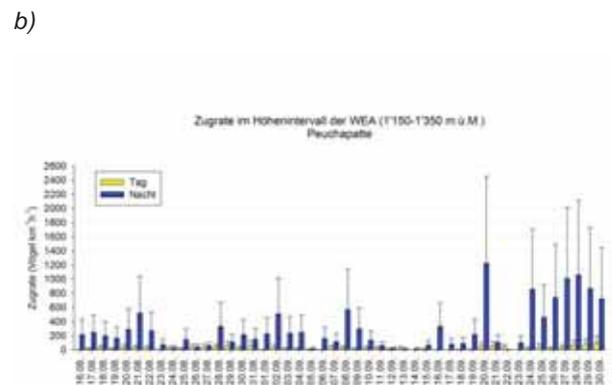
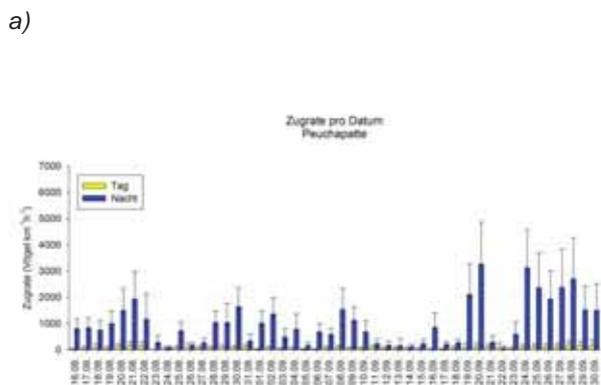


Abb. 31. Mittlere Zugraten pro Datum (mit Standardabweichung), aufgeteilt nach Tag und Nacht, Zeitperiode 16.08.–30.09.2015 (Herbst): a) über alle gemessenen Höhenintervalle, b) im Höhenbereich der WEA (1'150–1'350 m ü.M.).

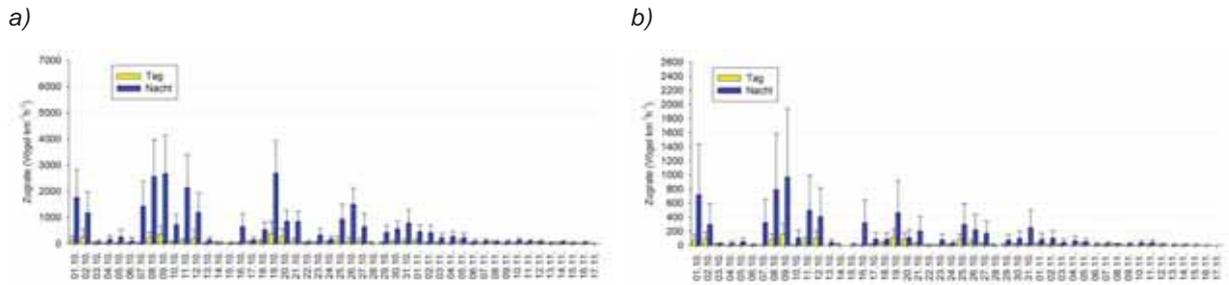


Abb. 32. Mittlere Zugraten pro Datum (mit Standardabweichung), aufgeteilt nach Tag und Nacht, Zeitperiode 01.10.-17.11.2015 (Herbst): a) über alle gemessenen Höhenintervalle, b) im Höhenbereich der WEA (1'150–1'350 m ü.M.).

### 3.1.3 Höhenverteilung der Zugintensität

Zur Analyse der Höhenverteilung wurden die Zugraten für jedes 100 m-Höhenintervall für die Frühlings- und die Herbstperiode gemittelt (Abb. 33). Im Frühling 2015 lagen die Tagzugraten pro Höhenintervall zwischen 0–9 Echos/(km\*h) und die Nachtzugraten zwischen 0–70 Vögeln/(km\*h). Im Herbst 2015 bewegten sich die Tagzugraten pro Höhenintervall zwischen 0–17 Echos/(km\*h) und die Nachtzugraten zwischen 0–116 Vögeln/(km\*h).

Die höchsten mittleren Tag- und Nachtzugrate traten sowohl im Frühling wie auch im Herbst im Höhenbereich der WEA auf. Im Frühling wickelten sich 18 % des Tag- und 16 % des Nachtzugs im Höhenbereich der WEA ab, während im Herbst 34 % des Tag- und 28 % des Nachtzugs im Höhenbereich der WEA abließen.

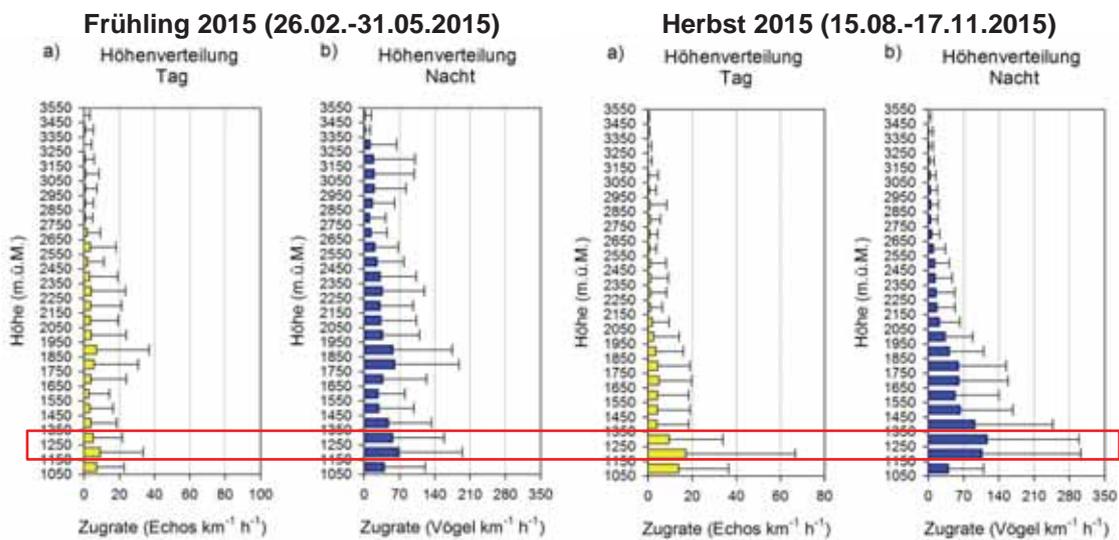


Abb. 33. Mittlere Zugraten (mit Standardabweichung) pro Höhenintervall, aufgeteilt nach Tag (a) und Nacht (b) für den Frühling (Zeitperiode 26.02.-31.05.2015) und den Herbst (Zeitperiode 15.08.-17.11.2015). Der rote Rahmen markiert den Höhenbereich der WEA (1'150–1'350 m ü.M.).

### 3.1.4 Anzahl Individuen und theoretisch kollisionsgefährdete Vögel

Anhand der stündlich vorliegenden Zugraten wurde pro Saison aufsummiert, wie viele Individuen sich pro Kilometer im Gebiet über alle vom Radar abgedeckten Höhenintervalle sowie lediglich im Höhenbereich der WEA bewegt haben (Tab. 5). Über den gesamten Untersuchungszeitraum (26.2.–17.11.2015) und über alle Höhenintervalle betrachtet, waren im Gebiet rund 1.65 Mio. Vögel pro Kilometer unterwegs. Im Höhenbereich der WEA haben sich total rund 390'500 Vögel pro Kilometer bewegt (Fenster 200 m x 1'000 m). Von diesen 390'500 Vögeln waren pro WEA 0.25 %, nämlich 976 Individuen theoretisch kollisionsgefährdet.

Tab. 5. Aufsummierte Anzahl Individuen in Abhängigkeit der Saison für alle vom Radar abgedeckten Höhenintervalle (Gesamt) sowie im Höhenbereich der WEA (Höhe WEA) und Anzahl der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel.

<b>Zeitperiode</b>	<b>Tageszeit</b>	<b>Gesamt (Anzahl / km)</b>	<b>Höhe WEA (Anzahl / km)</b>	<b>Theoretisch kollisionsgefährdet (Anzahl / WEA)</b>
Frühling	Tag	100'300	18'700	46
	Nacht	609'400	100'800	252
<b>Total Frühling</b>		<b>709'700</b>	<b>119'500</b>	<b>298</b>
Sommer	Tag	20'600	8'000	20
	Nacht	28'100	5'700	14
<b>Total Sommer</b>		<b>48'700</b>	<b>13'700</b>	<b>34</b>
Herbst	Tag	92'400	31'500	79
	Nacht	797'800	225'800	565
<b>Total Herbst</b>		<b>890'200</b>	<b>257'300</b>	<b>644</b>
<b>Gesamttotal</b>		<b>1'648'600</b>	<b>390'500</b>	<b>976</b>

## 3.2 Schlagopferstudie

### 3.2.1 Beschaffenheit des Untergrundes

Pro WEA wurde bei jeder Suche prozentual die Beschaffenheit des Untergrundes auf der abgesuchten Fläche geschätzt. Für die Analyse wurde jeweils der grösste Anteil als prozentual vorwiegende Beschaffenheit des Untergrundes angesehen. Waren die Anteile 50 %, so wurde die jeweils höhere Vegetationsklasse gewertet.

Eine Schneedecke kam lediglich im Frühling vor (Abb. 34). Die ganze Herbstperiode blieb frei von Schnee. Die meiste Zeit über war die Vegetation kurz. Vor allem im Herbst sorgte die Beweidung dafür, dass das Gras kurz blieb.

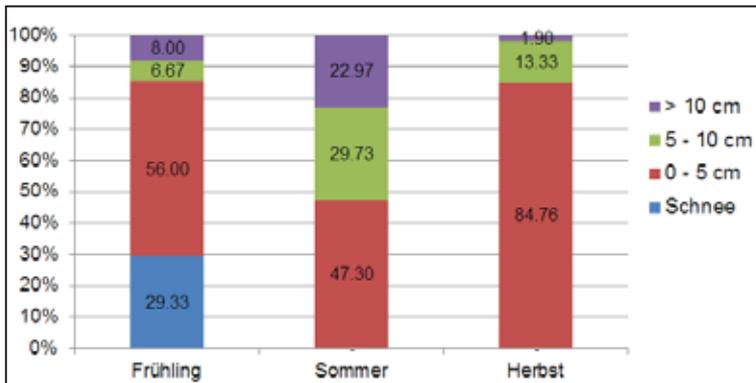


Abb. 34. Schneebedeckung und Höhe der Vegetation (Beschaffenheit des Untergrundes) nach Zeitperiode auf der abgesuchten Fläche im Grünland.

### 3.2.2 Funde im Feld insgesamt und als Schlagopfer gewertete Funde

#### **Kategorien von Funden und Berücksichtigung für die Hochrechnung**

Auf den Suchflächen unter den drei WEA wurden total 51 Funde von Vögeln oder deren Überreste gemacht, die als Nachweise für Schlagopfer in Frage kamen. Daneben wurden auch tote Fledermäuse, Maulwürfe, Spitzmäuse und Mäuse gefunden. Die Fledermäuse werden im Rahmen eines separaten Projektes bearbeitet und sind nicht Bestandteil des vorliegenden Berichtes.

Die Funde bezüglich Vögel konnten nach ihrem Zustand in sieben Kategorien aufgeteilt werden (Tab. 6). Als Schlagopfer gezählt wurden folgende drei Kategorien: 1: Kadaver vollständig, 2: Überreste bestehend aus vielen Federn und/oder Federklumpen und 3: Überreste bestehend aus mehreren Federn. Aufgrund dieser Kriterien wurden 20 Schlagopfer in die Hochrechnung aufgenommen. Bei den anderen Federfunden ist ein Zusammenhang mit den WEA fraglich. Der Zusammenhang konnte aber nicht sicher ausgeschlossen werden konnte.

Tab. 6. Kategorien von Funden im Zusammenhang mit Vögeln, deren Anzahl und Angabe, ob diese als Schlagopfer in die Hochrechnung mit aufgenommen worden sind.

Nr.	Kategorie	Beschreibung	Anzahl Funde	Aufgenommen in Hochrechnung?
1	Kadaver vollständig	Körper vollständig erhalten (Abb. 35) oder alle festen Bestandteile des Vogels erscheinen noch vorhanden (Abb. 36)	13	Ja
2	Überrest mit vielen Federn und/oder Federklumpen	Der Fund besteht aus mehr als 30 Federn (Abb. 37) oder aus Federklumpen (Abb. 38).	5	Ja
3	Überrest mit mehreren Federn	Der Fund besteht aus 10–30 Federn (Abb. 39).	2	Ja
4	Überrest mit wenigen Federn /unbestimmbaren Federn	Der Fund besteht aus weniger als 10 Federn und/oder Vogelart ist nicht bestimmbar.	4	nein
5	Einzelfeder	Der Fund besteht aus einer einzelnen Feder (Abb. 40). Ab Juli 2015 wurden Einzelfedern nicht mehr systematisch erfasst.	23	nein
6	Überlebendes Opfer	Fund besteht aus einem lebenden Vogel, der wieder losgelassen werden konnte (Abb. 41 und Abb. 42).	1	nein
7	Überreste, die mit ausgelegten Testkadavern zu tun haben könnten	Der Fund besteht aus wenigen, unmarkierten Federn, und es besteht ein Verdacht, dass diese von einem Testkadaver stammen könnten.	3	nein



Abb. 35. Vollständiger Kadaver eines Schlagopfers (Rotkehlchen) gefunden am 21.10.2015. Der Körper erscheint vollständig erhalten.



Abb. 36. Vollständiger Kadaver eines Schlagopfers (Sommergoldhähnchen) gefunden am 20.04.2015. Der Kadaver ist nicht frisch, aber alle festen Bestandteile des Vogels erscheinen noch erhalten zu sein.



Abb. 37. Überrest bestehend aus vielen Federn gefunden am 20.05.2015. Der Fund besteht aus mehr als 30 Federn und stammt von einer Misteldrossel.



Abb. 38. Überrest bestehend aus einem Federklumpen gefunden am 27.03.2015. Der Fund stammt von einer Stockente.



Abb. 39. Überrest bestehend aus mehreren Federn gefunden am 09.07.2015. Der Fund besteht aus 10–30 Federn und stammt von einer Wacholderdrossel. Federn befinden sich innerhalb der roten Kreise.



Abb. 40. Einzelne Buntspechtfeder gefunden am 08.06.2015. Ab Juli 2015 wurden Einzelfedern nicht mehr systematisch erfasst.



Abb. 41. Lebender Mauersegler, der am Boden liegt, gefunden am 31.07.2015.



Abb. 42. Der Mauersegler wurde vom Boden hoch gehoben und konnte wieder losgelassen werden.

### **Artenspektrum, saisonale und räumliche Verteilung der Schlagopfer**

Die gefundenen Kadaver und Reste von Kadavern, welche in die Hochrechnung einfließen, wurden von Experten wenn möglich auf Artniveau bestimmt (Tab. 7). Von den 20 Totfunden gehörten 11 (55 %) zur Gattung der Goldhähnchen (*Regulus sp.*). Sieben der Goldhähnchen waren Sommergoldhähnchen (*Regulus ignicapillus*), zwei Wintergoldhähnchen (*Regulus regulus*), zwei konnten nicht auf Artniveau bestimmt werden. Weiter wurden zwei Funde als Überreste von Stockenten (*Anas platyrhynchos*) und je ein Fund als Überrest von Misteldrossel (*Turdus viscivorus*), Wacholderdrossel (*Turdus pilaris*), Singdrossel (*Turdus philomenos*) und Mauersegler (*Apus apus*) identifiziert. Hinzu kommt je ein Fund eines vollständigen Kadavers von Rotkehlchen (*Erithacus rubecula*), Blaumeise (*Parus caeruleus*) und Feldschwirl (*Locustella naevia*).

Mit Ausnahme der Wacholderdrossel und der Singdrossel wurden alle Arten innerhalb ihrer artspezifischen Zugzeiten gefunden. Deshalb dürfte es sich beim grössten Teil der Schlagopfer um ziehende Vögel gehandelt haben. Sämtliche dieser Arten ziehen aktiv in breiter Front und sind nicht auf Thermik angewiesen.



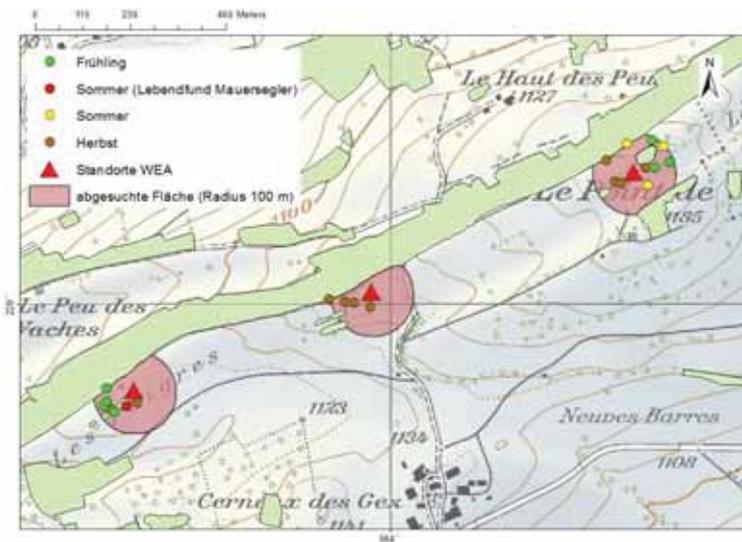


Abb. 44. Fundorte der Schlagopfer aller Vogelarten nach Saison (N=21). (PK25 © swisstopo).

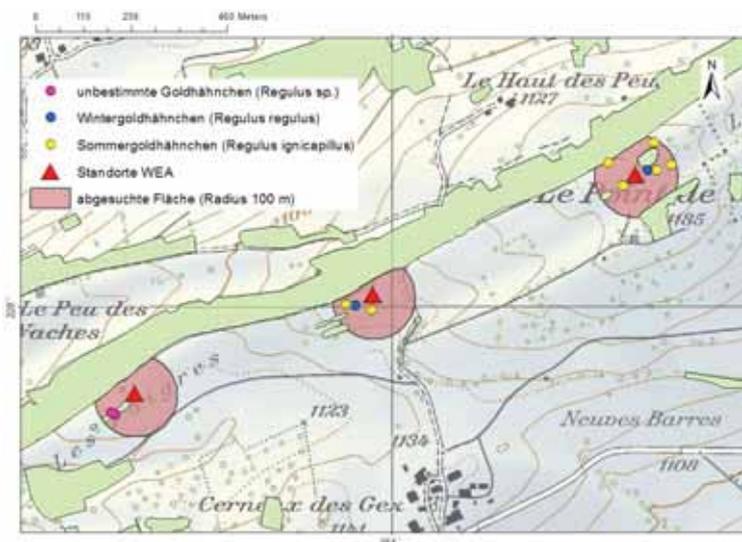


Abb. 45. Fundorte der Schlagopfer nach Vogelarten: Goldhähnchen (N=11). (PK25 © swisstopo).

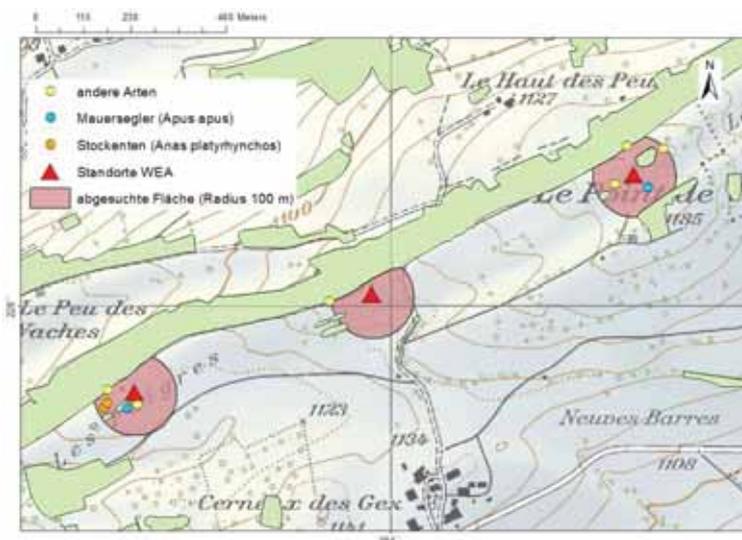


Abb. 46. Fundorte der Schlagopfer nach Vogelarten: Stockenten, Mauersegler und alle anderen Vogelarten (N=10). Beim Mauersegler unter der WEA im Westen handelt es sich um das lebend gefundene Individuum, welches wieder weg fliegen konnte. (PK25 © swisstopo).

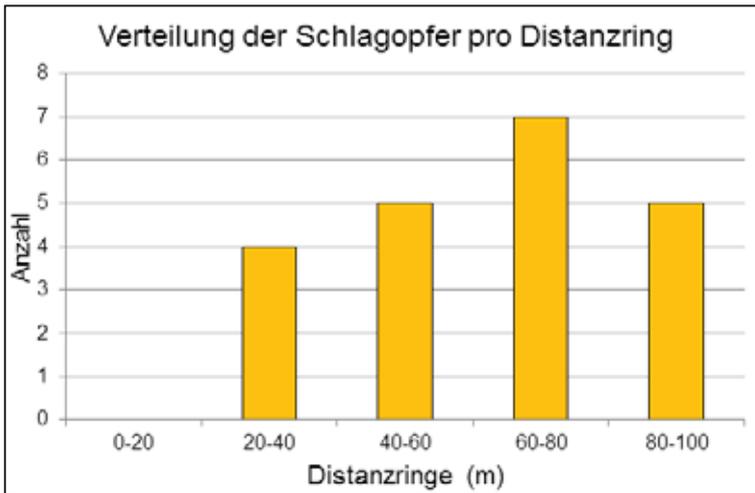


Abb. 47. Verteilung der Funde von Schlagopfern auf der abgesuchten Fläche pro Distanzring über alle Vogelarten (N=21). Der Fund des lebenden Mauerseglers ist in dieser Darstellung enthalten. Er wurde im Distanzring zwischen 40-60 m gefunden.

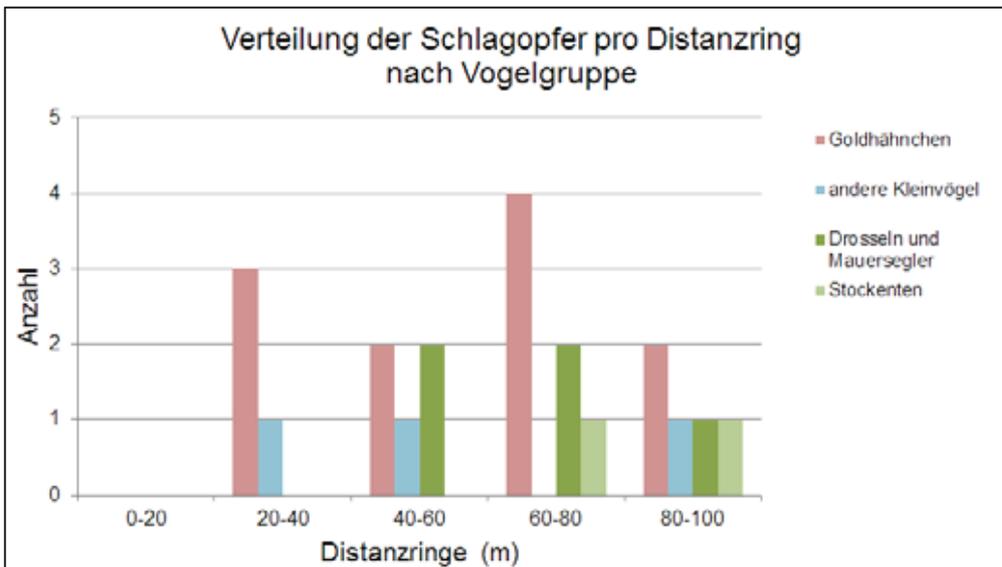


Abb. 48. Verteilung der Funde (N=21) von Schlagopfern pro Distanzring nach Vogelgruppen. Der Fund des lebenden Mauerseglers ist in dieser Darstellung enthalten. Er wurde im Distanzring zwischen 40-60 m gefunden. Goldhähnchen und die anderen Kleinvögel gehören zur Grössenklasse „klein“, Drosseln und Mauersegler zur Grössenklasse „mittel“ und die Stockenten zur Grössenklasse „gross“.

### **Röntgenanalyse vollständiger Kadaver**

Acht der 13 Kadaver der Kategorie vollständiger Kadaver wurden von einem Tierarzt geröntgt (Abb. 49 und Abb. 50) und danach visuell die offensichtlichen Verletzungen beurteilt. Sechs von acht geröntgten Kadavern wiesen mindestens eine offensichtliche Verletzung auf (Tab. 8, Abb. 51 und Abb. 52, Anhang A6–A11).

Tab. 8. Liste der Befunde der Röntgenanalyse bei acht der gefundenen Kadaver.

ID	Vogelart	Befunde
C08	Sommergoldhähnchen (Abb. im Anhang A6)	- Luxation des Tibiotarsal-Metatarsal-Gelenks an beiden Beinen - Fraktur der Wirbelsäule, distal - Zertrümmerung des Thorax - Fraktur Tibiotarsal-Knochen
C09	Sommergoldhähnchen Abb. im Anhang A7)	- Fraktur Tibiotarsal-Knochen an beiden Beinen - Luxation des Tibiotarsalgelenks
C67	Sommergoldhähnchen (Abb. im Anhang A8)	- Fraktur des linken Humerus - Verletzung der Wirbelsäule, thorakal (Abriss, Luxation, Zetrümmerung ?) - Fraktur am linken Femur (?)
C89	Sommergoldhähnchen (Abb. im Anhang A9)	- Fraktur Tibiotarsal-Knochen links, proximal
C90	Blaumeise (Abb. 51)	- Mehrfache Fraktur Tibiotarsal-Knochen rechts - Abriss Coracoid links
C91	Wintergoldhähnchen (Abb. 52)	- Femur/Knie Zertrümmerung links - Fraktur oder Luxation der Halswirbelsäule
C87	Rotkehlchen (Abb. im Anhang A10)	Keine offensichtlichen Verletzungen
C85	Wintergoldhähnchen (Abb. im Anhang A11)	Keine offensichtlichen Verletzungen



Abb. 49. Ein Kadaver wird unter dem Röntgengerät platziert.



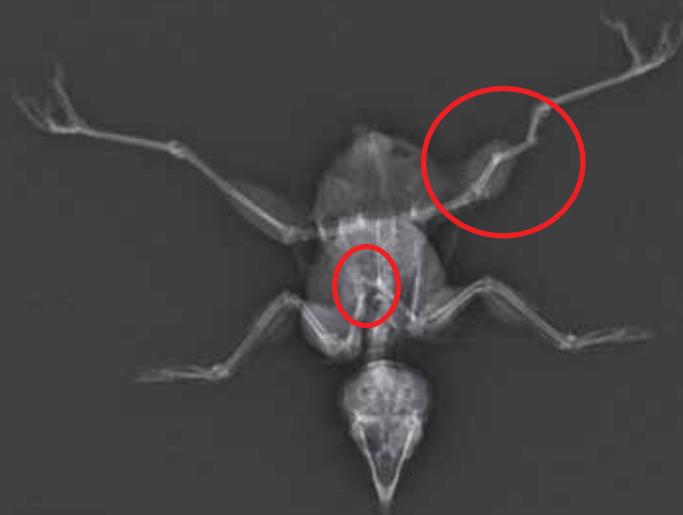
Abb. 50. Kadaver eines Goldhähnchens. Das Goldhähnchen wurde auf der Röntgenplatte fixiert.

VOGELWARTE\_SEMPACH\_C90\_BLAUMEISE  
Unknown  
C90\_BLAUMEISE

Dr. Thomas Wagner  
27/01/2016  
SKYLINE LF

O

LF  
Lat



Med

FUJIFILM DR by VeterinarySolutions.be

Abb. 51. Röntgenbild der Blaumeise C90, gefunden am 26.10.2015. Das rechte Bein ist doppelt gebrochen und links das Coracoid (Rabenbein) abgerissen.

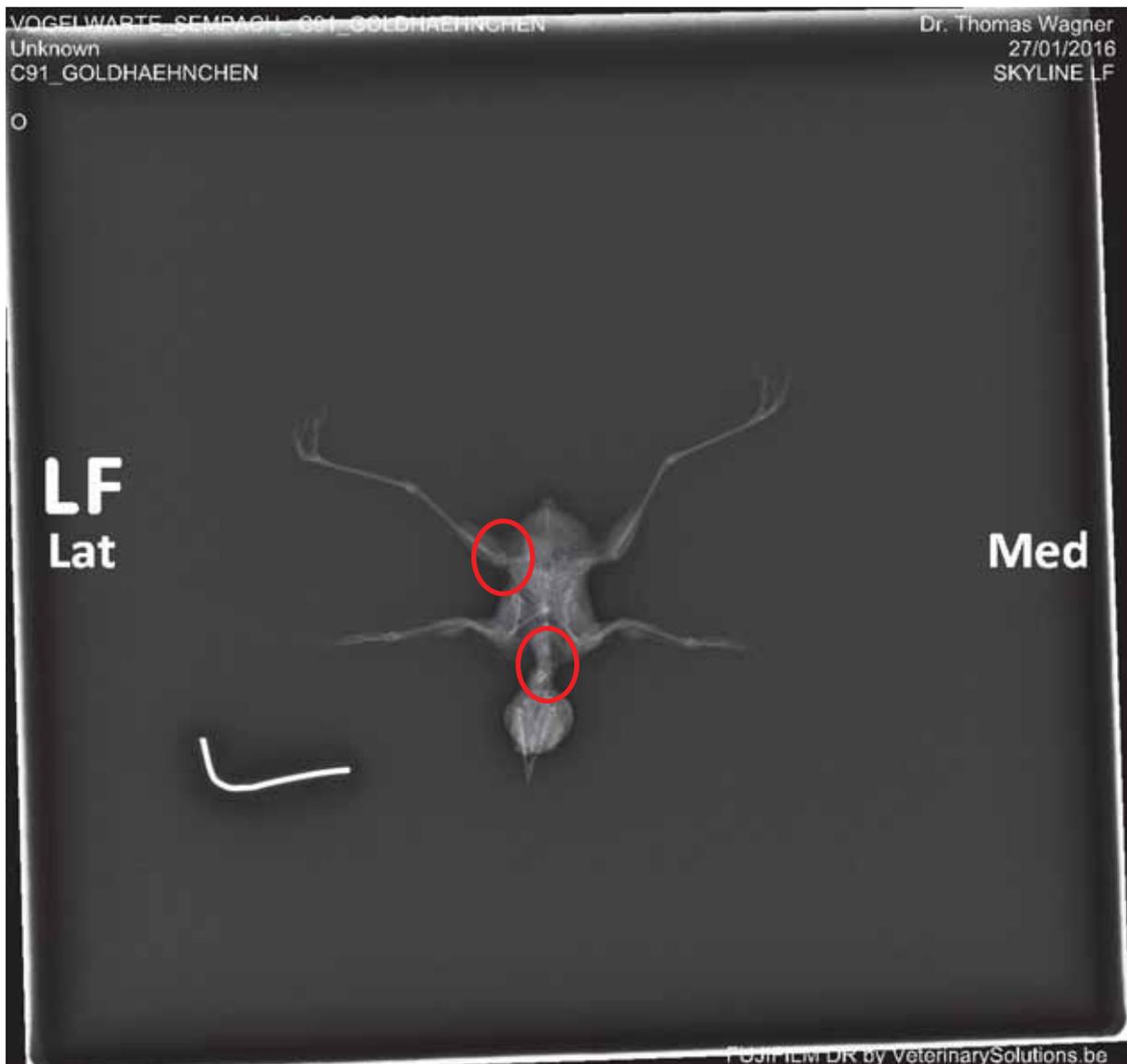


Abb. 52. Röntgenbild des Wintergoldhähnchens C91, gefunden am 30.10.2015. Das Knie am linken Bein ist zertrümmert und die Halswirbelsäule gebrochen.

### 3.2.3 Sucheﬃzienz

Zur Bestimmung der Sucheﬃzienz wurden unter den drei WEA total 82 Testkadaver unterschiedlicher Grössenklassen (klein, mittel, gross) in verschiedenen Vegetationshöhenklassen (kurz, mittel, lang) ausgelegt.

Im Durchschnitt über den ganzen Untersuchungszeitraum gerechnet und unabhängig von der suchenden Person, der Grössenklasse des Testkadavers und der Vegetationshöhe betrug die Sucheﬃzienz 0.81 (VI 95 %: 0.57–0.93). Dies bedeutet, dass im Mittel von 10 ausgelegten Vögeln jeweils 8.1 Vögel gefunden worden sind. Die Sucheﬃzienz der beiden suchenden Personen unterschied sich nicht.

Mit zunehmender Vegetationshöhe nahm die Sucheﬃzienz gemittelt über beide suchenden Personen für kleine und mittelgrosse Testkadaver deutlich ab (Abb. 53). Bei kleinen Testkadavern sank die Sucheﬃzienz von 0.80 (VI 95 %: 0.51–0.94) auf 0.46 (0.26–0.71) und bei mittelgrossen Testkadavern von 0.89 (VI 95 %: 0.69–0.97) auf 0.65 (VI 95 %: 0.38–0.86). Die grossen Testkadaver wurden in allen Vegetationshöhenklassen gefunden.

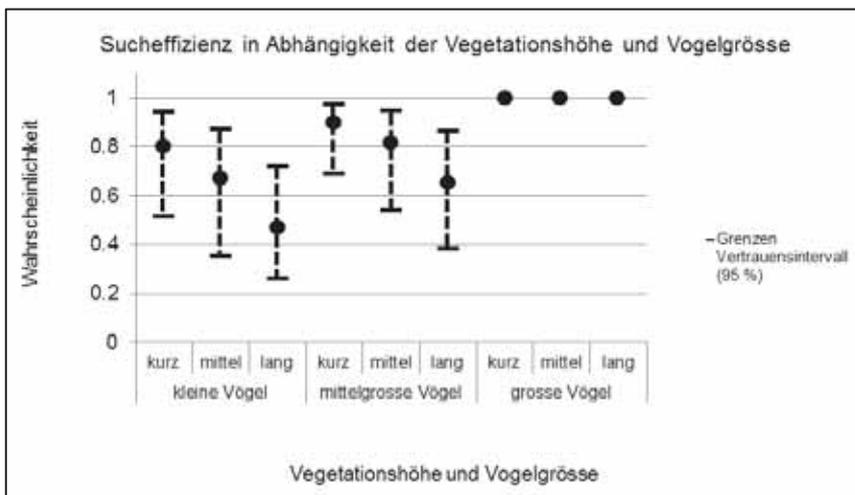


Abb. 53. Mittlere Sucheffizienz der beiden suchenden Personen in Abhängigkeit der Vegetationshöhe und Vogelgrösse.

### 3.2.4 Verbleiberate

#### Vorgänge bei Testkadavern im Feld

Die 65 ausgelegten Testkadaver im Feld unterlagen unterschiedlichen Vorgängen. Grundsätzlich lassen sich die Vorgänge folgendermassen einteilen (Tab. 9): Ein Teil der Kadaver ist ohne Manipulation von aussen durch Verwesung zerfallen und somit durch biologischen Abbau schrittweise über längere Zeit verschwunden. Dieser Vorgang traf auf 9 der 65 Kadavern zu (13.8 %). 56 der Testkadaver wurden hingegen vor dem Zerfall durch Verwesung manipuliert (86.2 %). Innerhalb der manipulierten Testkadaver sind wiederum zwei Kategorien von Vorgängen zu verzeichnen. Ein Teil der manipulierten Testkadaver verschwand spurlos als Ganzes (ohne Überreste) und vom anderen Teil der Testkadaver waren nur noch Überreste auffindbar. Als Ganzes spurlos verschwunden sind 41 der 65 Testkadaver (= 63 %). Bis auf die Federn/Federklumpen prädiert waren 15 der 65 Testkadaver (= 23 %).

Bei 21 der 56 Testkadaver, welche manipuliert worden sind, konnte anhand der Bilder der Fotofallenkameras Art und minutengenaue Zeitpunkt des Manipulationsvorgangs bestimmt werden. Kleine Testkadaver wurden vor allem zwischen abends um 18:01 Uhr bis morgens um 05:59 Uhr manipuliert, während mittlere und grosse Testkadaver hauptsächlich im Zeitraum zwischen 06:00 Uhr und 18:00 Uhr manipuliert worden sind (Abb. 54).

In 13 der 21 Fälle mit bekanntem Zeitpunkt der Manipulation wurden die Kadaver von tierischen Prädatoren manipuliert, in 2 Fällen durch anthropogene Aktivität (landwirtschaftliche Arbeiten, manuelles Entfernen). In einem weiteren Fall ist zwar eine anthropogene Ursache für das Verschwinden, nicht aber der genaue Zeitpunkt bekannt. In 6 Fällen ist unbekannt, wer oder was den Kadaver manipuliert hat (Abb. 55a). Die Manipulation erfolgte hier zwischen zwei der jeweils alle Minuten aufgenommenen Bildern. Unter den tierischen Prädatoren wurde der Fuchs am häufigsten erfasst (Abb. 55b). Weitere Prädatoren waren Hauskatzen, Krähen, Mäusebussard und Rotmilan.

Bei den restlichen 35 Testkadavern konnte der Zeitpunkt des Manipulationsvorgangs mit den Fotofallen aus diversen Gründen nicht erfasst werden (Abb. 55a). In 10 Fällen waren die Kameras ausser Betrieb. In 24 Fällen waren die Kameras zwar aktiv, aber die Testkadaver waren nicht sichtbar (z.B. Kadaver ausserhalb des Sichtfelds der Kameras, Linse der Kamera verdeckt durch Wasser, Schmutz oder Insekten, eingeschränkte Sicht durch Nebel und schlechtes Wetter oder nicht bis zum Kadaver reichende Infrarot-Ausleuchtung während der Nacht).

Tab. 9. Vorgänge mit Testkadavern im Feld nach Kategorien und nach Vogelgrösseklassen (N=65).

Vogelgrösse und Anzahl Testkadaver (N)	Nicht manipuliert (N=9)		Manipuliert (N=56)			
	Langsame Verwesung		Spurloses Verschwinden		Prädation	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Klein (N = 29)	4	14	19	66	6	21
Mittel (N = 28)	2	7	18	64	8	29
Gross (N = 8)	3	38	4	50	1	13

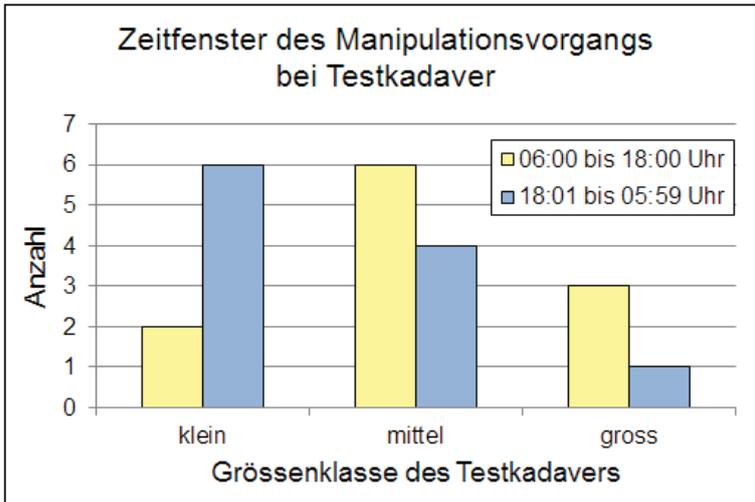
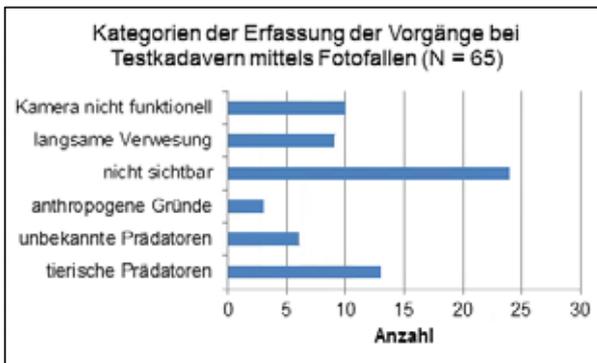


Abb. 54. Zeitfenster des Manipulationsvorgangs bei Testkadaver nach Grössenklasse (N=21).

a)



b)

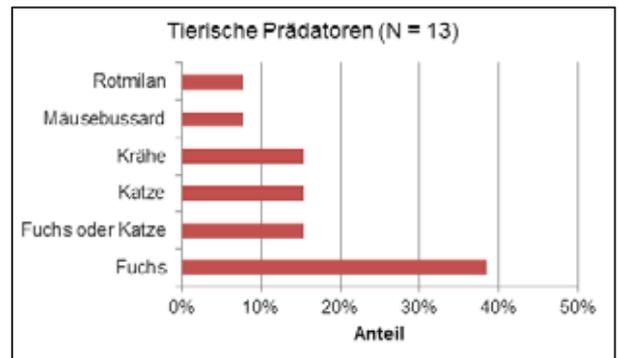


Abb. 55. Kategorien, die sich aus der Erfassung der Vorgänge bei 65 Testkadavern mittels Fotofallen ergeben haben (a) sowie die Anteile pro Prädator innerhalb der Kategorie „tierische Prädatoren“ (b).

### Verbleiberate und mittlere Verweildauer eines Testkadavers

Zur Bestimmung der Verbleiberate und der Verweildauer, wurde mit dem gesamten Datensatz eine discrete-time-Überlebensanalyse durchgeführt. Im Datensatz galt ein Testkadaver als nicht mehr präsent (verschwunden), wenn nur noch zehn oder weniger Federn vorhanden waren.

Die Verbleiberate ist die Wahrscheinlichkeit, dass von einem Kadaver am nächsten Tag noch mehr als zehn Federn gefunden werden. Unabhängig von der Vogelgrössenklasse berechnet, beträgt die Verbleiberate 0.93 (VI 95 %: 0.91–0.94). Die Verweildauer ist die mittlere Dauer für wie lange von einem Testkadaver noch mehr als zehn Federn aufgefunden werden konnten. Im Mittel waren von einem Testkadaver für eine Dauer von 14 Tagen noch mehr als zehn Federn auffindbar.

Die Verbleiberate und Verweildauer unterscheiden sich in Abhängigkeit der Vogelgrössenklassen (Tab. 10). Grosse Testkadaver hatten mit 0.97 (VI 95 %: 0.95–0.98) die höchste Verbleiberate und mit 37.5 Tagen die längste Verweildauer. Die Verbleiberate für kleine Testkadaver war 0.9 (VI 95 %: 0.87–0.93) mit einer Verweildauer von 10.2 Tagen. Mittलगrosse Testkadaver hatten ebenfalls eine Verbleiberate von 0.9 (VI 95 %: 0.87–0.93) und eine Verweildauer von 10.6 Tagen.

Tab. 10. Verbleiberate und Verweildauer der Testkadaver (N=65) nach Vogelgrössenklasse.

Grössenklasse	N	Verbleiberate mit 95 %-Vertrauensintervall	Mittlere Verweildauer
Klein	29	0.9 (0.87–0.93)	10.2
Mittel	28	0.9 (0.87–0.93)	10.6
Gross	8	0.97 (0.95–0.98)	37.5

### **Dauer bis zur Manipulation eines Testkadavers (ohne Zerfall durch Verwesung)**

Zur Bestimmung der Dauer bis zur Manipulation eines Testkadavers wurde die discrete-time-Überlebensanalyse mit einem Subset der Daten wiederholt, welches nur die manipulierten Testkadaver enthielt. Im Datensatz wurde der Wert 0 eingesetzt, sobald ein Kadaver vor dem Zerfall durch Verwesung spurlos verschwand oder wenn ein Kadaver vor dem Zerfall durch Verwesung so prädiert wurde, dass nur noch Federn oder Einzelteile auffindbar waren.

Im Mittel dauerte es 3 Tage, bis ein Testkadaver manipuliert wurde. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Testkadaver innerhalb von 24 Stunden manipuliert wurde, betrug 0.29 (VI 95 %: 0.23–0.36)

### **3.2.5 Anteil der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer**

Zur Bestimmung des Anteils der in die abgesuchte Fläche gefallenen Schlagopfer wurden pro Distanzring die Anteile der abgesuchten Fläche mit den Anteilen der Schlagopfer multipliziert und schliesslich über die Distanzringe summiert. Als Werte für die Verteilung der Schlagopfer wurde der Mittelwert der modellierten Werte für kleine und grosse Vögel aus dem Projekt PROGRESS (Grünkorn et al. 2016) verwendet (vgl. 2.4.4, Abb. 56).

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer in der abgesuchten Fläche (Suchradius entweder 50 m oder 100 m) liegt, betrug basierend auf den Werten einer 140 m hohen WEA 40 %. Dieser Wert wurde für die Hochrechnung der Anzahl Schlagopfer verwendet.

Zum Vergleich wurden die Berechnungen auch basierend auf den Werten einer 160 m hohen WEA durchgeführt. Dabei beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer in der abgesuchten Fläche aufgefunden werden konnte 29 %. Dieser Anteil ist deutlich geringer als bei einer 140 m hohen WEA.

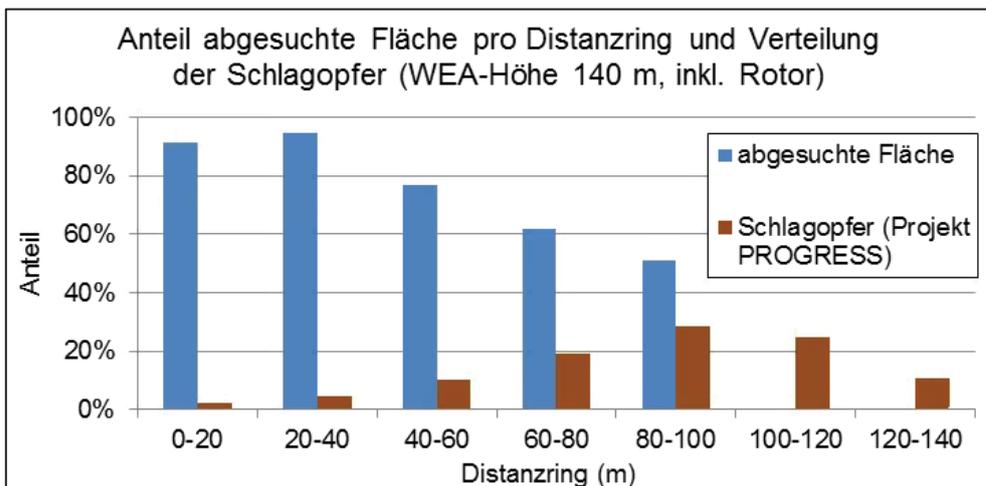


Abb. 56. Anteile der abgesuchten Fläche pro Distanzring am Standort Le Peuchapatte und Verteilung der Schlagopfer pro Distanzring einer 140 m hohen WEA (inkl. Rotor) aus dem Projekt PROGRESS (Mittelwert der Verteilung für grosse und kleine Vögel, vgl. 2.4.4). Zur Bestimmung des Anteils der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer werden pro Distanzring die Anteile der abgesuchten Fläche mit den Anteilen der darin liegenden Schlagopfer aus dem Projekt PROGRESS multipliziert und schliesslich über die Distanzringe summiert.

### 3.2.6 Hochrechnung effektive Anzahl Schlagopfer und absolute Kollisionsrate

Basierend auf der Sucheffizienz, der Verbleiberate und des Anteils, der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer wurde hochgerechnet (Tab. 11), wie gross die effektive Anzahl Schlagopfer war.

Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % lag die effektive Anzahl der Schlagopfer für alle drei WEA zusammen im Minimum bei 43, im Median bei 62 und im Maximum bei 89 Opfern. Dies ergibt pro WEA eine absolute Kollisionsrate zwischen 14.3 und 29.6 Schlagopfer bei einem Median von 20.7 Schlagopfer. Da der untersuchte Zeitraum beinahe ein gesamtes Jahr abdeckt und ausserhalb dieser Zeitperiode kaum mit Schlagopfern von ziehenden Arten zu rechnen ist, können die Zahlen für in breiter Front ziehende Zugvögel, die nicht auf Thermik angewiesen sind als für ein Jahr gültig betrachtet werden.

Zusätzlich wurde für die hochgerechnete Anzahl Schlagopfer berechnet, wie gross die Wahrscheinlichkeit ist, dass in Realität mehr Schlagopfer zu verzeichnen waren, als die Hochrechnung ergibt (Abb. 57). Geht man vom hochgerechneten Minimum von 43 aus, so ist die Wahrscheinlichkeit 97.4 %, dass die reale Anzahl Schlagopfer höher liegt als die hochgerechnete Anzahl Schlagopfer. Umgekehrt ist die Wahrscheinlichkeit mit 2.3 % sehr gering, dass die reale Anzahl der Schlagopfer höher war als die hochgerechneten 89 Schlagopfer. Bei einer hochgerechneten Anzahl von 62 Opfern ist man zu 50 % sicher, dass die reale Anzahl Schlagopfer nicht höher war als die hochgerechnete Anzahl (= Median).

Tab. 11. Modellparameter und Werte, welche zur Hochrechnung der Anzahl Schlagopfer verwendet worden sind.

Modellparameter	Wert	95 %-Vertrauensintervall
Anzahl gefundene Schlagopfer	20	-
Sucheffizienz	0.81	0.57 – 0.93
Verbleiberate	0.93	0.91 – 0.94
Anteil Schlagopfer in abgesuchter Fläche	0.4	-

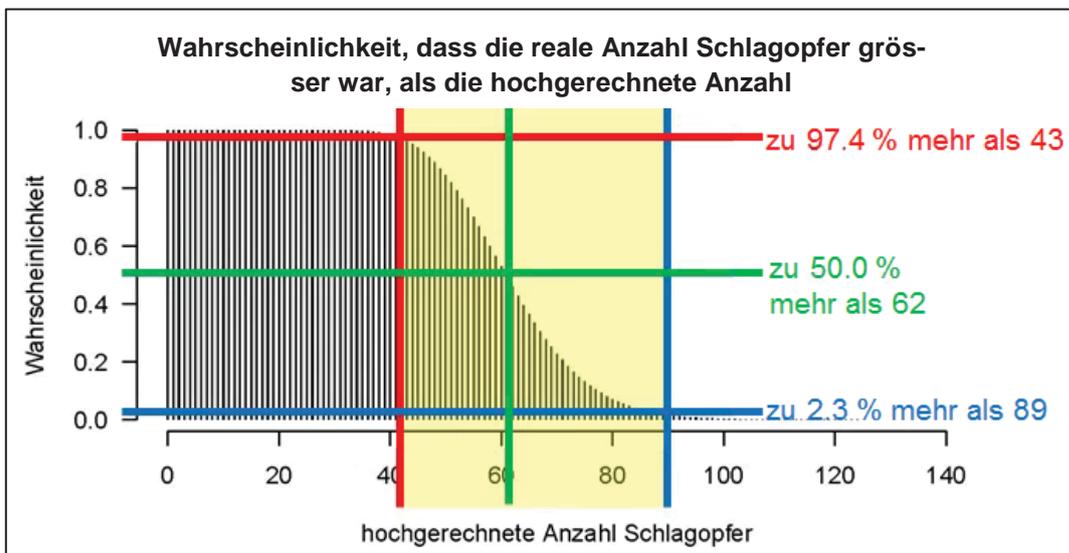


Abb. 57. Wahrscheinlichkeit, dass die reale Anzahl Schlagopfer grösser war, als die hochgerechnete innerhalb des 95 %-Vertrauensintervalls (gelber Bereich) liegende Anzahl Schlagopfer. Beim hochgerechneten Minimum von 43 Opfern war die reale Anzahl zu 97.4 %, beim hochgerechneten Median von 62 Opfern zu 50 % und beim hochgerechneten Maximum von 89 Opfern zu 2.3 % grösser.

### 3.3 Verknüpfung Radarstudie und Schlagopferstudie

#### 3.3.1 Kollisionsrate relativ zur Summe der durchziehenden Individuen

Diese relative Kollisionsrate bezieht sich auf das standardisierte Fenster von 200 m Höhe und 1 km Länge. Sie wird benötigt, um die Berechnungen im Rahmen der Schwellenwertdiskussion durchzuführen, da sich die Schwellenwerte in Form von  $MTR_{200m}$ -Werten auf dieselbe Fenstergrösse beziehen (Kap. 2.5.2).

Zur Berechnung der relativen Kollisionsrate pro WEA wurden die hochgerechneten Schlagopferzahlen in Beziehung zur Anzahl aller Individuen gesetzt, die sich zwischen dem 26.02.2015 und 17.11.2015 im Höhenbereich der WEA innerhalb des senkrechten Fensters von 200 m Höhe x 1 km Länge bewegt haben. Im Minimum sind pro WEA 14.3 Vögel der 390'500 Vögel, im Median 20.7 Vögel der 390'500 Vögel und im Maximum 29.6 Vögel der 390'500 Vögel verunfallt. Dies ergibt pro WEA eine Kollisionsrate von minimal 0.0037 %, von 0.0053 % im Median und von maximal 0.0076 %.

Tab. 12. Verschiedene Kennzahlen in Abhängigkeit der hochgerechneten Anzahl Schlagopfer (Minimum, Median, Maximum) verknüpft mit den Ergebnissen der Radarstudie.

Kennzahlen	Minimum 43 Opfer	Median 62 Opfer	Maximum 89 Opfer
Anzahl hochgerechnete Schlagopfer pro WEA (Absolute Kollisionsrate)	14.3	20.7	29.6
Summe Individuen im Höhenbereich der WEA innerhalb eines Fensters 200 m x 1 km		390'500	
Kollisionsrate (%) pro WEA relativ zur Summe der innerhalb eines Fensters 200 m x 1 km durchziehenden Individuen	0.0037	0.0053	0.0076
Summe theoretisch kollisionsgefährdete Vögel pro WEA basierend auf der Kollisionsrate von 0.25 % (ohne Ausweichverhalten, Fläche der Rotorblätter als frontale Kollisionsfläche innerhalb eines Fensters 200 m x 1 km)		976	
Kollisionsrate (%) pro WEA relativ zur Summe der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel. Anteil der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel, der effektiv verunfallt ist.	1.47	2.12	3.04
Ausweichrate (%) pro WEA. Anteil der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel, der nicht verunfallt ist)	98.53	97.88	96.96
Wahrscheinlichkeit (%), dass die Anzahl Schlagopfer in Realität grösser wäre als die hochgerechnete Anzahl Schlagopfer	97.4	50.0	2.3

### 3.3.2 Kollisions- und Ausweichrate relativ zur Summe der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel

Diese relative Kollisionsrate fokussiert sich nicht auf die gesamte Anzahl der durchziehenden Individuen, sondern auf diejenige Anzahl der Vögel, die unmittelbar im Rotorbereich der WEA theoretisch kollisionsgefährdet sind. Sie zeigt, welcher Anteil dieser Vögel an einer WEA verunfallt. Dabei wird angenommen, dass Vögel den Rotor zwischen den Rotorblattflächen unbeschadet passieren können.

Geht man davon aus, dass die Vögel das senkrechte Fenster von 200 m Höhe und 1 km Länge quer zur Hauptzugrichtung im Luftraum gleichmässig verteilt und geradlinig durchflogen hätten, so würde man erwarten, dass pro WEA 0.25 % der Vögel verunfallen würden (vgl. 2.3.4). Die 0.25 % entsprechen dem Anteil der Fläche, die die drei Rotorblätter einer WEA Enercon E-82 (frontal betrachtete Kollisionsfläche, nicht die überstrichene Fläche) zusammen mit dem Mast ab 30 m über Boden von der Gesamtfläche des senkrechten Fensters abdecken, welches die Vögel durchqueren.

Bei einer theoretischen Kollisionsrate von 0.25 % würden pro WEA 976 der insgesamt 390'500 erfassten Vögel verunfallen (Tab. 12). Effektiv sind aber pro WEA mit minimal 14.3 Individuen bis maximal 29.6 Individuen deutlich weniger Vögel verunfallt, was darauf hindeutet, dass die Vögel den WEA ausgewichen sind.

Setzt man die hochgerechneten Anzahl Schlagopfer in Beziehung zur theoretisch erwarteten Anzahl Opfer (ohne Ausweichverhalten), so ergibt sich, dass pro WEA von den 976 erwarteten Vögeln für die minimal hochgerechnete Anzahl Schlagopfer 1.47 %, für die im Median hochgerechnete Anzahl Schlagopfer 2.12 % und für die maximal hochgerechnete Anzahl Schlagopfer 3.04 % tatsächlich verunfallt sind. Diese Anteile repräsentieren die Kollisionsrate relativ zur Summe der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel (Anteil der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel, der effektiv verunfallt ist).

Die Ausweichraten relativ zur Summe der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel (Anteil der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel, der nicht verunfallt ist) liegen dementsprechend für die minimal hochgerechnete Anzahl Schlagopfer bei 98.53 %, für die im Median hochgerechnete Anzahl Schlagopfer bei 97.88 % und für die maximal hochgerechnete Anzahl Schlagopfer bei 96.96 %.

### 3.3.3 Zusammenhang Schlagopfer und Zugereignisse

Zur Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Schlagopfern und Zugereignissen nehmen wir an, dass als „frisch“ eingeschätzte Kadaver höchstens 1–2 Tage vor dem Funddatum verunfallt sind. Bei Kadavern, die als „alt“ bezeichnet worden sind, dürfte der Unfall drei oder mehr Tage zurück liegen. Die Einschätzung des Alters der Kadaver ist jedoch mit Vorsicht zu interpretieren.

Kollisionsereignisse kamen hauptsächlich zur Zugzeit vor. Innerhalb der Zugzeit traten Schlagopfer von Vögeln aber nicht immer dann auf, wenn in den Tagen zuvor im Höhenbereich der WEA hohe Zugintensitäten herrschten (Abb. 60 bis Abb. 62). In verschiedenen Nächten war die Zugintensität im Höhenbereich der WEA hoch, ohne dass danach Schlagopfer von Vögeln gefunden worden wären (z.B. 20.9., 24.9.–30.9.).

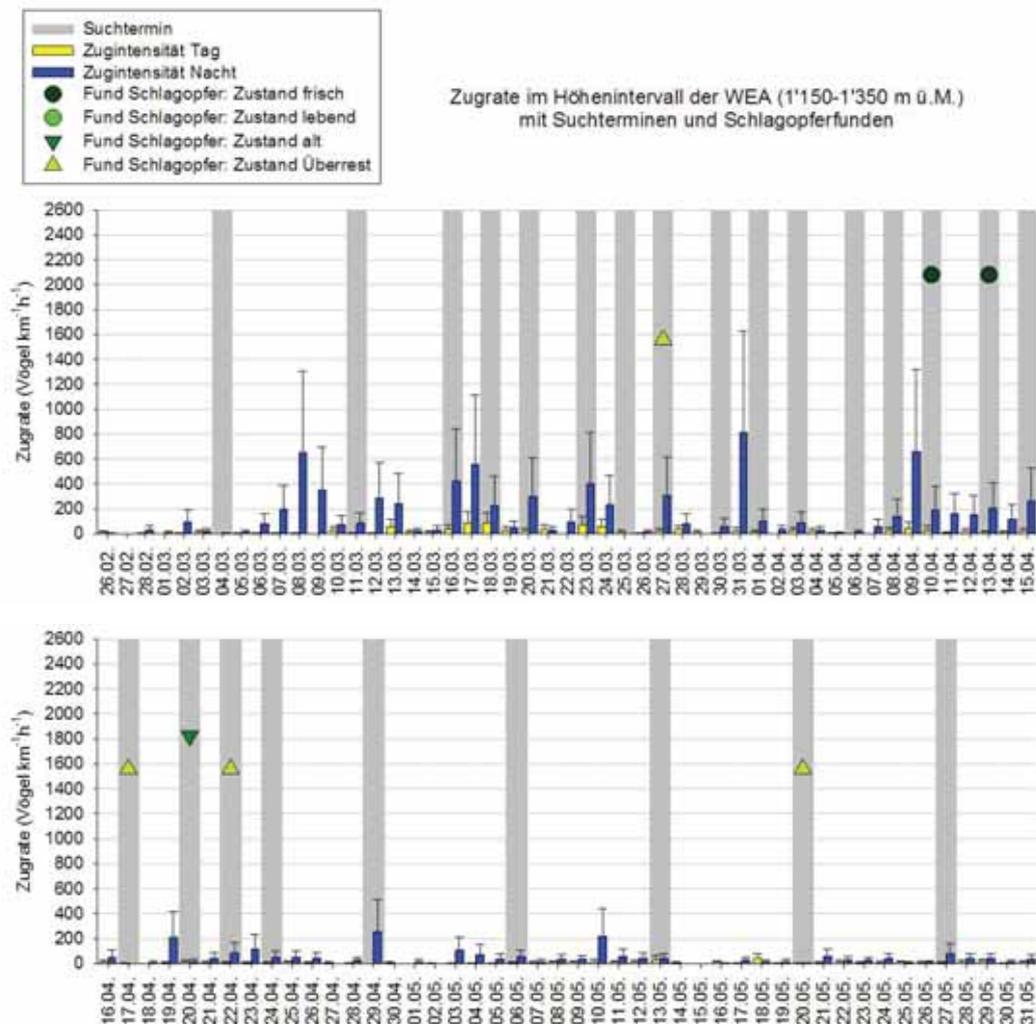


Abb. 60. Zugintensitäten mit Suchterminen und Schlagopferfunden während der Frühlingsperiode 2015 (oben: 01.03.–15.04.2015, unten: 16.04.–31.05.2015). Bei den Funden handelt es sich um folgende Arten: 27.03. und 17.04.: je eine Stockente; 10.04., 14.04. und 20.04.: je ein Sommergoldhähnchen; 20.04.: ein zusätzliches Goldhähnchen sp.; 20.05.: eine Misteldrossel.

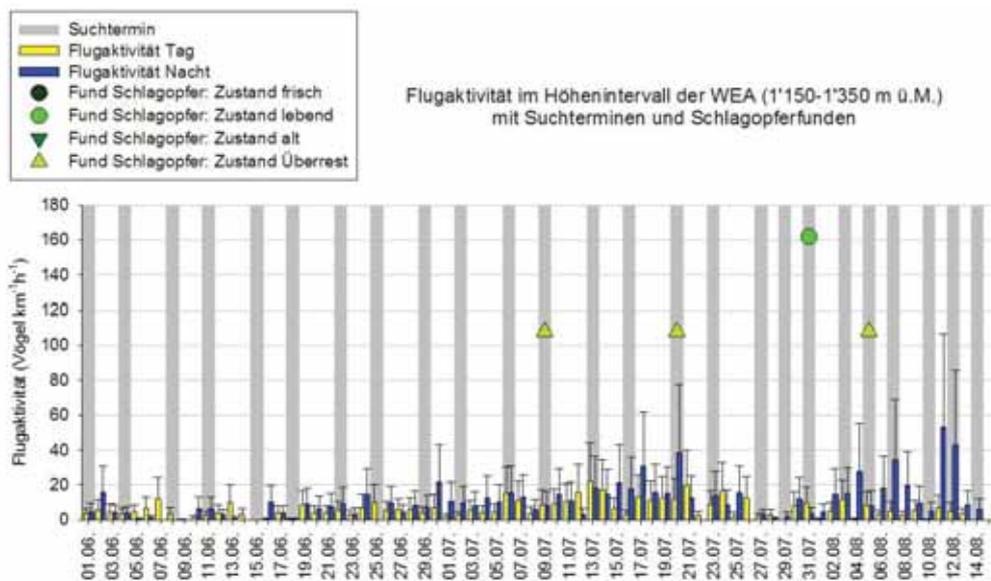


Abb. 61. Zugintensitäten mit Suchterminen und Schlagopferfunden während der Sommerperiode 2015 (1.6–15.8). Bei den Funden handelt es sich um folgende Arten: 09.07.: eine Wacholderdrossel; 20.07. und 31.07.: je ein Mauersegler; 05.08.: eine Singdrossel. Das Maximum der y-Achse wurde aus Gründen der Sichtbarkeit heruntergesetzt.

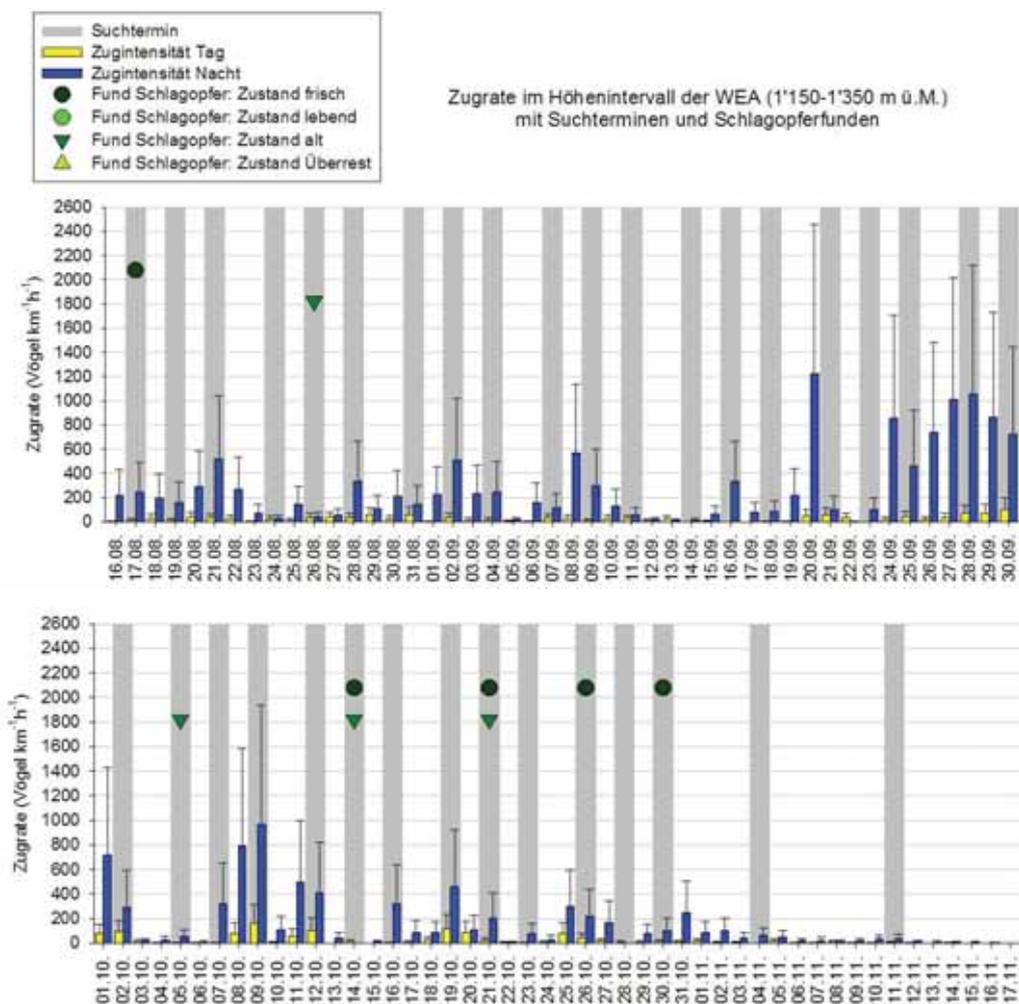


Abb. 62. Zugintensitäten mit Suchterminen und Schlagopferfunden während der Herbstperiode 2015 (oben: 16.08.–30.09.2015, unten: 01.10.–17.11.2015). Bei den Funden handelt es sich um folgende Arten: 17.08. und 14.10.: je ein Sommergoldhähnchen; 21.10.: zwei Sommergoldhähnchen; 14.10. und 30.10.: je ein Wintergoldhähnchen; 26.08.: ein Goldhähnchen sp.; 05.10.: ein Feldschwirl; 21.10.: ein Rotkehlchen; 26.10.: eine Blaumeiße.

### 3.3.4 Anwendung auf Schwellenwert zur Betriebseinschränkung

Kollisionseignisse traten hauptsächlich zur Zugzeit auf. Daher können Kollisionseignisse mit Betriebseinschränkungen zur Zugzeit reduziert werden. Innerhalb der Zugzeit scheinen Kollisionseignisse aber nicht immer unmittelbar im Zusammenhang mit hohen Zugintensitäten im Höhenbereich der WEA zu stehen. Betriebseinschränkungssysteme, die als Abschaltkriterium lediglich einen Schwellenwert zur Zugintensität betrachten, würden gemäss den Resultaten in Le Peuchapatte vermutlich öfter abschalten als nötig. Zusätzlich zum Schwellenwert der Zugintensität können aber durchaus weitere Faktoren berücksichtigt werden, die ebenfalls eintreten müssen, bis das Kriterium zum Abschalten erfüllt ist. Mit solchen zusätzlichen Kriterien kann die Betriebseinschränkung für Betreiber vermutlich weiter reduziert und für Vögel optimiert werden.

### 3.4 Meteorologische Bedingungen

Der Frühling war besonders Ende März/Anfang April von einer Schlechtwetterphase mit starken Westwinden geprägt (Abb. 63). Direkt nach dieser Periode traten die höchsten Zugintensitäten der Frühlingsperiode auf (vgl. Abb. 28a). Eine weitere Schlechtwetterphase mit starkem Niederschlag und tiefen Temperaturen trat Ende April/Anfangs Mai in Erscheinung.

In der Sommerperiode fallen v.a. zwei längere Zeitfenster auf, die regnerisch und kalt waren: Das zweite Drittel des Monats Juni sowie Ende Juli/Anfangs August (Abb. 64). Ein Kälteeinbruch Mitte Oktober liess die Temperaturen deutlich sinken. Ansonsten zeigte sich die Herbstperiode relativ trocken mit auffällig hohen Temperaturen im November (Abb. 65).

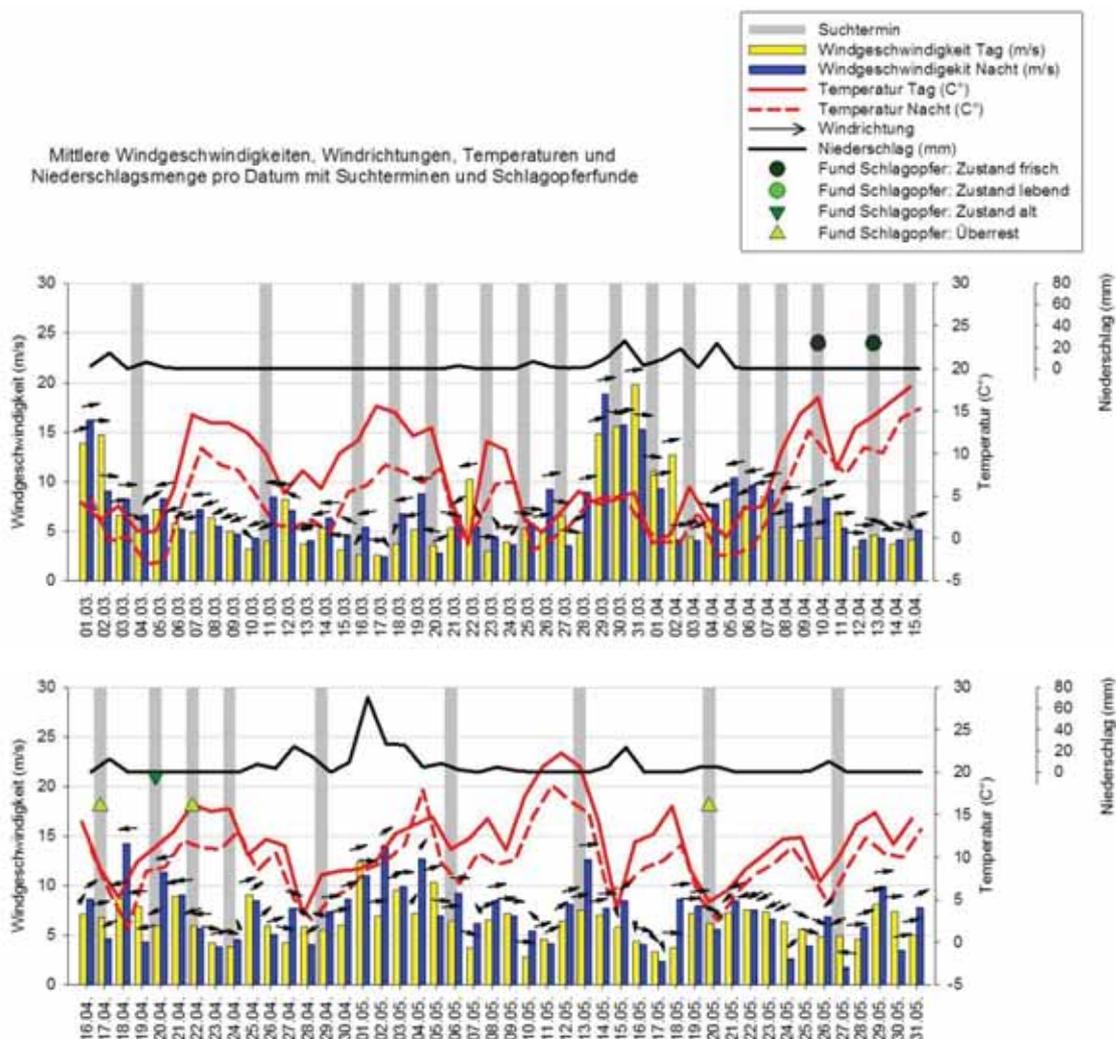


Abb. 63. Meteorologische Bedingungen während der Frühlingsperiode 2015 (oben: 01.03.–15.04.2015, unten: 16.04.–31.05.2015).

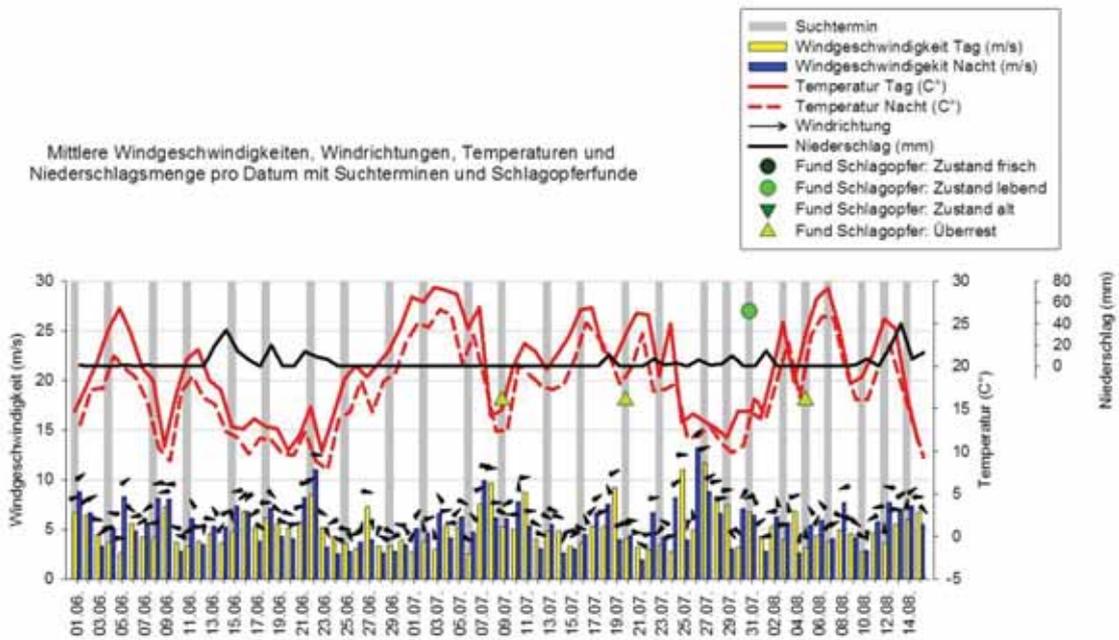


Abb. 64. Meteorologische Bedingungen während der Sommerperiode 2015 (01.06.–14.08.2015).

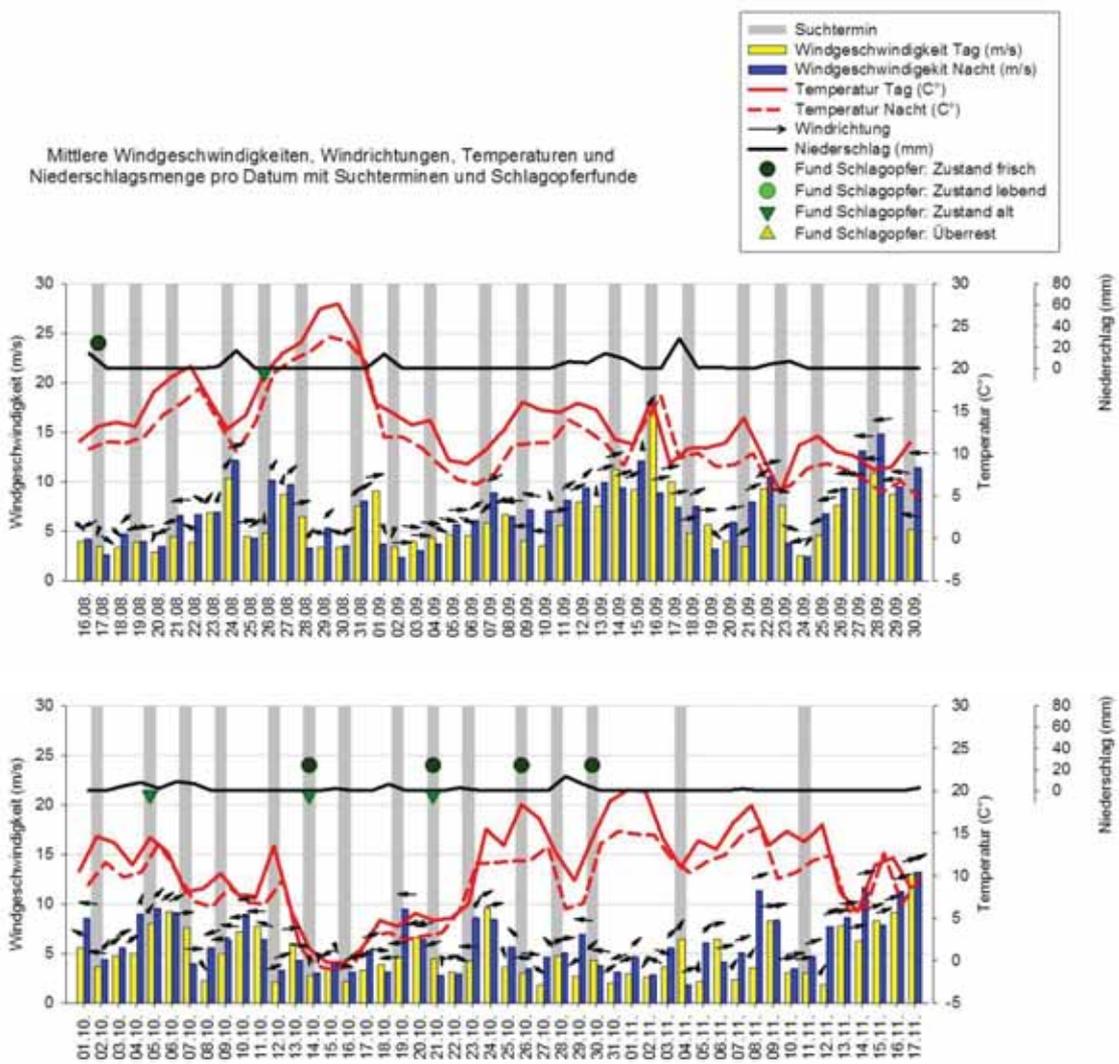


Abb. 65. Meteorologische Bedingungen während der Herbstperiode 2015 (oben: 16.08.–30.09.2015, unten: 01.10.–15.11.2015).

### 3.5 Betriebsdaten Windpark

Zur Beurteilung, ob im untersuchten Zeitraum das Kollisionsrisiko für Vögel durch die Drehung der Rotoren kontinuierlich erhöht vorhanden war, wurde die Häufigkeit der Anzahl Umdrehungen pro Minute ausgewertet. Während 98 % der Zeit drehten die Rotoren mehr als 1 Mal pro Minute und während 95 % der Zeit mehr als 5 Mal pro Minute (Abb. 66). Bei einer Umdrehung pro Minute beträgt die Geschwindigkeit an der Rotorspitze der Enercon E-82 15.4 km/h und bei 5 Mal pro Minute 77.3 km/h.

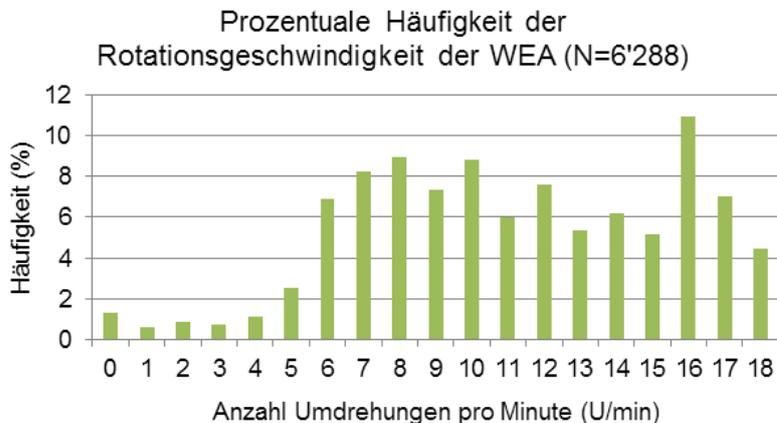


Abb. 66. Prozentuale Häufigkeit der Rotationsgeschwindigkeiten der WEA.

## 4 Diskussion

### 4.1 Unter- oder Überschätzung unterschiedlicher Werte

#### 4.1.1 Individuen im Höhenbereich der WEA

Bei der im Höhenbereich der WEA erfassten Anzahl Individuen (siehe Kap.3.1.4) sowie bei der sich daraus ergebenden Anzahl der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel, handelt es sich um eine minimale Anzahl von Vögeln, da Schwärme jeweils lediglich als ein einzelnes Echo in den Datensatz eingehen und so die Anzahl der im jeweiligen Schwarm fliegender Individuen nicht erfasst wird. Schwärme sind vor allem tagsüber unterwegs und deren Grösse könnte nur in Kombination mit Sichtbeobachtungen evaluiert werden. Diese Anzahl wird daher unterschätzt.

Als Folge davon und unter der Annahme, dass die hochgerechnete Anzahlen Schlagopfer pro WEA (absolute Kollisionsraten) der Realität entsprechen, wird der Anteil kollidierter Vögel (relative Kollisionsrate) über- und die Ausweichrate unterschätzt. Dies bedeutet, dass der Anteil kollidierter Vögel (relative Kollisionsrate) tiefer und die Ausweichrate höher liegen würde. Auf die aus den Funden hochgerechnete Schlagopferzahl pro WEA (absolute Kollisionsrate) hat diese Überlegung jedoch keinen Einfluss.

#### 4.1.2 Sucheffizienz

Methodisch traten verschiedene Faktoren auf, die die Sucheffizienz beeinflusst haben dürften. Spuren im hohen Gras, die vom Auslegen der Testkadaver zurückblieben, haben ab und zu dazu geführt, dass Testkadaver einfacher gefunden wurden. Teilweise wurden von Testkadavern nur noch Überreste gefunden, weil die Testkadaver bereits prädiert worden waren, bevor die Suchen abgeschlossen waren. Durch eine Prädation konnten vor Ort Federn über eine grössere Fläche verteilt worden sein oder es blieb nur noch der Holzspieß mit Schnur und einem Bein des Testkadavers übrig. Die Einschätzung, ob die Testkadaver durch diese Einflüsse einfacher gefunden werden konnten, ist schwierig. Verteilte Federn, insbesondere von hell gefärbten Testkadavern, dürften die Auffindewahrscheinlichkeit erhöht haben. Überreste von prädierten Testkadaver ohne verteilte Federn dürften wiederum schwieriger zu finden gewesen sein, als wenn die Testkadaver noch intakt gewesen wären.

Eine Überschätzung der Sucheffizienz hätte zur Folge, dass die hochgerechnete Anzahl Kollisionsopfer unterschätzt würde, weil die Entdeckungswahrscheinlichkeit zu hoch ausfällt. Insgesamt wurde das Experiment mit zahlreichen Testkadavern verteilt über die ganze Untersuchungsperiode unter verschiedensten Bedingungen durchgeführt. Den statistisch berechneten Wert schätzen wir daher als verlässlich ein.

#### 4.1.3 Verbleiberate und als Schlagopfer gewertete Kadaver

Wie sich bei der statistischen Analyse gezeigt hat, werden ausgelegte Testkadaver im Mittel innerhalb von drei Tagen manipuliert, indem sie entweder teilweise prädiert (Überreste bleiben liegen) oder als Ganzes (ohne Hinterlassen von Überresten) abgetragen werden (vgl. Kap. 3.2.4). Mit einem Suchintervall von 2–7 Tagen ist deshalb die Wahrscheinlichkeit hoch, dass der Kadaver eines Schlagopfers teilweise prädiert wurde, bevor er durch die suchenden Personen gefunden werden konnte. Aus diesem Grund ist auch die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass Funde im Feld, die nur noch aus Überresten von Vögeln bestehen, von einem Schlagopfer stammen, das in der Folge vor Ort gefressen wurde. Als Schlagopfer wurden daher sämtliche Funde gezählt, wo noch mehr als 10 Federn gefunden werden konnten. Funde, wo die Reste aus weniger als 10 Federn bestanden, wurden nicht mehr als Schlagopfer gezählt. Diese Grenze wurde auch für die Berechnung der Verbleiberate angewendet. Wenn von einem Testkadaver weniger als 10 Federn auffindbar waren, wurde dieser im Datensatz als verschwunden gewertet (Vgl. Kap. 2.4.3).

Einerseits könnte es sein, dass einige als Schlagopfer gewertete Kadaver nicht von Schlagopfern stammen. Umgekehrt könnte es aber auch sein, dass einige Funde, die nicht als Schlagopfer gewertet worden sind, doch von Schlagopfern stammen. Würde man eine andere Grenze als die 10 Federn wäh-

len, die als Kriterium dafür gilt, ob ein Kadaver als Schlagopfer gilt oder nicht, so müsste man diese Grenze auch für die Berechnung der Verbleiberate ändern. Ansonsten hätte man eine Diskrepanz zwischen der Bewertung von „echten“ Schlagopferkadavern und Testkadavern, die stellvertretend für Schlagopfer stehen. Würde man z.B. nur vollständige Kadaver als Schlagopfer rechnen, so müsste bei der Bestimmung der Verbleiberate ein Kadaver bereits als verschwunden gewertet werden, sobald verursacht durch Prädation nur noch Überreste vorhanden sind. Dadurch würde die Verbleiberate sinken.

Eine tiefere Verbleiberate würde die Anzahl hochgerechneter Schlagopfer erhöhen, während eine geringere Anzahl gefundener Schlagopfer die hochgerechnete Anzahl reduziert. Dementsprechend haben die beiden Parameter im Model eine sich gegenseitig aufhebende Wirkung. Allerdings kommt hinzu, dass die statistische Unsicherheit der geschätzten Anzahl zunimmt, weil mit weniger gefundenen Schlagopfern und einer gleichzeitig tiefer liegenden Verbleiberate eine weniger genaue Schätzung erfolgen kann. Je mehr Daten in das Modell einfließen und je höher die einzelnen Wahrscheinlichkeiten der zusätzlichen Parameter sind, umso sicherer ist die statistisch hochgerechnete Anzahl Schlagopfer.

Die Handhabung, welche Art von Funden als Schlagopfer gewertet werden, unterscheidet sich von Studie zu Studie. Oft sind die Angaben jedoch nicht sehr detailliert beschrieben, so dass der Umgang mit der Thematik nicht immer genau nachvollzogen werden kann. Vor allem ist häufig unklar, ob bei den Studien dasselbe Schlagopferkriterium dann auch für die Bestimmung der Verbleiberate verwendet worden ist.

Hull et al. (2013) zählten alle Kadaver von Vögeln und Federreste, die eine Ansammlung von mehr als 10 Federn und/oder 3 Schwungfedern (flight feathers) enthielten. Dieser Ansatz gleicht dem der vorliegenden Studie weitgehend. Eine Verbleiberate haben Hull et al. 2013 nicht bestimmt und sie haben keine Hochrechnungen vorgenommen.

Bei Johnson et al. (2002) kommt die Kategorie zusammenhängender Federrest („feather spot“) zwar als Kriterium zur Dokumentation des Zustands von Funden im Feld vor. Allerdings fehlt diese Kategorie danach bei der Beschreibung der gefundenen Schlagopfer, und es ist nur noch von zerstückelten („dismembered“) Kadavern die Rede. Es kann nicht nachvollzogen werden, ob solche Federreste schliesslich in diese Kategorie eingeflossen oder komplett ausgeschlossen worden sind. Testkadaver zur Bestimmung der Verbleiberate wurden täglich für maximal 14 Tage überwacht. Eine Definition von „verschwunden“ wird nicht angegeben. Die mittlere Verweildauer lag bei 7 Tagen (735 Testkadaver unterschiedlicher Grösse in vier Untersuchungsperioden jeweils Frühling und/oder Herbst über 3 Jahre, 1996–1999).

Krijgsveld et al. (2009) beschreiben, dass die für die Hochrechnung gewerteten Funde unterschiedliche Stadien der Verwesung aufwiesen von intakt bis zu Überresten bestehend aus einigen Federn und Knochen. Testkadaver zur Bestimmung der Verbleiberate wurden in den ersten drei Tagen täglich und danach bis zum 9. Tag noch ein- oder zweimal kontrolliert. Nach Ablauf der 9 Tage wurden die Überreste der Testkadaver eingesammelt. Eine Definition von „verschwunden“ wird nicht angegeben. Verschwinderaten werden für drei Windparks in Form von Geradengleichungen für die Anteile noch präsenter Testkadaver mit zunehmender Liegedauer angegeben. Anhand der Geradengleichungen kann geschlossen werden, dass es je nach Windpark 7.8 bis 20.5 Tage dauerte, bis die Testkadaver „verschwunden“ waren (72 Testkadaver unterschiedlicher Grösse, Okt.-Nov. 2004).

Hull & Muir (2010) erwähnen die Standards zur Beurteilung des Risikos bezüglich Windparks und Vögeln der Australian Wind Energy Association von 2005. Dort wird explizit geschrieben, dass nach toten Vögeln, Überresten von toten Vögeln und zusammenhängenden Federresten („feather spots“) gesucht werden soll.

Grodsky et al. (2013) erläutern in ihrer Diskussion hingegen ausdrücklich, dass Federreste allein nicht als Schlagopfer gewertet worden sind. Sie teilten ihre als Schlagopfer bezeichneten Funde in die Kategorien „frisch“, „teilweise prädiert“ und „verwest“ ein. Weiter diskutieren sie darüber, dass in den meisten Studien bei den Experimenten zur Bestimmung der Verbleiberate Testkadaver so lange liegen gelassen werden, bis sie tatsächlich verschwunden sind. In ihrer Studie wurden die Testkadaver jedoch nach fünf Tagen eingesammelt, wenn sie bis dahin nicht verschwunden waren. Eine Definition

von „verschwunden“ wird aber nicht angegeben. Im Mittel „verschwanden“ 81 % der Testkadaver innerhalb von 5 Tagen. Eine Extrapolation der Verschwinderate ergab für einen Testkadaver eine Wahrscheinlichkeit von weniger als 1 %, am Tag 10 noch da zu sein (402 Testkadaver einer Grösse in vier Untersuchungsperioden jeweils Frühling und/oder Herbst über 3 Jahre, 2008-2010).

Die verschiedenen methodischen Ansätze zur Bestimmung der Verbleiberate im experimentellen Design sowie bei der Auswertung erschweren einen Vergleich mit den Werten der vorliegenden Studie. Die hier ermittelten mittleren Verweildauern (10.2 Tage für kleine, 10.6 Tage für mittlere und 37.5 Tage für grosse Testkadaver) liegen jedoch im Rahmen der Werte, die andernorts bestimmt worden sind. Die Vorgehensweise der Bewertung von Vögeln als Schlagopfer der vorliegenden Studie entspricht auch dem international angewandten Vorgehen. Die statistisch berechneten Werte der Verbleiberate sowie die Anzahl der Vögel, die als Schlagopfer gewertet worden sind, dürfen als verlässlich und fundiert eingeschätzt werden.

#### **4.1.4 Anteil der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer und Distanzverteilung**

In der Regel kann bei Schlagopferstudien nie die gesamte Fläche, die notwendig wäre, abgesucht werden. Häufig ist ein Teil der Fläche von Wald bedeckt und/oder ökonomische Gründe erfordern, dass der Suchaufwand auf eine kleinere Fläche reduziert wird. Aus diesen Gründen muss die Höhe der Wahrscheinlichkeit bestimmt werden, dass ein Schlagopfer überhaupt in der abgesuchten Fläche liegt. Diese Wahrscheinlichkeit ist einer der drei Korrekturfaktoren, der in die Hochrechnung der Anzahl Schlagopfer einfließt.

##### ***Grösse der notwendigen Suchfläche, Suchradius und Anteil abgesuchter Fläche***

Für die Genauigkeit der Hochrechnung ist es wichtig, dass ein möglichst grosser Anteil der als nötig erachteten Suchfläche mit hoher Sucheffizienz abgesucht wird. Dementsprechend hat die Wahl der Grösse der als nötig erachteten Suchfläche einen grossen Einfluss. In der vorliegenden Studie wurde basierend auf diversen Informationen und Studien (Gauthreaux 1996, Johnson et al. 2002, Grünkorn et al. 2005, Krijgsveld et al. 2009, Hull & Muir 2010, Grodsky et al. 2013, Hull et al. 2013, Tab. 15) eine Suchfläche mit Radius von 150 m als notwendig erachtet. Im Verlauf der Analyse wurde aber aufgrund der verfügbaren Daten zur Distanzverteilung von Kadavern (vgl. Kap. 3.2.5) als Kompromiss eine Suchfläche mit Radius 140 m berücksichtigt.

Von der notwendigen Suchfläche (Radius 140 m) konnte lediglich ein gewisser Teil abgesucht werden. Ein Teil der notwendigen Suchfläche war von Bäumen bewachsen und aus ökonomischen Gründen wurden die Suchen auf eine Fläche innerhalb eines Radius von 100 m (69 Termine) oder 50 m (16 Termine) beschränkt. Die von Bäumen bedeckte Fläche, sowie die Fläche ausserhalb der Suchradien bis zu einer Distanz von 140 m wurden bei der Berechnung des Korrekturfaktors als „nicht abgesucht“ gewertet. Diese Gegebenheiten führen dazu, dass der Anteil der tatsächlich abgesuchten Fläche mit zunehmender Distanz zur WEA kleiner wird. Allerdings konnte mit den eng liegenden Transekten (Abstand 5 m) und dem Kurzhalten der Vegetation erreicht werden, dass zumindest die abgesuchte Fläche von den suchenden Personen für alle Vogelgrössen zu 100 % überblickt werden konnte. Denn kleine Vögel werden links und rechts von einem Transekt bis zu einer Distanz von 2.5 m verlässlich entdeckt (Grünkorn et al. 2016).

Mit der für die Berechnung des Korrekturfaktors verwendeten Suchfläche mit 140 m Radius wurde eine kleinere Fläche berücksichtigt, als ursprünglich als notwendig erachtet worden war. Das erhöht im Korrekturfaktor den berechneten Anteil der abgesuchten Fläche und führt bei der Hochrechnung zu einer Unterschätzung der Anzahl Schlagopfer.

Die Wahl der Grösse der notwendigen Suchfläche wird als fundiert und verlässlich eingeschätzt.

### ***Distanzverteilung der Schlagopfer***

Zur Bestimmung des Anteils der Schlagopfer, der in der abgesuchten Fläche liegt, muss die Häufigkeitsverteilung der Kadaver pro Distanz zum Mastfuss der WEA berücksichtigt werden. Allerdings müssen genügend Werte vorhanden sein, um eine der Wahrheit nahekommende Häufigkeitsverteilung über die notwendige Suchfläche zu erstellen. Gerade bei der Suche nach Schlagopfern unter WEA sind meistens nur sehr wenige Werte verfügbar, so dass die Häufigkeitsverteilung der empirischen Daten nicht als für die reale Verteilung repräsentativ betrachtet werden kann. Ausserdem müsste die Verteilung der empirischen Daten für die Entdeckungswahrscheinlichkeit korrigiert werden, da diese in Abhängigkeit der Distanz zur WEA unterschiedlich sein könnte. Weiter kommt hinzu, dass sich die Verteilung von Jahr zu Jahr noch unterscheiden kann (Grotsky et al. 2013). Die meisten bisher wissenschaftlich publizierten und gemessenen Werte wurden alle bei kleineren WEA erhoben (Johnson et al. 2002, Grotsky et al. 2013, Krijgsveld et al. 2009, Hull & Muir 2010). Die Ähnlichkeiten bei den Verteilungsmustern sind einerseits, dass die Kadaver von Vögeln meist bis zum äussersten Distanzring, der der Höhe der WEA entspricht, zu liegen kommen (Johnson et al. 2002, Krijgsveld et al. 2009, Grotsky et al. 2013, Hull & Muir 2010), andererseits, dass in den Distanzringen nahe der WEA eher weniger Schlagopfer zu finden sind, als in weiter entfernten Distanzringen (Johnson et al. 2002, Grotsky et al. 2013, Hull & Muir 2010). Für die vorliegende Studie muss daher angenommen werden, dass ein gewisser Anteil der Schlagopfer auch in den äussersten Distanzringen zu liegen gekommen ist, die nicht abgesucht worden sind. Wie gross dieser Anteil in den äussersten Distanzringen ausfällt, ist unklar. In der vorliegenden Studie lag der grösste Anteil der Schlagopfer nicht in den am besten abgesuchten Distanzringen.

Damit der Korrekturfaktor berechnet werden kann, müssen für alle Distanzringe bis 140 m Verteilungswerte verfügbar sein. Wenn man die empirische Distanzverteilung vom Standort Le Peuchapatte hätte verwenden wollen, müsste ein Modell gerechnet werden, damit für die äusseren nicht abgesuchten Distanzkreise die Verteilungswerte geschätzt werden könnten. Aufgrund der wenigen und für die äussersten Distanzringe fehlenden empirischen Daten wäre das Modell aber mit einer grossen statistischen Unsicherheit behaftet. Daher wurde auf die Daten der Studie PROGRES zurückgegriffen. Die modellierten Distanzverteilungen der Studie PROGRESS (Grünkorn et al. 2016) basieren auf empirischen Werten von 300 Schlagopfern, und sie wurden pro Distanzring für unterschiedliche Entdeckungswahrscheinlichkeiten korrigiert. Zudem sind auch Werte von WEA verfügbar, die ähnliche Gesamthöhen (140 m und 160 m) aufweisen, wie die der vorliegenden Studie (150 m). Aus diesen Gründen haben wir entschieden, die modellierten Werte der Distanzverteilung aus der Studie PROGRESS zu verwenden. Auch die modellierte Distanzverteilung der Studie PROGRESS zeigt, dass ein relativ grosser Anteil der Schlagopfer in zur WEA weit entfernten Distanzringen zu finden ist. Für die vorliegende Studie der WEA bei Le Peuchapatte mit einer Höhe von 150 m wurde die Distanzverteilung der 140 m hohen WEA verwendet und nicht diejenige der 160 m hohen WEA. Hätte man die Distanzverteilung von 160 m hohen WEA verwendet, so wäre der Anteil der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer noch geringer ausgefallen (0.29 anstelle von 0.4) und die Anzahl der hochgerechneten Schlagopfer höher (vgl. nächster Abschnitt). Insgesamt bringt die Distanzverteilung der Schlagopfer im Rahmen der vorliegenden Studie die grösste Unsicherheit mit sich.

Tab. 15. Angaben aus Studien zur Verteilung von Schlagopfern unter WEA.

	<i>Johnson et al. 2002</i>	<i>Krijgsveld et al. 2009</i>	<i>Grodsky et al. 2013</i>	<i>Hull et al. 2013</i>
Land	USA (Minnesota)	Holland	USA (Wisconsin)	Australien (Tasmanien)
Art der Landschaft	Hügelzug mit Wald	Ebene, Landwirtschaft	Ebene, Landwirtschaft	Küste Steilklippe und flachere Klippe
Zeitraum	4x 15.3.–15.11.	1x Nov.– Dez.	2x Frühling und 2x Herbst	Ganzjährig, 8 und 3 Jahre
Gesamthöhe WEA (m)	52.5–74	100–111	118	93
Anzahl und Grösse Windparks	3 Windparks mit 73, 143 und 138 WEA	3 Windparks mit 7, 10 und 8 WEA	86 WEA	2 Windparks mit 37 und 25 WEA
Anzahl/Anteil abgesuchter WEA	91	14	29	27 % und 25 %
Suchfläche	Radius 63 m	Radius 100 m	160 m x 160 m	Radius 100 m
Suchintervall	Alle 14 Tage	Alle 2 Tage	11 täglich, 9 alle drei Tage und 9 alle 5 Tage	2x pro Woche
Anzahl Kadaver	55	14	20	245
Fundort, mittlere Distanz zum Mastfuss der WEA (m)	14.8	66	-	-
Fundort, Spannweite der Distanz zum Mastfuss der WEA (m)	0.3–60.1	25–107	0–10 bis 80–90	-
Hochgerechnete Anzahl Kollisionsopfer pro WEA	0.98–4.45 (je nach Phase des Ausbau)	28 (19–68)	9	-

### **Verknüpfung Anteil abgesuchte Fläche und Distanzverteilung: Anteil der in der abgesuchten Fläche liegenden Schlagopfer**

Zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer in der abgesuchten Fläche liegt, müssen pro Distanzring die Anteile der abgesuchten Fläche mit den Anteilen der darin liegenden Schlagopfer (Distanzverteilung) multipliziert und diese Werte über die Distanzringe summiert werden. Eine hohe Wahrscheinlichkeit tritt dann auf, wenn in einem Distanzring ein grosser Anteil abgesucht werden konnte und sich dort gleichzeitig ein grosser Anteil der Schlagopfer befindet.

In der vorliegenden Studie zeigt sich eine starke Diskrepanz zwischen dem Anteil der abgesuchten Fläche und den vom Projekt PROGRESS übernommenen modellierten Anteilen der darin liegenden Schlagopfer. Diese Diskrepanz würde auch unter Verwendung von Werten aus dem vorliegenden Projekt bestehen bleiben. Dadurch fällt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer in der abgesuchten Fläche liegt mit 0.4 eher tief aus. Gemäss F. Korner-Nievergelt (mündl. Mitteilung 2016), lagen in anderer Studien, die sie bis anhin getätigt hat, die Werte noch tiefer. Der Wert hat auf die Hochrechnung folgenden Einfluss: Mit 0.4 liegt der Median der Anzahl Schlagopfer bei 62 (= 20.7 Schlagopfer pro WEA/Jahr) mit einer Spannweite von 43–89. Verwendet man stattdessen den Wert von 0.3, so resultiert daraus ein Median von 83 Schlagopfern (= 27.6 Schlagopfer pro WEA/Jahr) mit einer Spannweite von 56–120. Dieselbe Berechnung basierend auf einem Wert von 0.5 ergibt einen Median von 50 (= 16.7 Schlagopfer pro WEA/Jahr) mit einer Spannweite von 35–70. Die Grössenordnung der Anzahl Schlagopfer pro WEA/Jahr bleibt unabhängig vom Korrekturfaktor im gleichen Rahmen.

Wenn in Wirklichkeit der Anteil Schlagopfer in den äussersten Distanzringen geringer wäre als dies bei den Werten von PROGRESS der Fall ist, so würde die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer in der abgesuchten Fläche liegt, unterschätzt, und schliesslich die hochgerechnete Anzahl Schlagopfer überschätzt. Dieser Überschätzung der Anzahl Schlagopfer wirkt aber entgegen, dass unsere Hochrechnung nicht für Schlagopfer korrigiert worden ist, die potenziell ausserhalb eines Umkreises von 140 m zum Mastfuss zu liegen kommen. In der Studie PROGRESS wurde für solche Schlagopfer

zusätzlich korrigiert (Grünkorn et al. 2016), da Überreste von Vögeln auch ausserhalb der vordefinierten Suchkreise, die der Höhe der WEA entsprochen haben, gefunden worden sind.

Die Thematik der Distanzverteilung bringt für die vorliegende Studie die grösste Unsicherheit mit sich und es kann nicht abgeschätzt werden, ob dadurch schlussendlich eher eine Über- oder Unterschätzung der hochgerechneten Anzahl Schlagopfer zustande gekommen ist. Auch mit der Verwendung von Werten aus dem vorliegenden Projekt könnte diese Unsicherheit nicht reduziert werden.

#### **4.1.5 Hochgerechnete Anzahl Schlagopfer und absolute Kollisionsrate**

Ein Vergleich der hochgerechneten Anzahl Schlagopfer pro WEA (absolute Kollisionsrate) mit den Anzahlen anderer Studien erwies sich als schwierig (Marques et al. 2014, Dai et al. 2015, Wang et al. 2015). Sowohl die Standorte als auch die Methoden der Datenerhebungen und der statistischen Berechnungen sind sehr unterschiedlich. Selbst die Angabe des Mortalitätsbezugs variiert je nach Studie. Manche nennen die Anzahl Vögel pro Megawatt, andere die Anzahl pro WEA pro Tag etc. Bei einem Vergleich solcher Zahlen ist deshalb immer Vorsicht geboten. Interessanterweise geben die Review Artikel Marques et al. 2014, Dai et al. 2015 und Wang et al. 2015 zum Teil unterschiedliche Spannweiten der bisher bekannten Anzahl Schlagopfer pro WEA an. Bei Marques et al. (2014) wird angegeben, dass die bisher bekannten Schätzungen bei 0–40 Schlagopfer pro WEA pro Jahr liegen. Dai et al. (2015) gibt einige Publikationen an, woraus eine Spannweite von 0.03 bis 35 Schlagopfer pro WEA pro Jahr hervorgeht und Wang et al. (2015) kommen zum Ergebnis, das heutzutage 0.02 bis 7.36 Vögel pro WEA pro Jahr verzeichnet werden, wobei in manchen Studien bis 20.5 Vögel pro WEA pro Jahr ermittelt wurden. Die bisher erwähnten konkreten und wissenschaftlich publizierten Schlagopferstudien kommen in den USA im ebenen Landwirtschaftsgebiet auf 0.026 Vögel pro WEA pro Tag (Grodsky et al. 2013), was ca. 9 Vögel pro WEA pro Jahr ergibt, in Holland auf 28 Vögel (19–68) pro WEA pro Jahr und auf einem Hügelzug in Minnesota wurden je nach Ausbauphase des Windparks 0.98 bis 4.45 Schlagopfer pro WEA für jeweils 8 Monate errechnet.

Die ermittelten absoluten Kollisionsraten von im Median 20.7 (minimal 14.3 bis maximal 29.6) Schlagopfern pro WEA pro Jahr der vorliegenden Studie, die in Le Peuchapatte auf einem Hügelzug des Schweizer Jura mit intensivem Vogelzug durchgeführt worden ist, liegen im Rahmen von bisherigen Schlagopferschätzungen. Die verwendete Methodik ist wissenschaftlich fundiert.

## **4.2 Zusammenhang Schlagopfer und Zugereignisse**

### ***Anzahl Schlagopfer und Zugintensität***

Bisher wurde angenommen, dass Schlagopfer vor allem dann auftreten, wenn auch die Zugintensität im Höhenbereich der WEA stark ist. Ein konkreter Zusammenhang zwischen der Höhe der Zugintensität und dem Auftreten von Schlagopfern konnte in der vorliegenden Studie jedoch nicht eruiert werden. Es stellte sich als schwierig heraus, die gefundenen Kadaver einem Zugereignis zuzuordnen. Weil man nicht wusste, wie lange die gefundenen Kadaver schon vor Ort lagen, bevor sie gefunden wurden, konnte lediglich grob beurteilt werden, ob ein Kadaver eher frisch oder eher alt wirkte. Ein Teil der Kadaver bestand nur aus Überresten, deren Alter nicht bestimmbar ist. Frisch wirkende Kadaver waren schätzungsweise maximal 2 Tage und alt wirkende Kadaver mindestens 2 Tage alt.

Die ermittelten Daten zeigen Nächte mit starken Zugintensitäten im Höhenbereich der WEA, ohne dass nachher Schlagopfer von Vögeln gefunden wurden, obwohl mehrere Suchtermine direkt im Anschluss an solchen Nächten lagen (z.B. 31.03/01.04., 09.04/10.04, 20.09./21.09, 24.09./25.09.).

### ***Anzahl Schlagopfer und Wetterbedingungen***

Generell wird diskutiert, dass eingeschränkte Sichtbedingungen durch schlechtes Wetter das Kollisionsrisiko für Vögel erhöhen (Marques et al. 2014). Johnson et al. (2002) vermuten, dass 51 ihrer 55 gefundenen Schlagopfer in Kombination mit schlechten Witterungsbedingungen (Gewitter, Nebel und stürmischen Winden) aufgetreten sind. Als Fallbeispiel geben sie an, dass am 17. Mai 1999 unter zwei nebeneinanderliegenden WEA auf einmal 14 frische Schlagopfer (11 Waldsänger („warbler“), 2 Schnäpper („flycatcher“) und 1 Vireo) gefunden worden sind, nachdem in der Nacht vorher ein schwe-

res Gewitter wütete. Auch bei der Studie PROGRESS wurde nach einem Sturmereignis Ende Oktober 2013 in zwei küstennahen Windparks eine Häufung von Schlagopfern (total 15 Wat- und Wasservögel) festgestellt.

In der vorliegenden Studie gaben nur die Bilder der Fotofallen zumindest Hinweise darauf, wann die Sichtbedingungen eingeschränkt waren. Ob Nebel im Bereich der Fotofallen auch Nebel auf der Höhe der Rotorblätter bedeutete, kann nicht eruiert werden. Umgekehrt kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Höhenbereich der Rotorblätter im Nebel lag, dies jedoch auf der Kamera in Bodennähe nicht sichtbar war. Stichprobenartig wurden die Sichtbedingungen einiger Nächte beurteilt. Es gab Nächte mit Nebel im Erfassungsbereich der Kameras, ohne dass nachher Schlagopfer gefunden worden wären (9./10.10., 14.10./15.10.) wie auch Nächte mit Nebelereignissen, bei denen nach 1–2 Tagen „frische“ Schlagopfer entdeckt worden sind (13./14.10., 20./21.10.). Zugleich wurden aber auch Schlagopfer gefunden, ohne dass vorher auf den Kameras schlechte Sichtbedingungen erkennbar waren (7.4.–13.4.). Die Nächte mit starkem Zug vom 20./21.9.2015 und 24./25.9.2015 scheinen auf den Kameras klar gewesen zu sein.

Die Faktoren, welche das Auftreten von Schlagereignissen begünstigen, sind unklar und bedürfen weiterer Forschung. Vermutet wird ein Zusammenhang mit meteorologisch bedingten schlechten Sichtbedingungen.

#### ***Relative Kollisionsrate und Ausweichrate***

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um die erste Studie, bei der gleichzeitig zu systematischen Schlagopfersuchen langfristige, quantitative Radarmessungen mit zur Messung des Vogelzugs kalibrierten Radargeräten stattgefunden haben, so dass Kollisionsraten relativ zur Anzahl der durchziehenden Individuen berechnet werden konnten. Insofern existieren keine Zahlen aus anderen Untersuchungen, mit denen die Ergebnisse der vorliegenden Studie verglichen werden könnten.

Die ermittelten Schlagopferzahlen erfordern eine länderübergreifende, kumulative Betrachtung. Die absoluten Kollisionsraten mit einem Median von 20.7 Schlagopfern pro WEA/Jahr (und auch der Minimalwert von 14.3 Schlagopfern pro WEA/Jahr) liegen höher als der im Sinne des Vorsorgeprinzips vorgeschlagene Wert von maximal 10 toten Vögeln pro WEA pro Jahr aus Liechti et al. (2013b).

### **4.3 Artenzusammensetzung und Artspezifität**

Mit Ausnahme von zwei Arten wurden alle Schlagopfer innerhalb ihrer artspezifischen Zugzeiten gefunden. Deshalb dürfte es sich beim grössten Teil der Schlagopfer um ziehende Vögel gehandelt haben. Sämtliche dieser Arten ziehen aktiv in breiter Front und sind nicht auf Thermik angewiesen. Die kleinen Singvögel machten mit fünf Arten 70 % der Totfunde aus. Drei dieser Arten ziehen entweder ausschliesslich nachts (Sommergoldhähnchen, Rotkehlchen und Feldschwirl), ausschliesslich am Tag (Blaumeise) oder sowohl am Tag wie auch in der Nacht (Wintergoldhähnchen).

Für Windparks aus den USA sind Untersuchungen bekannt, bei denen kleine Singvögel die häufigsten Kollisionsopfer waren (Johnson et al. 2002, Erickson et al. 2014, Grodsky et al. 2013). Kunz et al. (2007) bezieht sich auf einen Übersichtsbericht von Erickson et al. (2001), worin die Ergebnisse der Schlagopfersuchen aus 31 Studien zusammengetragen worden sind. In Windparks ausserhalb von Kalifornien gehörten 78 % der gefundenen Schlagopfer zu den Singvögeln, wovon wiederum 50 % den nachziehenden kleinen Singvögeln zuzuordnen waren. Vor allem in Windparks auf bewaldeten Hügelzügen waren Schlagopfer von kleinen Singvögeln vertreten, so dass sich die Autoren dazu veranlasst fühlten, dazu ihre Besorgnis zu bekunden (Kunz et al. 2007). Eine ähnliche topografische Situation wurde auch in der vorliegenden Studie untersucht.

Leider sind Schlagopferstudien häufig offenbar weder wissenschaftlich publiziert noch sonst wie verfügbar. Die Resultate von zugänglichen Berichten, Studien oder mündlichen Mitteilungen aus laufenden Projekten wurden auf die Artenzusammensetzung der gefundenen Schlagopfer hin geprüft. Generell sind bei Schlagopfersuchen in Europa immer wieder Totfunde von Goldhähnchen vertreten. In der zentralen Fundkartei der staatlichen Vogelschutzbehörde Brandenburg werden Daten zu Vogelverlusten an WEA gesammelt. Zwar nimmt die Anzahl der dokumentierten Funde aus systematischen Schlagopfersuchen zu, trotzdem bestehen die Daten der Fundkartei aber noch zu einem grossen Teil aus

Zufallsfunden. Daher müssen die darin enthaltenen Zahlen vorsichtig und bestenfalls als Mindestwerte behandelt werden. Auch die Artenverteilung ist daher nicht repräsentativ, speziell dürften kleine und sehr kleine Vogelarten unterrepräsentiert sein. In der Fundkartei liegen bis anhin aber dennoch Meldungen für Totfunde von total 99 Wintergoldhähnchen, 101 Sommergoldhähnchen und 64 unbestimmten Goldhähnchen vor (A11, Dürr 2015). Die Funde stammen aus Österreich, Belgien, Tschechien, Deutschland, Spanien, Frankreich, Niederlande, Portugal, Polen und Schweden. So z.B. 2 Wintergoldhähnchen auf der Insel Fehmarn (BioConsult SH GmbH & Co. KG & ARSU GmbH 2010), 2 Wintergoldhähnchen und 2 Sommergoldhähnchen in der Studie PROGRESS (Grünkorn et al. 2016), 1 Sommergoldhähnchen im Landkreis Lüchow-Dannenberg in der Nähe von Hamburg (Manthey 2015), 2 Wintergoldhähnchen in Holland (Krijgsveld et al. 2009). In diversen Windparks in Bayern wurden im Herbst 2015 sogar ebenfalls grösstenteils Goldhähnchen (10 Wintergoldhähnchen, 3 Sommergoldhähnchen und 2 unbestimmte Goldhähnchen) gefunden (Mitteilung per E-Mail vom 22.6.2016, Sebastian Biele, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Garmisch-Partenkirchen).

Alle anderen in der vorliegenden Studie gefundenen Arten sind allesamt auch in der zentralen Fundkartei der staatlichen Vogelschutzwarte Brandenburg als Schlagopfer vertreten (Dürr 2015). Als grösste Vogelart wurden Überreste von Stockenten gefunden. Stockenten gehörten auch beim Projekt PROGRESS zu den häufigsten Totfunden (Grünkorn et al. 2016).

Aufgrund der Sucheffizienz und der Verbleiberate lässt sich sagen, dass Schlagopfer von grossen Greifvögeln in Le Peuchapatte mit grosser Sicherheit gefunden worden wären, wenn solche vorhanden gewesen wären. Von Greifvögeln wurden aber keine Schlagopfer gefunden, obwohl sowohl Rotmilane wie auch Mäusebussarde im Gebiet Le Peuchapatte beobachtet wurden. Dokumentiert wurde die Anwesenheit von Rotmilan und Mäusebussard durch die Fotofallen (Abb. 67) wie auch durch Gelegenheitsbeobachtungen der schlagopfersuchenden Personen. Allerdings ist mit diesen Daten keine quantitative Aussage möglich. Die Anzahl der Grossvögel, die sich vor Ort bewegt haben, kann auch anhand der Radardaten nicht separat quantifiziert werden. Sie macht aber jeweils nur einen geringen Bruchteil der gesamten gemessenen Anzahl Vögel aus. Deshalb ist ein Kollisionsereignis für Grossvögel deutlich seltener zu erwarten als für Kleinvögel. Die separate Hochrechnung für Grossvögel (Modellrechnung basierend auf der Sucheffizienz und der Verbleiberate für grosse Vögel, aber mit 0 Funden), ergab für den Standort Le Peuchapatte, dass im untersuchten Zeitraum mit einer Wahrscheinlichkeit von 85 % weniger als 1 Grossvogel pro WEA verunfallt ist. Somit ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass an den WEA bei Le Peuchapatte nicht jedes Jahr ein Grossvogel umkommt.

Mäusebussard und Rotmilan gehören in Deutschland zu den häufigsten an WEA verunfallenden Arten. Deshalb fokussiert sich die Diskussion zur Kollisionsproblematik in Europa vor allem auf die grösseren Vogelarten wie Greifvögel (Marques 2014, Müller et al. 2015). Den kleinen Singvögeln wird bislang relativ wenig Beachtung geschenkt. Mehrfach wird sogar betont, dass trotz der grossen Anzahlen von nachziehenden Kleinvögeln kaum Schlagopfer solcher Arten gefunden worden sind (Grünkorn 2005, Krijgsveld 2009, BioConsult SH GmbH & Co. KG & ARSU GmbH 2010). Dies steht im Gegensatz zu den Resultaten der vorliegenden Studie.

Ein Grund, warum in der Schweiz bisher keine Kollisionsopfer von Grossvögeln festgestellt worden sind, könnte mit der geringen Anzahl an bisher realisierten WEA zu tun haben. Eine Erklärung dafür, warum im Norden Mitteleuropas bisher kaum Kollisionen von nachziehenden Arten festgestellt worden sind, könnte mit der unterschiedlichen Topographie zu tun haben. Der Standort Le Peuchapatte liegt auf einer Hügelkette, so dass darauf installierte WEA direkt in den Zugstrom hineinragen, während im nördlichen Mitteleuropa das Gelände flach ist und von den Vögeln in der Regel in Höhen oberhalb der WEA überquert wird.



Abb. 67. Mäusebussard (links) und Rotmilan (rechts) im Studiengebiet (Aufnahmen Fotofallenkameras, Schweizerische Vogelwarte Sempach).

#### 4.4 Anwendung auf Schwellenwert zur Betriebseinschränkung

Im Rahmen der Diskussion zur Minderung der Anzahl Kollisionsoffer an WEA wurde mangels wissenschaftlicher Daten nach dem Vorsorgeprinzip vorgeschlagen, die Windturbinen abzustellen, wenn ein Schwellenwert von 50 Vögeln pro km und h (=  $MTR_{200m} 50$ ) erreicht wird, so dass dadurch nicht mehr als 10 Vögel pro WEA pro Jahr verunfallen (Liechti et al. 2013b). Weiter setzt dieser Ansatz die Annahmen voraus, dass Schlagopfer vor allem dann auftreten, wenn die Zugintensität im Höhenbereich der WEA hoch ist und dass die Kollisionsrate nicht artspezifisch ist.

Kollisionsereignisse traten hauptsächlich zur Zugzeit auf. Daher können Kollisionsereignisse mit Betriebseinschränkungen zur Zugzeit reduziert werden. Innerhalb der Zugzeit scheinen Kollisionsereignisse aber nicht immer unmittelbar im Zusammenhang mit hohen Zugintensitäten im Höhenbereich der WEA zu stehen. Betriebseinschränkungssysteme, die als Abschaltkriterium lediglich einen Schwellenwert zur Zugintensität betrachten, würden gemäss den Resultaten in Le Peuchapatte vermutlich öfter abschalten als nötig. Zusätzlich zum Schwellenwert der Zugintensität können aber durchaus weitere Faktoren berücksichtigt werden, die ebenfalls eintreten müssen, bis das Kriterium zum Abschalten erfüllt ist. Mit solchen zusätzlichen Kriterien kann die Betriebseinschränkung für Betreiber vermutlich weiter reduziert und für Vögel optimiert werden.

Die neuen Erkenntnisse der vorliegenden Studie führen dazu, dass der Umgang mit dem Schwellenwert weiterer Grundlagen und Diskussionen bedarf. Die Zusammenhänge zwischen Vogelzugintensität und Anzahl Kollisionen sind offenbar komplexer als angenommen. Neben artspezifischer Kollisionsensibilität müssen noch weitere Faktoren wie z.B. die Sichtverhältnisse berücksichtigt werden. Dadurch können unter der Voraussetzung, dass höchstens 10 Vögel pro WEA pro Jahr verunfallen sollen, Betriebseinschränkungen aber präziser angepasst und der Produktionsverlust reduziert werden.

#### 4.5 Aussagekraft und Repräsentativität der Studie

Die vorliegende Studie ist national und international die erste Studie, bei der gleichzeitig zu systematischen Schlagopfersuchen langfristige, quantitative Radarmessungen mit zur Messung des Vogelzugs kalibrierten Radargeräten stattgefunden haben. Die Datenaufnahmen erfolgten im Schweizer Jura auf 1'000 m ü.M. während knapp 9 Monaten in einem Windpark mit drei Windturbinen des Typs Enercon E-82, die eine Gesamthöhe von 150 m (inkl. Rotor) aufweisen. Die 9 Monate beinhalten sowohl die Hauptzugzeiten im Herbst als auch im Frühling. Die während der 9 Monate ermittelten Kollisionen entsprechen daher in etwa den jährlich zu erwartenden Kollisionen an diesem Standort.

Auf eine Referenzsuche in einem Gebiet auf freiem Feld ohne WEA wurde verzichtet. Eine Studie in den USA (Grodsky et al. 2013) zeigte, dass auf den Kontrollflächen ausserhalb des Windparks keine toten Vögel gefunden worden sind. Aufgrund dieser Erkenntnis in Kombination mit finanziellen Aspekten wurde auf diese Untersuchung bewusst verzichtet.

Die Studie leistet einen wesentlichen Beitrag zur Diskussion der Kollisionsproblematik von Vögeln an WEA und stellt zum ersten Mal einen konkreten Zusammenhang zwischen der Anzahl kollisionsgefährdeter Individuen, die an einem Ort durchziehen und der Anzahl Vögel, die an einem Ort verunfallen, her. Sie gibt für die Schweiz einen ersten Eindruck zur Grössenordnung der Anzahl Vögel, die an WEA verunfallen. Le Peuchapatte ist ein Standort an exponierter Lage mit starker Zugintensität und mit der Untersuchungsperiode konnten unterschiedliche meteorologische Verhältnisse (auch Tage und Nächte mit Nebel) abgedeckt werden, wo das Kollisionsrisiko erhöht gewesen sein dürfte. An weniger exponierten Standorten mit geringeren Zugintensitäten ist vermutlich entsprechend mit weniger Schlagopfern zu rechnen. Die Hochrechnungen zur Bestimmung der absoluten Kollisionsraten wurden allerdings konservativ durchgeführt.

Da der untersuchte Zeitraum beinahe ein gesamtes Jahr abdeckt und ausserhalb dieser Zeitperiode kaum mit Schlagopfern von ziehenden Arten zu rechnen ist, können die Zahlen für in breiter Front ziehende Zugvögel, die nicht auf Thermik angewiesen sind als für ein Jahr gültig betrachtet werden.

Die Ergebnisse dürften sich für in breiter Front ziehende Vögel, die nicht auf Thermik angewiesen sind, auf den gesamten Schweizer Jurabogen und topografisch ähnliche Räume übertragen lassen. Die Übertragbarkeit auf alpine Standorte sowie für Standorte im Mittelland ist jedoch nicht gegeben. Es ist unklar, in wie weit sich die Ergebnisse auf höhere und grössere WEA übertragen lassen. Die Kollisionsrate könnte mit zunehmender Höhe und Grösse der WEA ansteigen, da die WEA weiter in den Zugstrom hineinragen. Ob die gefundenen Muster bezüglich des betroffenen Artenspektrums repräsentativ sind oder spezifisch für das Untersuchungsjaar, ist ebenfalls noch unbekannt. Der Einfluss der Witterungsbedingungen, besonders schlechter Sicht, auf die Kollisionsgefahr für Zugvögel kann noch nicht beurteilt werden.

## 4.6 Schlussfolgerungen

- a) Die untersuchte Region im Schweizer Jura weist wie erwartet im Frühling und im Herbst eine hohe Zugintensität auf.
- b) Die Hochrechnung ergibt pro WEA im Median eine absolute Kollisionsrate von 20.7 (14.3 – 29.6) Vögel pro Jahr. Mit 50 %-er Wahrscheinlichkeit sind in Realität mehr als 20.7 Vögel pro WEA pro Jahr verunfallt. Beim Minimalwert von 14.3 ist diese Wahrscheinlichkeit 97 %, beim Maximalwert von 29.6 Vögel liegt sie bei 2.3 %. Die Hochrechnung wurde konservativ durchgeführt.
- c) Aus den hochgerechneten Schlagopferzahlen in Kombination mit den Radardaten resultiert (relative Kollisionsrate), dass im Median 2.1 % (1.5 % bis 3.0 %) der Summe der theoretisch kollisionsgefährdeten Vögel an den WEA verunfallt sind. Die Zahlen erfordern eine länderübergreifende, kumulative Betrachtung.
- d) Die Ausweichrate der kollisionsgefährdeten Vögel wird im Median auf 97.9 % (97.0 % bis 98.5 %) geschätzt.
- e) Kollisionsopfer waren vor allem nachziehende Kleinvogelarten. Dies scheint den bisherigen Befunden aus Europa zu widersprechen, wo vor allem die Kollisionsproblematik für Grossvögel (z.B. Greifvögel und Seevögel) erforscht und diskutiert wird. Aufgrund der deutlich geringeren Anzahl von Grossvögeln im Vergleich zu Kleinvögeln, sind Kollisionen von Grossvögeln aber seltener zu erwarten. Die separate Hochrechnung für Grossvögel ergab, dass im untersuchten Zeitraum (9 Monate) am Standort Peuchapatte mit einer Wahrscheinlichkeit von 85 % weniger als 1 Grossvogel pro WEA verunfallt ist. Somit ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass an den WEA bei Le Peuchapatte nicht jedes Jahr ein Grossvogel umkommt.
- f) Die Kollisionsproblematik scheint artspezifisch vor allem Goldhähnchen zu betreffen. Goldhähnchen wurden auch in anderen Studien immer wieder vereinzelt als Kollisionsopfer dokumentiert. Ob Goldhähnchen in der Schweiz immer den Hauptanteil der Schlagopfer ausmachen oder ob dieses Muster für das Untersuchungsjahr oder den Standort spezifisch war, ist unbekannt.
- g) Die Kollisionsereignisse traten hauptsächlich zur Zugzeit auf. Innerhalb der Zugzeit scheinen sie aber nicht immer unmittelbar im Zusammenhang mit hohen Zugintensitäten im Höhenbereich der WEA zu stehen. Die Zusammenhänge scheinen komplexer zu sein als erwartet. Zusätzliche Faktoren müssen berücksichtigt werden. Eine grosse Rolle dürften die meteorologisch bedingten Sichtverhältnisse spielen.
- h) Massenkollisionen von Vögeln mit den WEA sind im Rahmen dieser Untersuchung keine festgestellt worden, obwohl lokal auch Wetterverhältnisse mit schlechten Sichtbedingungen vorkamen.

## 4.7 Offene Fragen und Vorschlag Folgeprojekte

1. Welche Faktoren begünstigen das Auftreten von Schlagereignissen und welche Rolle spielen dabei die Sichtverhältnisse?
2. Haben die Grösse und Höhe der WEA einen Einfluss auf die Höhe der Kollisionsrate?
3. Mit welchen Kollisionsraten muss in anderen geografischen Regionen der Schweiz mit anderen Zugintensitäten gerechnet werden?
4. Warum unterscheiden sich die Ergebnisse von denjenigen Befunden aus Europa?
5. Machen Goldhähnchen in der Schweiz immer den Hauptanteil der Schlagopfer aus oder war dieses Muster für das Untersuchungsjahr oder den Standort spezifisch?
6. Warum sind vor allem Goldhähnchen verunfallt?

Zur Beantwortung der offenen Fragen sind weitere Untersuchungen nötig. Dieselbe Art von Studie sollte an 2 - 3 weiteren Standorten, teilweise auch mit höheren und grösseren WEA wiederholt werden. Zur Klärung der Faktoren, die das Auftreten von Schlagereignissen begünstigen, sollte eine Erfassung der Sichtverhältnisse unmittelbar im Höhenbereich der WEA wie auch im grösseren Umkreis eines Windparks angestrebt werden. Zusätzlich sollte der Suchaufwand nahe der WEA reduziert und stattdessen auf grössere Entfernungen zur WEA fokussiert werden. Ausserdem sollte eine Suche auf Kontrollflächen ausserhalb des Einflussbereichs der WEA erfolgen.

## 4.8 Gewonnene Erkenntnisse zur Methodik

Die aufwendige Methodik hat sich gelohnt. Durch den hohen Suchaufwand in kurzen Zeitabständen auf engliegenden Transekten zusammen mit dem Kurzhalten der Vegetation konnte erreicht werden, dass der Korrekturfaktor mit welchem die gefundene Anzahl Schlagopfer hochgerechnet werden muss im Median bei 3.1 (2.15 - 4.45) liegt.

Ein tieferer Korrekturfaktor wäre möglich gewesen, wenn sich der Suchaufwand besser mit der Distanzverteilung der Schlagopfer gedeckt hätte. Dies muss bei weiteren Studien berücksichtigt werden.

## 5 Nächste Schritte

- Wissenschaftliche Publikation der Ergebnisse
- Diskussion über Einbindung der Ergebnisse bezüglich Schwellenwert zur Minderung der Anzahl Kollisionen an WEA mittels Betriebseinschränkungen.
- Ausarbeitung weitere Untersuchungen

## 6 Danksagung

Die Suche nach Schlagopfern sowie das Auslegen der Testkadaver samt Dokumentation zur Bestimmung der Verbleiberate erfolgten im Auftrag der Schweizerischen Vogelwarte durch zwei Mitarbeitende des Büros NATURA. Herzlichen Dank für die Ausdauer und das Durchhaltevermögen im Verlauf der vielen, bei Wind und Wetter abgelaufenen Kilometer (ca. 85 x 15 km ~ 1'300 km!).

Die Einwilligung zur Durchführung der Studie am Standort Le Peuchapatte sowie die Kontakte zu den lokalen Landwirten wurden vom Büro KohleNusbaumer organisiert.

Ein Dankeschön gilt der Stiftung für das Pferd, welche den Standplatz für das Radargerät sowie die Stromversorgung zur Verfügung gestellt hat. Zusätzlichen Dank gebührt den Tierärzten Thomas Wagner und Andreas Wagner, die die Röntgenanalyse der Vogelkadaver zu günstigen Konditionen ermöglicht haben. Die Vogelpflegestationen Bois de Petit Château, La Chaux-des-Fonds, und Schweizerischen Vogelwarte sowie Ruedi Wüst-Graf, Tierpräparation, haben die Testkadaver zur Verfügung gestellt.

Weitere Mitarbeiter der Schweizerischen Vogelwarte, die wesentlich zum Gelingen des Projekts beigetragen haben, waren: Herbert Stark (Betreuung Radargerät und Fotofallen, Auslegen von Testkadavern), Dieter Peter (Betreuung Radargerät und Fotofallen, Auslegen von Testkadavern, Zusammenstellung von Unterlagen für die Ausstellung der Stiftung für das Pferd), Thomas Steuri (Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit des Radargeräts), Michael Schaad und Niklaus Zbinden (Bestimmung der Funde), Fränzi Korner-Nievergelt (Statistische Analyse), Daniela Heynen und Stefan Werner (Gelesen und Optimierung des Berichts).

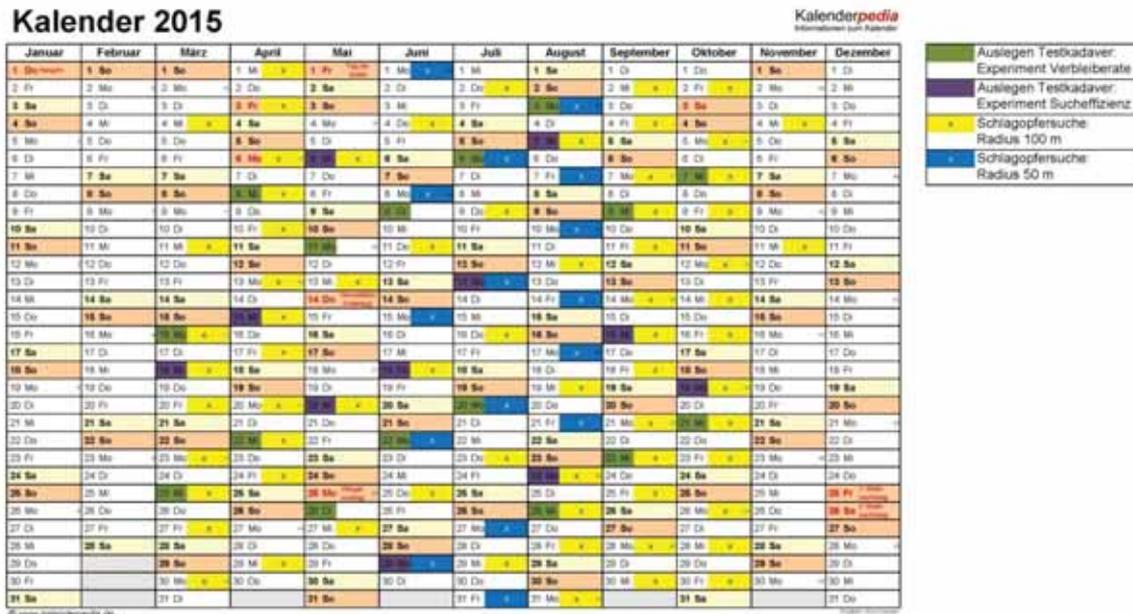
## 7 Referenzen

- Bates, D. 2005. Fitting linear mixed models in r using the lme4 package. – R News 5: 27–30.
- BioConsult SH GmbH & Co. KG & ARSU GmbH (2010): Zum Einfluss von Windenergieanlagen auf den Vogelzug auf der Insel Fehmarn. Gutachterliche Stellungnahme auf Basis der Literatur und eigener Untersuchungen im Frühjahr und Herbst 2009. <http://www.arsu.de/themenfelder/windenergie/projekte/untersuchungen-zum-einfluss-von-windenergieanlagen-auf-den-vogel> (Zugriff 06.06.2016)
- Bruderer, B., D. Peter, A. Boldt & F. Liechti (2010): Wing-beat characteristics of birds recorded with tracking radar and cine camera. *Ibis* 152, 272–291.
- Bruderer, B., T. Steuri, J. Aschwanden & F. Liechti (2012): Vom militärischen Zielfolgeradar zum Vo-gelradar. *Ornithol. Beob.* 109: 157–176.
- Dai, K., Bergot, A., Liang, C., Xiang, W-N. & Z. Huang (2015): Environmental issues associated with wind energy – A review. *Renewable Energy* 75: 911 – 921
- Dürr, T. 2015. Vogelverluste an Windenergieanlagen. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte Brandenburg (Stand 16.12.2015) <http://www.lugv.branden-burg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de>
- Erickson, W.P., Johnson, G.D., Strickland, M.D., Young, D.P. Jr., Sernka, K.J. & R.E. Good (2001): Avian Collisions with Windturbines: A Summary of Existing Studies and Comparisons to other Sources of Avian Collision Mortality in the United States. Resource Document., 1-60 (ca.). 2001. Washington, DC, National Wind Coordinating Committee (NWCC).
- Erickson, W.P., Wolfe, M.M., Bay, K.J., Johnson, D.H. & J.L. Gehring (2014): A Comprehensive Analysis of Small-Passerine Fatalities from Collision with Turbines at Wind Energy Facilities. *Plos One* 9: e10749.
- Gauthreaux, S.A.JR. (1996): Suggested practices for monitoring bird populations, movements and mortality in wind resource areas. In: Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting 2, Palm Springs, Calif. 20-22. Sept. 1995. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by RESOLVE, Inc., Washington, DC, and LGL, Ltd., King City, Ontario: 88 - 110.
- Gelman, A. & J. Hill (2007): Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models. – Cambridge Univ. Press.
- Grodsky, S.M., Jennelle, C.S. & D. Drake (2013): Bird mortality at a wind-energy facility near a wetland of international importance. *The Condor* 115: 700-711.
- Grünkorn, T.; Diederichs, A.; Stahl, B.; Poszic, D. u. Nehls, G. (2005): Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des Kollisionsrisikos von Vögeln an Windenergieanlagen. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein. 109 S. [http://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/wea/voegel\\_wea.pdf](http://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/wea/voegel_wea.pdf).
- Grünkorn, T., Blew, J., Coppack, T., Krüger, O., Nehls, G., Potiek, A., Reichenbach, M., von Rönn, J., Timmermann, H. & S. Weitekamp (2016): Ermittlung der Kollisionsraten von (Greif)Vögeln und Schaffung planungsbezogener Grundlagen für die Prognose und Bewertung des Kollisionsrisikos durch Windenergieanlagen (PROGRESS). Schlussbericht zum durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des 6. Energieforschungsprogrammes der Bundesregierung geförderten Verbundvorhaben PROGRESS, FKZ 0325300A-D.
- Hull, C.L. & S. Muir (2010): Search areas for monitoring bird and bat carcasses at wind farms using a Monte-Carlo model, *Austral. J. Environm. Managem.* 17: 77-87.
- Hull, C.L., Stark, E.M., Peruzzo, S. & C.C. Sims (2013): Avian collisions at two wind farms in Tasmania, Australia: taxonomic and ecological characteristics of colliders versus non-colliders. *New Zealand Journal of Zoology* 40, 47-62.

- Johnson, G.D., Erickson, W.P., Strickland, M.D., Sheperd, M.F., Sheperd, D. A. & S.A. Sarappo (2002): Collision mortality of local and migrant birds at a large-scale wind-power development on Buffalo Ridge, Minnesota. *Wildlife Society Bulletin* 30: 879-887.
- Komenda-Zehnder, S., F. Liechti & L. Jenni (2010): Do bird captures reflect migration intensity? Trapping numbers on an alpine pass compared with radar counts. *J. Avian Biol.* 41: 434–444.
- Korner-Nievergelt, F., Behr, O., Brinkmann, R., Etterson, M.A., Huso, M.M.P., Dalthorp, D., Korner-Nievergelt, P., Roth, T. & I. Niermann (2015a): Mortality estimation from carcass searches using the R-package carcass – a tutorial. *Wildlife Biol.* 21: 30–43.
- Korner-Nievergelt, Roth, T., von Felten, S., Guélat, J., Almasi, B. & P. Korner-Nievergelt (2015b): *Bayesian Data Analysis in Ecology Using Linear Models with R, BUGS, and Stan.* Academic Press Elsevier Inc., London.
- Kunz, T., Arnett, E.B., Cooper, B.M., Erickson, W.P., Larkin, R.P, Mabee, T., Morrison, M.L., Strickland, M.D. & J.M. Szewezak (2007): *Assessing Impacts of Wind-Energy Development on Nocturnally Active Birds and Bats: A Guidance Document.* *J.Wildl.Manag.* 71, 2449-2486.
- Krijgsveld, K.L., Akershoek, K., Schenk, F., Dijk, F. & S. Dirksen (2009): Collision risk of birds with modern large wind turbines. *Ardea* 97: 357-366.
- Liechti, F. (2006): Birds: blowin' by the wind? *J. Ornithol.* 147: 202 – 210.
- Liechti, F., J. Guélat & S. Komenda-Zehnder (2013a): Modelling the spatial concentrations of bird mi-gration to assess conflicts with wind turbines. *Biol. Cons.* 162: 24–32.
- Liechti, F., J. Guélat, S. Bauer, M. Mateos & S. Komenda-Zehnder (2013b): *Konfliktpotenzialkarte Windenergie – Vögel Schweiz: Teilbereich Vogelzug. Aktualisierung 2013.* Schweizerische Vogelwarte, Sempach. <http://www.vogelwarte.ch/konfliktpotenzialkarte.html>
- Lunn, D., Jackson, C., Best, N., Thomas, A. & D. Spiegelhalter (2013): *The BUGS book – a practical introduction to Bayesian analysis.* Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- May, R., Reitan, O., Bevanger, K., Lorentsen, S.-H. & T. Nygård (2015): Mitigating wind-turbine induced avian mortality: Sensory, aerodynamic and cognitive constraints and options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42: 170 – 181.
- Manthey F. (2015): *Fledermaus- und Vogelschlagopfer durch Windenergieanlagen im Landkreis Lüchow-Dannenberg von 2010-2015. Eine Zusammenfassung.* Dezember 2015.
- Marques, A.T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M.J.R., Fonseca, C., Mascarenhas, M. & J. Bernardino (2014): Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Review. Biol. Cons.* 179: 40–52.
- Müller, J.M., Warnke, M., Reichenbach, M. & J. Köppel (2015): *Synopsis des internationalen Kenntnisstandes zum Einfluss der Windenergie auf Fledermäuse und Vögel und Spezifizierung für die Schweiz.* Bundesamt für Energie BFE.
- R Development Core Team (2015) *R: A language and environment for statistical computing.* Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Schmaljohann, H., F. Liechti, E. Bächler, T. Steuri & B. Bruderer (2008) Quantification of bird migration by radar – a detection probability problem. *Ibis* 150: 342-355.
- Smith, J.A. & J.F. Dwyer (2016): Avian interactions with renewable energy infrastructure: An update. *The Condor* 118: 411 – 423.
- Wang, Sh., Wang, Si. & P. Smith (2015): Ecological impacts of wind farms on birds: Questions, hypotheses, and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 44: 599 – 607.
- Zaugg, S., G. Saporta, E. van Loon, H. Schmaljohann & F. Liechti (2008): Automatic identification of bird targets with radar via patterns produced by wing flapping. *J. R. Soc. Interface* 5: 1041-1052

# 8 Anhang

A1. Terminplan zur Schlagopfersuche (mit Suchradien) und zum Auslegen von Testkadavern für die Bestimmung der Sucheeffizienz und Verbleiberate.



A2. Artenliste und Anzahl der Testkadaver geordnet nach Grössenklasse (1 = klein, 2 = mittel, 3 = gross), welche zur Bestimmung der Sucheeffizienz ausgelegt worden sind.

Grössenklasse 1		Grössenklasse 2		Grössenklasse 3	
Vogelart	Anzahl	Vogelart	Anzahl	Vogelart	Anzahl
Bergfink	3	Amsel	5	Blässhuhn	2
Buchfink	2	Buntspecht	6	Graureiher	1
Eisvogel	1	Elster	1	Kormoran	1
Erlenzeisig	1	Fichtenkreuzschnabel	2	Mäusebussard	3
Gartengrasmücke	2	Lachmöwe	1	Rabenkrähe	2
Gimpel	1	Mauersegler	2	Ringeltaube	1
Grünfink	3	Singdrossel	3	Waldkauz	1
Hausrotschwanz	1	Sperber	6		
Hausperling	5	Star	1		
Kernbeisser	1	Strassentaube	2		
Kleiber	2	Türkentaube	2		
Mönchsgrasmücke	3	Turmfalke	3		
Rauchschwalbe	6				
Rotkehlchen	2				
Sumpfmeise	1				
Zaunkönig	2				
Zilpzalp	1				
<b>Total</b>	<b>37</b>		<b>34</b>		<b>11</b>

A3. Artgruppenliste und Anzahl der Testkadaver geordnet nach Grössenklasse (1 = klein, 2 = mittel, 3 = gross), welche zur Bestimmung der Verbleiberate ausgelegt worden sind.

Grössenklasse 1		Grössenklasse 2		Grössenklasse 3	
Vogelart	Anzahl	Vogelart	Anzahl	Vogelart	Anzahl
Fink	5	Amsel	5	Mäusebussard	5
Grasmücke	2	Buntspecht	4	Rabenkrähe	1
Hausrotschwanz	3	Drossel	6	Ringeltaube	1
Kleiber	2	Mauersegler	1	Elster	1
Meise	2	Sperber	5		
Rauchschwalbe	5	Star	2		
Rohrsänger	1	Türkentaube	1		
Rotkehlchen	1	Turmfalke	4		
Sperling	7				
Bachstelze	1				
Total	29		28		8

A4. Vom Projekt PROGRESS zur Verfügung gestellte Distanzverteilungswerte für kleine und grosse Vögel. Für die Berechnung des Korrekturfaktors der vorliegenden Studie wurden die Werte der mittleren Verteilung verwendet.

Distanzringe (m)	Verteilung kleine Vögel	Verteilung grosse Vögel	Mittlere Verteilung
0-20	0.024573894	0.018459261	0.021516577
20-40	0.029785161	0.060410901	0.045098031
40-60	0.067512901	0.132315766	0.099914334
60-80	0.177973048	0.203811073	0.190892061
80-100	0.339329937	0.23200026	0.285665098
100-120	0.291011668	0.205077635	0.248044652
120-140	0.069813391	0.147925105	0.108869248

A5. R-Code, der zur Hochrechnung der effektiven Anzahl Schlagopfer verwendet worden ist.

```
library(R2WinBUGS)

library (carcass)

estimateN (count=20,

f = 0.8142, f.lower = 0.573, f.upper = 0.93,

s = 0.930, s.lower = 0.913, s.upper = 0.945,

arrival="discrete",

a=0.4, a.lower=0.4, a.upper=0.4,

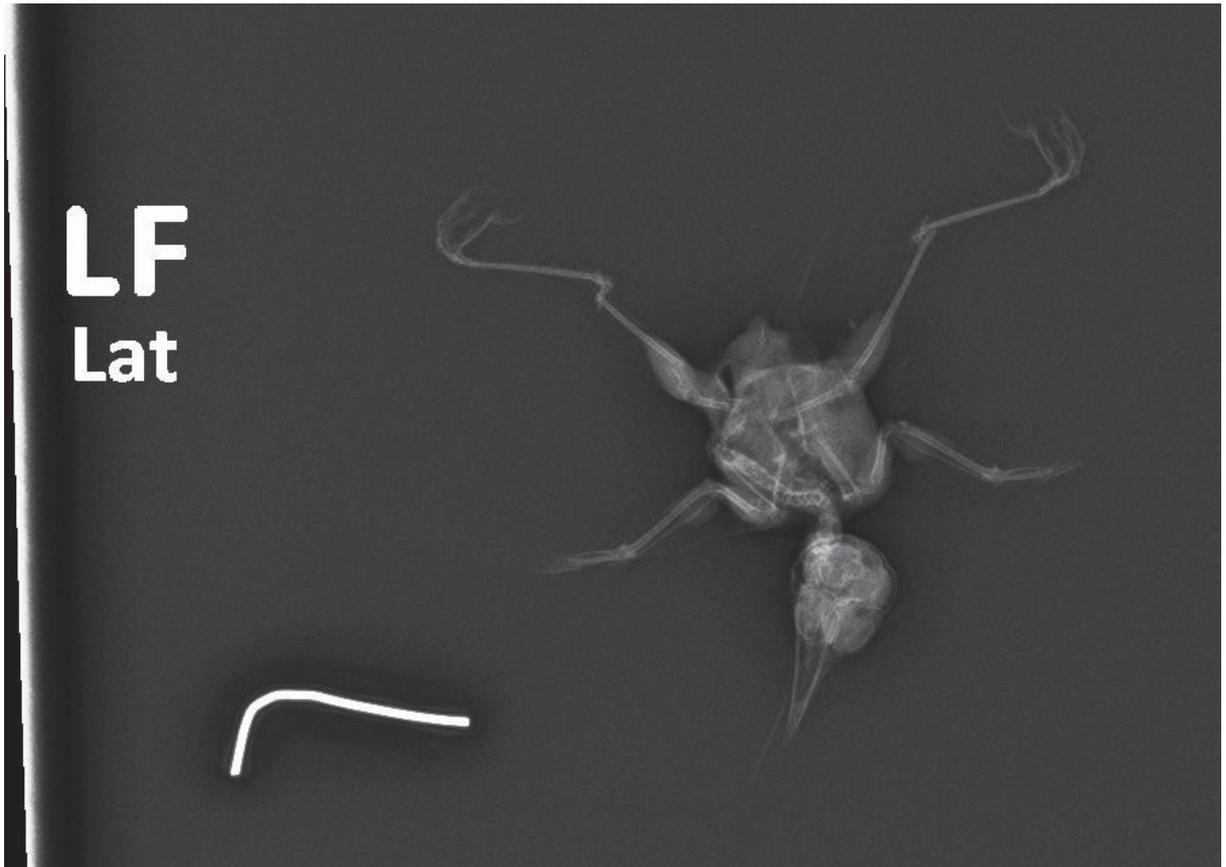
pform = "etterson", d = NA, n = 85,

J=c(2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,5,7,5,2,7,6,1,5,3,4,1,2,4,3,4,3,4,3,4,3,4,3,4,2,2,3,

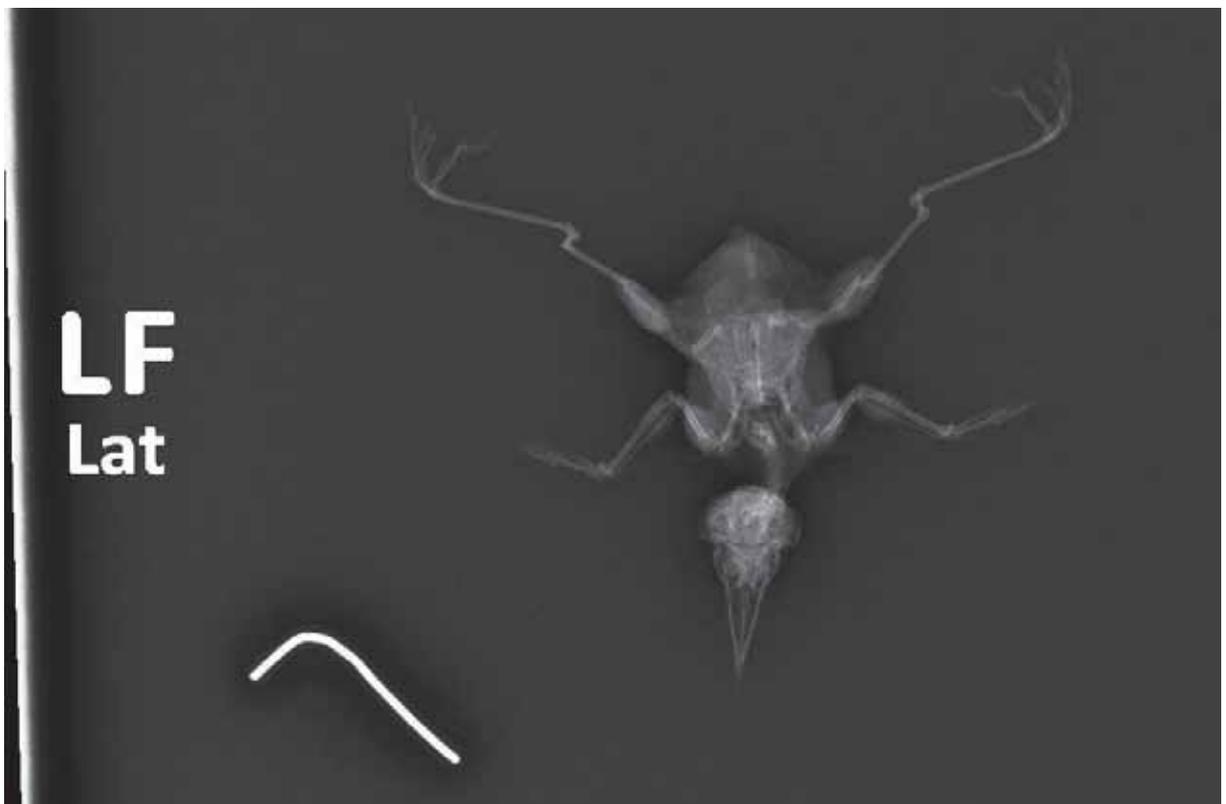
2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,3,2,2,5,7)),

maxn = 1000, nsim = 1000, plot = TRUE, postdist=TRUE, k=1, x=c(1:150))
```

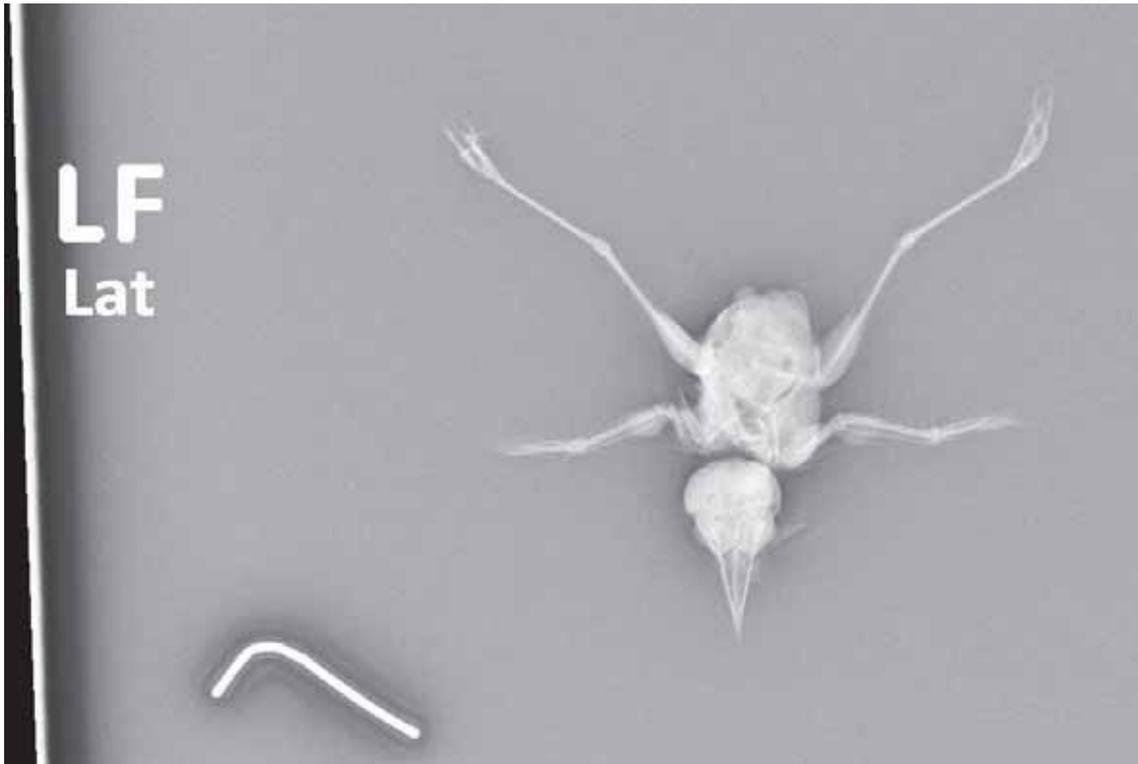
A6. Röntgenbild des Sommergoldhähnchens C08, gefunden am 10.04.2015. Auflistung der Befunde siehe Tab. 8.



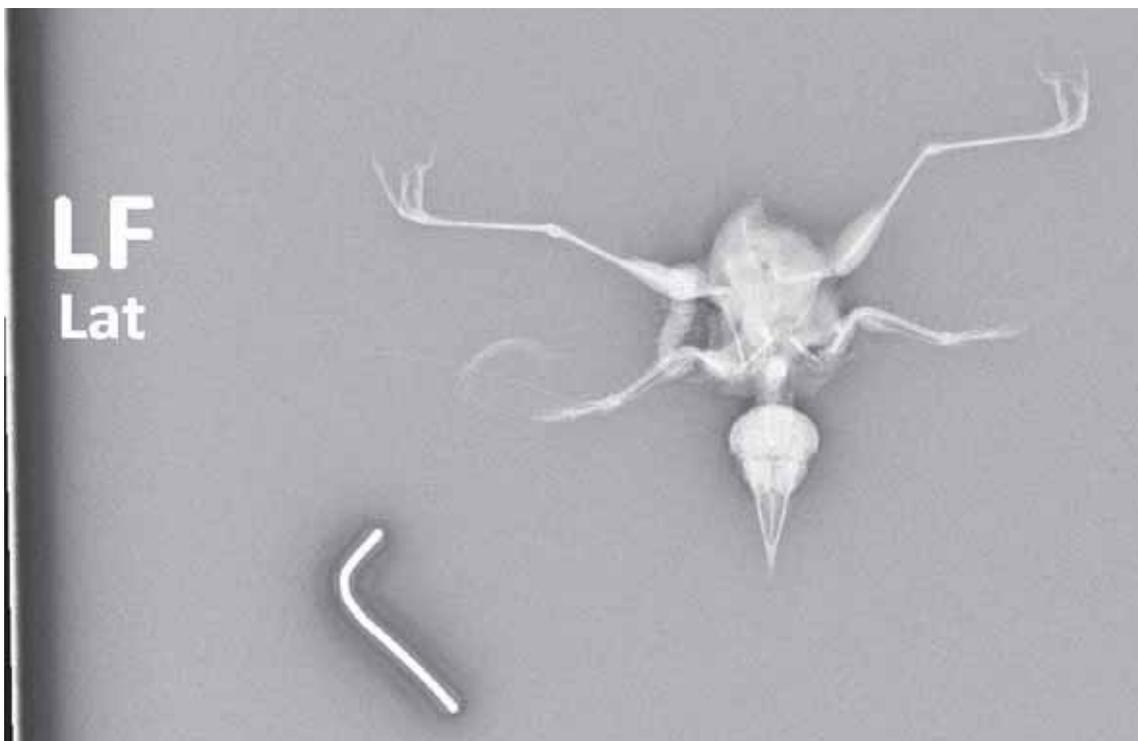
A7. Röntgenbild des Sommergoldhähnchens C09, gefunden am 13.04.2015. Auflistung der Befunde siehe Tab. 8.



A8. Röntgenbild des Sommergoldhähnchens C67, gefunden am 17.08.2015. Auflistung der Befunde siehe Tab. 8.



A9. Röntgenbild des Sommergoldhähnchens C89, gefunden am 21.10.2015. Auflistung der Befunde siehe Tab. 8.



A10. Röntgenbild des Rotkehlchens C87, gefunden am 21.10.2015. Verletzungen konnten keine festgestellt werden.



A11. Röntgenbild des Wintergoldhähnchens C85, gefunden am 21.10.2015. Verletzungen konnten keine festgestellt werden.





A12. Kennzahlen zu den Vogelarten, die in der vorliegenden Studie als Schlagopfer gefunden worden sind. Die Spalte mit der Bezeichnung „Dürr 2016“ gibt die Anzahl der Totfunde aus der Liste der zentralen Fundkartei der staatlichen Vogelschutzbehörde Brandenburg wieder (Stand 16.12.2015). Rote Liste: LC: nicht gefährdet, NT: potenziell gefährdet, VU: verletzlich.

Vogelart	Bestand Schweiz (Anzahl Brutpaare)	Bestand Europa (Anzahl Brutpaare)	Flügelspannweite (cm)	Gewicht (g)	Zugzeit Frühling	Zugzeit Herbst	Zugtyp	Rote Liste CH	Rote Liste EU	Dürr 2016
Sommergoldhähnchen	150'000–250'000	3.3–6.7 Mio.	13–16	5–7	März und April	anfangs Aug. bis anfangs Nov.	Nacht	LC	LC	101
Wintergoldhähnchen	180'000–300'000	19–35 Mio.	13–15	5–7	März und April	Mitte Aug. bis anfangs Nov.	Tag- und Nacht	LC	LC	99
Stockente	10'000–20'000	3.3–5.1 Mio.	81–98	850–1400	Feb. bis April	Aug. bis Dez.	Nach	LC	LC	274
Mauersegler	50'000–75'000	6.9–7 Mio.	40–44	36–50	Ende April und Mai	Mitte Juli bis Ende Sept.	Tag- und Nacht	NT	LC	235
Singdrossel	200'000–250'000	20–36 Mio.	33–36	65–90	Mitte Feb. Bis Mitte April	Ende Aug. bis anfangs Nov.	Tag- und Nacht	LC	LC	161
Misteldrossel	80'000–120'000	3 - 7.4 Mio.	42-47.5	110-140	Ende Feb. Bis April	Ende Aug. bis Mitte Nov.	Tag	LC	LC	29
Wacholderdrossel	40'000–80'000	14–24 Mio.	39–42	80–140	März bis Mitte April	Ende Sept. bis Mitte Dez.	überwiegend Tag	VU	LC	22
Rotkehlchen	450'000–600'000	43–83 Mio.	20–22	16–2	Ende Feb. Bis April	Mitte Aug. bis Mitte Nov.	Nacht	LC	LC	123
Blaumeise	160'000–300'000	20–44 Mio.	18–20	9–12	März bis anfangs Mai	Ende Aug. bis anfangs Nov.	Tag	LC	LC	14
Feldschwirl	200–300	840'000–2.2 Mio.	18–21	11–15	Mitte April bis anfangs Juni	Aug. bis anfangs Okt.	Nacht	NT	LC	7