

# Störungsanalyse von UAVs bei der Detektion von Nistplätzen des Großen Brachvogels (*Numenius arquata*) – Methode und erste Ergebnisse

## *Disturbance Analysis of UAVs During the Detection of Eurasian Curlew (Numenius arquata) Nesting Sites – Method and First Results*

Tom Wulf<sup>1</sup>, Matthias Pietsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Anhalt, Bernburg · tom.wulf@hs-anhalt.de

**Zusammenfassung:** Die Detektion der Nester von durch Mahd gefährdeten Wiesenbrütern durch UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), verspricht eine aufwands- und störungsärmere Erfassung. Allerdings gibt es noch erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich der Störwirkung auf die brütenden Vögel. Dieser Beitrag soll einen Ansatz und erste Ergebnisse vorstellen, wie die Störwirkung von UAVs bei Wiesenbrütern ermittelt werden könnte. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „FHprofUnt 2018: Farming 4.0 im Grünland“ wurde die Störwirkung eines UAVs mit unterschiedlichen Flughöhen anhand der Messung der Herzschlagrate am Beispiel des Großen Brachvogels (*Numenius arquata*) untersucht. Ergänzend wurden die Reaktionen auf überfliegende Greifvögel und andere Störungen überprüft. Erste Ergebnisse zeigen, dass in Abhängigkeit der Flughöhe des UAVs unterschiedliche Störwirkungen erkennbar sind. Diese sind mit anderen Störwirkungen (z. B. Greifvögel) vergleichbar. Dies lässt Rückschlüsse auf die Erheblichkeit der Wirkung zu. Im Beitrag wird die Methode zur Erfassung der Wirkung vorgestellt und erste Ergebnisse dargelegt. In den Folgejahren wird die Methode auf weitere Individuen und Arten erweitert, um aussagekräftige Ergebnisse zu liefern. Abschließend werden die Auswahl der Parameter zur Vermessung der Herzschlagerrhöhungen und die Aussagekraft hinsichtlich der Störwirkung diskutiert.

**Schlüsselwörter:** UAV, Großer Brachvogel, *Numenius arquata*, Störungsanalyse, Wiesenbrüter

**Abstract:** Today, most meadow-breeding birds are endangered due to mowing. The detection of their nests with the help of UAVs (unmanned aerial vehicles) promises less effort and disturbance. However, there are considerable uncertainties concerning the disturbance of the breeding birds. This article proposes an approach and presents first results on how the effects of disturbance caused by UAVs can be measured at breeding-bird sites on cultivated pastures. During the research project „FHprofUnt 2018: Farming 4.0 im Grünland“, the effects of disturbance by UAVs were investigated at different flight altitudes, by measuring the heartbeat-rate of a breeding Eurasian Curlew (*Numenius arquata*). In addition, the heartbeat-rate response caused by raptors flying over and other disturbances was measured. The results show that different flight levels of the UAV caused different heartbeat responses. Also, the increased heart-rates measured as a reaction to UAVs are comparable with responses to overhead raptors. In this article the method to investigate the heart-beat response and first results were presented. In the course of this Project further birds will be studied to increase the significance of the results. The selection of parameters regarding the disturbance of the birds is discussed.

**Keywords:** UAV, Eurasian Curlew, *Numenius arquata*, disturbance analysis, meadow-breeding birds

# 1 Einleitung

Vögel der offenen Agrarlandschaften sind derzeit eine der in Deutschland am stärksten gefährdeten Vogelartengruppen (Wahl et al., 2015). Neben bodenbrütenden Arten der Ackerflächen nahmen in den letzten Jahren auch die Bestände der Wiesenvogelarten dramatisch ab (Gerlach et al., 2019). Dem Erhalt der geeigneten Wiesenbrüterhabitate kommt aus diesem Grund eine sehr hohe Bedeutung zu. Gleichzeitig ist es notwendig, Störungen sowie Verluste durch Mahd weitestgehend zu vermeiden, um den Bruterfolg der wenigen verbliebenen Brutpaare nicht zu gefährden. Derzeit werden in einigen Regionen sehr kosten- und zeitintensive Maßnahmen durchgeführt, um Niststandorte zu markieren um diese bei der Mahd auszusparen (Roßkamp, 2005). Durch die Folgen des Klimawandels verschiebt sich das Ährenrispenschieben der Gräser, was eine frühere Mahd zur Folge hat (Chmielewski et al., 2009; Wieden, 2003). Ist zu diesem Zeitpunkt die Brut noch nicht abgeschlossen, kann es zu Verlusten der Gelege führen. Aus diesem Grund fordern Ornithologen die Ausrichtung des ersten Schnitts an den Abschluss der Brutzeiten (Ganteför et al., 2019; Humbert et al., 2009). Mit dem Einsatz von UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) mit geeigneter Sensorik kann die Detektion von Nistplätzen unterstützt werden (Israel, 2017; Pietsch et al., 2018; Pietsch et al., 2020). Allerdings gibt es noch erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich der Störwirkungen von UAVs auf Arten, die durch Prädatoren aus der Luft gefährdet sind (Freundeskreis Nationalpark Schwarzwald e. V., 2018). Dies führt dazu, dass die zuständigen Genehmigungsbehörden, die die Nutzung von UAVs insbesondere in Schutzgebieten erteilen müssen, in der Praxis sehr unsicher sind und Genehmigungen nur in Ausnahmefällen erteilen.

In diesem Beitrag sollen ein Ansatz und erste Ergebnisse vorgestellt werden, wie die Störwirkung von UAVs auf brütende Wiesenvögel ermittelt und in Beziehung zu anderen Störereignissen gesetzt werden kann.

Das Vorhaben wurde mit Unterstützung der GEOSYSTEMS GmbH, Umgeodat GbR, der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt und dem Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt durchgeführt.

## 2 Methode

### 2.1 Detektion der Nester

Die Untersuchungen fanden in der Secantsgrabenniederung im Altmarkkreis Salzwedel (Sachsen-Anhalt) statt. Die Neststandorte des Großen Brachvogels (*Numenius arquata*) wurden im Vorfeld im Rahmen eines Populationsmonitorings in dem Gebiet gesucht und zum Schutz vor Prädatoren umzäunt (Benecke, 2018). Thermalaufnahmen der Neststandorte konnten anschließend gezielt durchgeführt werden.

### 2.2 Störungsanalyse

Bisher wurden die Reaktionen von brütenden Vögeln auf UAVs überwiegend durch Verhaltensbeobachtungen untersucht (Barnas et al., 2018; Lyons et al., 2018). Das Ausmaß der Reaktion hängt stark von der untersuchten Art und dem verwendeten UAV ab (McEvoy et al., 2016; Mulero-Pázmány et al., 2017). Allerdings können Vögel auch unter erhöhtem Stress stehen oder sich in einem Erregungszustand befinden, ohne dass Verhaltensänderungen er-

kennbar wären. Stressreaktionen äußern sich dann eher durch eine Änderung der Herzschlagrate (HSR) (Bastian, 1984). Die HSR kann als Maß für eine Stressreaktion angesehen werden und möglichen chronischen Stress, einen erhöhten Glucocorticoid-Pegel, einen erhöhten Energieaufwand und somit negative Konsequenzen für die Gesundheit und die Reproduktion des Vogels anzeigen (Tarlow & Blumstein, 2007). Einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen Störursache und -wirkung lassen im Freiland ansonsten nur Flucht-, Angriffs oder Schreckreaktionen erkennen (Hüppop & Hagen, 1990). Die Messung der HSR durch Mikrofone im Nest eignet sich besonders, da sie weniger invasiv als andere Formen der Messung ist (z. B. Elektrokardiogrammeinheiten) gleichzeitig aber gute Ergebnisse erbringt (Giese et al., 1999).

### 2.2.1 Erfassungsmethodik

Am 5. Mai 2020 wurde der Flug mit einem UAV der Firma DJI (Matrice 200 V1, Quadrocopter, Maße  $88,7 \times 88,0 \times 37,8$  cm, Gewicht etwa 4 kg) in Flughöhen von 25 m, 50 m und 100 m durchgeführt, während die HSR im Nest aufgenommen wurde. Am 16. Mai 2020 wurde dasselbe Gelege erneut untersucht, während der Schlag, auf dem sich das umzäunte Nest befand, gemäht und beräumt wurde.

Die HSR wurde am brütenden Vogel durch ein gebräuchliches Handaufnahmegerät der Firma OLYMPUS (DM 670) aufgenommen. Dieses war an einem Kondensatormikrofon angeschlossen, welches an einem Stethoskop befestigt als Körperschallmikrofon unter dem Gelege platziert wurde (Abb. 1). Diese Methode wurde bereits bei mehreren Untersuchungen zum Einfluss von Störreizen auf brütende Vögel angewendet (Hüppop & Hagen, 1990). Das Aufnahmegerät wurde in einer kleinen getarnten Box neben dem Nest versteckt (Abb. 2).



**Abb. 1:** Gelege des Großen Brachvogels (*Numenius aquatus*) mit Stethoskop-Kopf



**Abb. 2:** Brütender Großer Brachvogel (*Numenius aquatus*) (unten), Antenne der Aufnahmebox (hinten)

Parallel zur Aufnahme wurde ein Ereignisprotokoll angefertigt, in dem alle überfliegenden Greifvögel, landwirtschaftlichen Maschinen und Bewegungen von Menschen und sonstige Ereignisse protokolliert wurden. Zusätzlich wurden die Flughöhen der überfliegenden Greifvögel und die Entfernung der Ereignisse zum Nest geschätzt.

### 2.2.2 Auswertungsmethodik

Das Ereignisprotokoll und die Aufnahme der Herzschläge wurden parallel überprüft, um Ereignisse herauszufiltern, bei denen eine Reaktion im Sinne einer Herzschlagerhöhung (HSE) erkennbar war und eine ausreichende Qualität der Aufnahme vorlag. Es wurden nur HSE gewertet, bei denen die Reaktion sicher bis wahrscheinlich auf das protokollierte Ereignis zurückgeführt werden konnte.

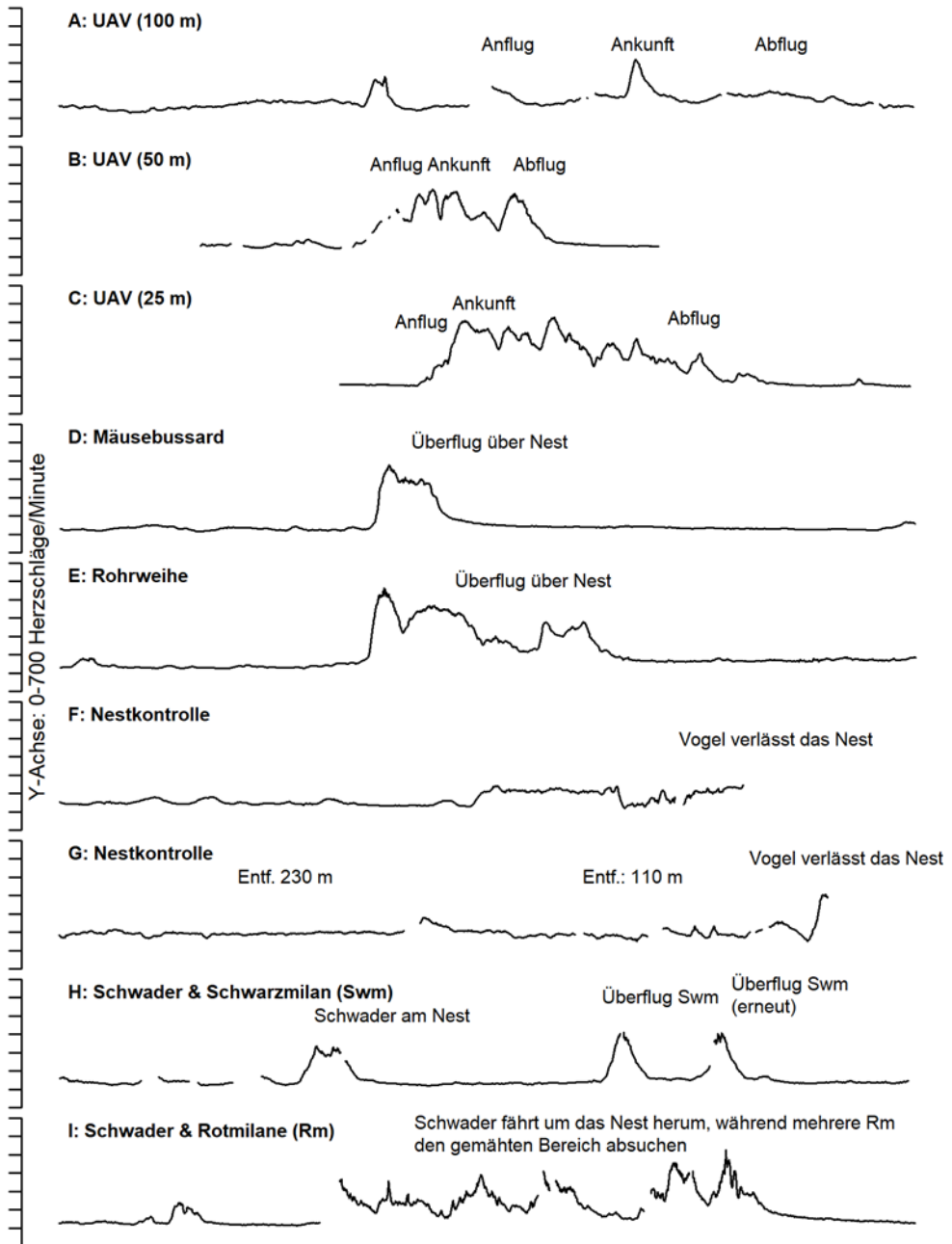
Die einzelnen Herzschläge (HS) wurden anschließend für jedes herausgesuchte Ereignis halbautomatisiert unter Verwendung des Band Limited Energy Detectors des Programms Raven Lite 2.0 (Center for Conservation Bioacoustics, 2016) in einem Ausschnitt von ca. 5 Minuten um ein Ereignis herum detektiert bzw. manuell selektiert. Die Selektionstabellen wurden unter Verwendung des Programms R 4.0.2 (R Core Team, 2020) unter Zuhilfenahme der Packages Rraven (Araya-Salas, 2017) und ggplot2 (Wickham, 2016) ausgewertet und visualisiert. Die HSR wurde für jeden HS anhand des zeitlichen Abstands zum vorherigen in HS pro Minute berechnet. Daraufhin wurde der gleitende Durchschnitt über 5 HS berechnet, um eventuelle Messungenauigkeiten auszugleichen.

Für eine automatisierte Detektion und anschließende Vermessung der HSE, musste ein Schwellenwert berechnet werden. Dazu wurde jeweils ein 30-45 Sekunden langer Abschnitt am Anfang der 5-minütigen Sequenz als Ruhefrequenz (RF) ausgewählt. Innerhalb dieser Sequenz wurden der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Als Schwellenwert wurde der Mittelwert plus die doppelte Standardabweichung der RF festgelegt (Neebe & Hüppop, 1994). Wurde der Schwellenwert bei 15 aufeinanderfolgenden HS überschritten, wurde dies als Anfang der HSE detektiert. Konnte die RF anhand des Abschnitts nicht bestimmt werden, wurde der Schwellenwert manuell festgelegt. Eine Abfolge von 15 HS, die unter diesem Schwellenwert lagen, wurde als Ende der HSE gewertet. Die anfänglichen und abschließenden 15 HS wurden mit in die HSE einbezogen. HSE die weniger als 10 Sekunden auseinanderlagen, wurden als eine zusammengeführt. Für jede HSE wurden die Parameter maximale HSR (mHSR) und Ratio (im Sinne des englischen ratio als Verhältnisgröße) als Relation der mHSR zur mittleren RF berechnet.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Ergebnisse der Störungsanalyse

Abbildungen 3A-C zeigen die Reaktionen auf Überflüge des UAVs in unterschiedlichen Flughöhen. Abbildung 3A zeigt mehrere kürzere HSE. Die erste erkennbare HSE ist möglicherweise eine Reaktion auf das Starten des UAVs in ca. 300 m Entfernung oder auf den Anflug. Dies ist nicht klar ersichtlich, da es möglicherweise zu einem zeitlichen Verzug bei der Protokollierung der Ereignisse kam. Abbildungen 3B und 3C zeigen deutlich stärkere Reaktionen.



**Abb. 3:** Beispiele zum Verlauf der Herzschlagrate während der Reaktion auf verschiedene Störwirkungen. X-Achse: A-H = 5 Min., I = 7,5 Min. A-C aufeinanderfolgend. Lücken in den Linien sind auf Störgeräusche durch Bewegung des Vogels zurückzuführen.

Deutliche HSE wurden auf Greifvogelarten wie Rohrweihe (*Circus aeruginosus*), Schwarzmilan (*Milvus migrans*), Rotmilan (*Milvus milvus*) und Mäusebussard (*Buteo buteo*) festgestellt (Bsp. Abb. 3D & E). Insgesamt konnten bei 42 überfliegenden Greifvögeln erkennbare Reaktionen dokumentiert werden. Keine oder nur geringfügige HSE konnten bei Rabenkrähen (*Corvus corone*), Turmfalken (*Falco tinnunculus*), Seeadlern (*Haliaeetus albicilla*), Weißstörchen (*Ciconia ciconia*) und Graureihern (*Ardea cinerea*) festgestellt werden.

Die Abbildungen 3F und 3G zeigen Reaktionen auf das Einsammeln des Aufnahmegerätes. Dabei bewegte sich ein Mensch auf das Nest zu, wobei der brütende Vogel wenige Meter vor Erreichen des Nests aufflog. Die Aufnahme reicht entsprechend nur bis zum Verlassen des Nests.

Als landwirtschaftliche Maschine konnte nur der Traktor mit Schwader (im Folgenden nur Schwader) aufgrund seiner geringeren Lautstärke ausgewertet werden, mit großem Abstand zum Nest in Abbildung 3H und im direkten Umfeld des Nests in Abbildung 3I. In beiden Fällen folgten Rot- oder Schwarzmilan der Maschine.

### 3.2 Einfluss der Flughöhe des UAV

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass in Abhängigkeit der Flughöhe des UAVs unterschiedliche Störwirkungen erkennbar sind (Abb. 3A-C und 4). Weiterhin ist die Dauer der Reaktion abhängig von der Dauer der Störung.

Tabelle 1 zeigt die Messwerte der HSE auf die Überflüge des UAVs im Detail.

**Tabelle 1:** Messergebnisse der Reaktionen auf Überflüge des UAVs

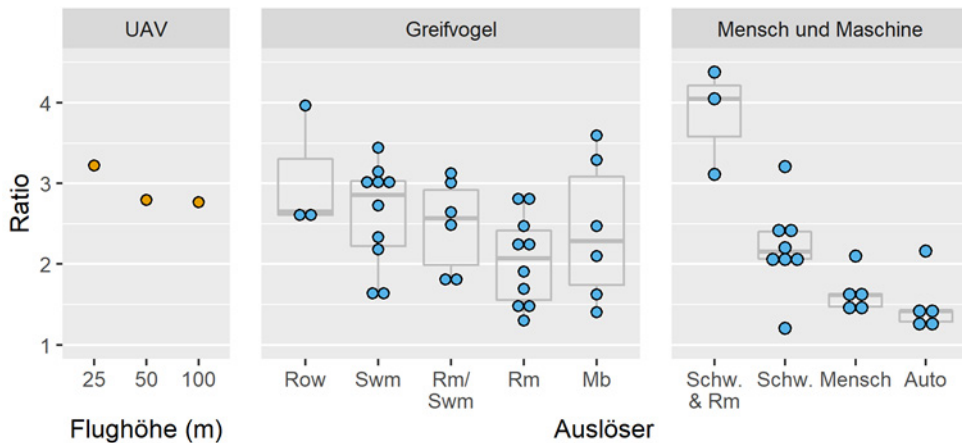
Flug	Flughöhe UAV (m)	Maximale HSR	Ruhefrequenz	Ratio
1	100	417	151	2,77
2	50	467	167	2,80
3	25	525	163	3,22

### 3.3 Vergleich der Reaktionen auf UAV und Greifvögel

Die Reaktionen auf das UAV sind vergleichbar mit den mittleren Reaktionen auf die meisten Greifvogelarten; lediglich die Reaktion auf den Flug in 25 m Höhe fiel etwas stärker aus (Abb. 4). Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass viele Reaktionen auf die Greifvögel und andere Störungen niedriger ausfallen, da diese z. T. das Gelege in etwas größerer Entfernung überflogen haben bzw. daran vorbeigefahren sind. Trotzdem erreichten Reaktionen auf Greifvögel z. T. höhere Werte als auf das UAV. So wurden die höchsten mHSR bei zwei Reaktionen auf Überflüge der Rohrweihe mit 585 und 558 HS/Min. erreicht, gefolgt von der Reaktion auf einen Überflug eines Mäusebussards mit 545 HS/Min. Die höchsten Ratios fanden sich bei zwei Reaktionen auf eine Kombination aus Schwader und Rotmilan, welche den geräumten Bereich nach Nahrung absuchten, mit einer 4,38- und 4,04-fach erhöhten HSR (s. auch Kapitel 3.4); an dritter Stelle auf den Überflug einer Rohrweihe mit einer 3,96-fach erhöhten HSR (Abb. 4).

### 3.4 Vergleich der Reaktionen auf UAV und menschliche Störursachen

Die durch menschliche Einflüsse verursachten Reaktionen fielen im Vergleich mit den Reaktionen auf Greifvögel und auf das UAV, relativ niedrig aus (Abb. 4). Die höchsten HSE wurden zwar durch die Kombination aus landwirtschaftlicher Maschine (Schwader) im direkten Nestumfeld mit Rotmilan(en) ausgelöst, doch die Reaktionen auf vorbeifahrende Autos und auf Menschen waren durchaus niedriger. Dies könnte allerdings bei den vorbeifahrenden Autos an der Entfernung zum brütenden Vogel liegen (ca. 140-215 m) und bei den Menschen (Nestkontrolle) könnte es auf das Verhalten des Vogels zurückzuführen sein (s. Diskussion).



**Abb. 4:** Maximal erreichte Herzschlagrate in Relation zur Ruhefrequenz vor dem Ereignis (Ratio) während der Reaktion auf UAV, Greifvogelarten und weitere menschliche Störursachen. Row = Rohrweihe, Swm = Schwarzmilan, Rm = Rotmilan, Mb = Mäusebussard, Schw. = Schwader.

## 4 Diskussion

Erste Ergebnisse dieser Untersuchung weisen darauf hin, dass Überflüge des UAV vergleichbare Reaktionen wie auf natürlich vorkommende Ereignisse auslösen. Betrachtet man die verschiedenen Flughöhen und deren Störwirkung dieser Einzeluntersuchung und die Ergebnisse der Nestdetektion mittels Thermalkamera, könnte eine Flughöhe von circa 50 m sowohl eine ausreichend qualitative Aufnahme liefern, als auch eine verträgliche Störung für den Großen Brachvogel darstellen. Allerdings ist die Anzahl der untersuchten Individuen sowie der zielgerichtete Flug über dem Nest limitierend, hinsichtlich der Aussagekraft einzuschätzen. Zukünftig wird das Untersuchungsdesign angepasst (streifenweiser Überflug), was vermutlich zu kürzeren Störungen führen wird. Bei der Messung der HSE, wurden lediglich die Parameter mHSR und Ratio betrachtet. Doch auch weitere Parameter wie die Dauer der HSE könnten wichtige Hinweise über die Störwirkung liefern.

Weiterhin ist zu prüfen, ob die verwendeten Parameter allein die Störwirkung bzw. die Stressauswirkung ausreichend erfassen können. Während dieser Untersuchung konnte der „Schreckmoment“ des brütenden Vogels erfasst werden (z. B. bei schnell überfliegenden Greifvögeln). Doch kann ein Vogel auf zweierlei Arten auf eine Bedrohung reagieren. In dieser Untersuchung wurde der Fokus auf die Erhöhung der Bereitschaft zu Flucht oder Kampf gelegt. Der Vogel kann sich allerdings auch ducken und auf seine Tarnung vertrauen, wobei er seine HSR aktiv heruntersetzt. Ist dies der Fall, würde diese Reaktion nicht als HSE detektiert und die Dauer der Reaktion würde unterschätzt werden. Dennoch ist es eine Auswirkung der Störung. Dieses Verhalten würde auch erklären, warum die HSR bei Annäherung eines Menschen bis zum Verlassen des Nests eine vergleichsweise sehr niedrige HSR aufweist (Abb. 3 F & G). Eine weitere Erklärung hierfür wäre, dass die Großen Brachvögel im Untersuchungsgebiet Nestkontrollen zur Ermittlung des Bruterfolgs gewöhnt sind. Das Duckverhalten geht wahrscheinlich mit einer niedrigen Herzschlagvariabilität einher und kann auch anhand dieser detektiert werden (eigene Versuche). Diese Reaktion ist wahrscheinlich ebenfalls mit einem erhöhten Stresslevel verbunden (Taelman et al., 2008) und sollte daher in nachfolgenden Untersuchungen berücksichtigt werden.

## 5 Ausblick

Im weiteren Projektverlauf sollen weitere Individuen und Arten (z. B. Kiebitz) untersucht sowie eine Verfeinerung des Untersuchungsaufbaus (z. B. Videoaufnahmen des Verhaltens) getestet und durchgeführt werden.

## Hinweis zu Genehmigungen und den Umgang mit Tieren

Die Untersuchung der Nistplätze des Großen Brachvogels und die Befliegung mit einem UAV erfolgten mit der Genehmigung der Unteren Naturschutzbehörde des Altmarkkreis-Salzwedel und der Zustimmung der Landnutzer. Die Untersuchungen wurden unter besonderer Rücksichtnahme auf die brütenden Vögel durchgeführt und unnötige Störungen wurden vermieden.

## Danksagung

Dieser Beitrag wurde im Rahmen des Vorhabens „FHprofUnt 2018: Farming 4.0 im Grünland: Nachhaltige Nutzung und Erhöhung der Biodiversität durch den Einsatz von UAV“ (BIOSENS.NATURA2000) erarbeitet und mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13FH151PX8 gefördert. Die Untersuchungen erfolgten in Kooperation mit dem Biosphärenreservat Drömling. Hans-Günter Benecke sei herzlich gedankt für die Bereitstellung seiner Daten zum Großen Brachvogel und die Unterstützung im Feld. Ommo Hüppop sei gedankt für erste Gespräche zum Thema Herzschlagrate bei Brutvögeln und die Bereitstellung von Literatur. Matthias Henning als Pilot des UAVs, sei ebenfalls gedankt.



## Literatur

- Barnas, A., Newman, R., Felege, C. J., Corcoran, M. P., Hervey, S. D., Stechmann, T. J., Rockwell, R. F., & Ellis-Felege, S. N. (2018). Evaluating behavioral responses of nesting lesser snow geese to unmanned aircraft surveys. *Ecology and Evolution*, 8(2), 1328–1338.
- Bastian, H.-V. (1984). Die Änderung der Herzfrequenz als Maß der Erregung – eine Literaturübersicht. *Die Vogelwarte*, 32, 226–233.
- Benecke, H.-G. (September 2018). *Schutz und Entwicklung des Großen Brachvogels in Sachsen-Anhalt, im Bereich der Europäischen Vogelschutzgebiete Milde-Niederung/Altmark und Drömling*. Abschlussbericht. Gardelegen.
- Chmielewski, F.-M., Blümel, K., Henniges, Y., Müller, A., Görgens, M., Weber, R. W. S., Kemfert, C., & Kremers, H. (2009). *Klimawandel und Obstbau in Deutschland (KliO): BMBF-Verbundprojekt unter Koordination der Humboldt-Universität zu Berlin (FKZ 01LS05024)*.
- Freundeskreis Nationalpark Schwarzwald e. V. (2018). *Einsatz von Drohnen im Naturschutz: Ein Übersichtsartikel*. Nationalpark Schwarzwald. Retrieved from <https://nationalpark.blog/einsatz-drohnen-im-naturschutz>.
- Ganteför, S., Kinsler, A., & Freiherr. v. Münchhausen, H. (2019). *Praxisratgeber Mähtod: Ein Ratgeber zum Schutz von Jungwild und Wiesenvögeln*.
- Gerlach, B., Dröschmeister, R., Langgemach, T., Borkenhagen, K., Busch, M., Hauswirth, M., Heinicke, T., Kamp, J., Karthäuser, J., König, C., Markones, N., Prior, N., Trautmann, S., Wahl, J., & Sudfeldt, C. (2019). *Vögel in Deutschland – Übersichten zur Bestandssituation*. Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA).
- Giese, M., Handsworth, R., & Stephenson, R. (1999). Measuring Resting Heart Rates in Penguins Using an Artificial Egg. *Journal of Field Ornithology*, 70(1), 49–54.
- Humbert, J.-Y., Ghazoul, J., & Walter, T. (2009). Meadow harvesting techniques and their impacts on field fauna. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 130(1-2), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.11.014>.
- Hüppop, O., & Hagen, K. (1990). Der Einfluß von Störungen auf Wildtiere am Beispiel der Herzschrage brütender Austernfischer (*Haematopus ostralegus*). *Die Vogelwarte*, 35, 301–310.
- Israel, M. (2017). UAV-gestützte Detektion von Kiebitznestern in Agrarflächen. In M. Pflanz (Ed.), *Bornimer Agrartechnische Berichte: Vol. 90, Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft* (pp. 1–8). Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V.
- Lyons, M., Brandis, K., Callaghan, C., McCann, J., Mills, C., Ryall, S., & Kingsford, R. (2018). Bird interactions with drones, from individuals to large colonies. *Australian Field Ornithology*, 35, 51–56. <https://doi.org/10.20938/afo35051056>.
- McEvoy, J. F., Hall, G. P., & McDonald, P. G. (2016). Evaluation of unmanned aerial vehicle shape, flight path and camera type for waterfowl surveys: Disturbance effects and species recognition. *PeerJ*, 4, e1831.
- Mulero-Pázmány, M., Jenni-Eiermann, S., Strelbel, N., Sattler, T., Negro, J. J., & Tablado, Z. (2017). Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review. *PloS One*, 12(6), e0178448. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178448>.
- Neebe, B., & Hüppop, O. (1994). Der Einfluß von Störreizen auf die Herzschrage brütender Küstenseeschwalben (*Sterna paradisaea*). *Artenschutzreport*(4), 8–13.

- Pietsch, M., Fritsch, S., Etterer, F., & Schmidt, C. (Eds.). (2020). *Produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen: Erfahrungen zur praktischen Handhabbarkeit und Grenzen digitaler Technologien im naturschutzfachlichen Monitoring und Management*. Aachen. Shaker.
- Pietsch, M., Henning, M., Mader, D., Westfeld, P., & Etterer, F. (2018). Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Monitoring Biodiversity Measures in Periurban and Agrarian Landscapes. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 3-2018, 273–282.
- R: *A Language and Environment for Statistical Computing* (Version 4.0.2) [Computer software]. (2020). R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Raven Lite: *Interactive Sound Analysis Software* (Version 2.0.1) [Computer software]. (2016). The Cornell Lab of Ornithology. Ithaca, NY.
- Rraven: *connecting R and Raven bioacoustic software* (Version 1.1.0) [Computer software]. (2017).
- Roßkamp, T. (2005). Direkter Gelegeterschutz – eine einzelbetriebliche Schutzmaßnahme für den Erhalt von Wiesenvogelpopulationen. In: *Einzelbetriebliche Naturschutzberatung – ein Erfolgsrezept für mehr Naturschutz in der Landwirtschaft*. Symposium conducted at the meeting of FiBL Deutschland e. V., Witzenhausen.
- Taelman, J., Vandeput, S., Spaepen, A., & van Huffel, S. (2008). Influence of Mental Stress on Heart Rate and Heart Rate Variability. *IFMBE Proceedings*, 22, 1366–1369.
- Tarlow, E. M., & Blumstein, D. T. (2007). Evaluating methods to quantify anthropogenic stressors on wild animals. *Applied Animal Behaviour Science*, 102(3-4), 429–451. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.05.040>.
- Wahl, J., Dröschmeister, R., Gerlach, B., Grüneberg, C., Langgemach, T., Trautmann, S., & Sudfeldt, C. (2015). *Vögel in Deutschland – 2014*. Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA).
- Wickham, H. (2016). *Ggplot2: Elegant graphics for data analysis. Use R!* Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>.
- Wieden, M. (2003). Der 15. Juni, vom Klimawandel überholt? Langjährige Ergebnisse von Vertragsnaturschutz-Kontrollen im Landkreis Gießen. In Bundesamt für Naturschutz & Naturschutz-Zentrum Hessen (Chairs), ... *Grünlandnutzung nicht vor dem 15. Juni ...: Sinn und Unsinn von behördlich verordneten Fixterminen in der Landwirtschaft*, Wetzlar.