

Ein automatisiertes System zur Erfassung der Signale von Radiosendern und seine Anwendung im Rahmen einer Telemetriestudie an Austernfischerküken.

Volker Salewski, Dominic Cimiotti, Patrick Lampe, Jonas Höchst, Jannis Gottwald

Salewski V, Cimiotti D, Lampe P, Höchst J, Gottwald J 2023: An automated system for detecting radio transmitter signals and its application in a telemetry study of oystercatcher chicks. *Vogelwarte* 61: 131–146.

Research related to species conservation faces a dilemma: High-quality data must be recorded in a sufficient quantity in order to derive successful management measures. However, recording these data can be associated with disturbances that may, for example, negatively affect reproductive success. Automated systems for low-disturbance data collection offer a solution to this dilemma. We present here a system for automated collection of signals from VHF radio transmitters, the tRackIT system, and describe its application to telemetry of oystercatcher chicks *Haematopus ostralegus* in Schleswig-Holstein, northern Germany. The tRackIT system consists of tRackIT-stations as receiving units of radio signals in the field, an open-source operating system for the stations (tRackIT OS), and the backend provided by tRackIT Systems consisting of a metadatabase (EcoHub), analysis units based on time series databases, and a visualization unit where both, the incoming raw data from the stations and the products from the analysis units are visualized (Grafana). In spring 2022, we set up five tRackIT-stations in Beltringharder Koog on the west coast of Schleswig-Holstein to automatically record signals from ten tagged Oystercatcher chicks between May and July and to test the suitability of the system for determining survival rates, causes of death and space use of oystercatcher chicks. Of the ten chicks that were tagged, two chicks likely lost the transmitter prematurely, six chicks did not survive the chick stage due to predation or disease, and two chicks fledged. Time of death and first flight could be determined to the minute in some cases. The probability of a chick fledging, estimated with the program MARK, was $35.3\% \pm 15.4\%$. From seven chicks only a few localizations were available, which could be attributed to an unfavorable spatial relationship of the chicks to the antennas. In three other chicks, 2,333 to 3,571 localizations were available during 18 to 30 days. The tRackIT system proved to be reliable. Storms lasting several days were withstood by the stations and only a few failures occurred, which were always quickly repaired. Precise data on the fate of the chicks could be determined and, in some cases, a high number of localizations could be made. In the following years we will continue the project. We expect that a higher number of tagged chicks and a relocation of the tRackIT-stations carried out after the experiences of the first season will provide extensive data that can be used to better understand the breeding success and population dynamics of oystercatchers in the study area.

✉ VS: Michael-Otto-Institut im NABU, Goosstroot 1, 24861 Bergenhusen. Volker.Salewski@NABU.de

DC: Michael-Otto-Institut im NABU, Goosstroot 1, 24861 Bergenhusen.

PL, JH, JG: 2tRackIT Systems, Ockershäuser Allee 21, 35037 Marburg, info@trackit.systems.

1 Einleitung

Evidenzbasiertes Management ist der Schlüssel zum Erfolg von Artenschutzprojekten (Sutherland et al. 2004; Segan et al. 2011). Grundlage dafür sind quantitativ ausreichende und qualitativ hochwertige Daten zu verschiedenen Aspekten der Ökologie der jeweiligen Zielart. Allerdings ist das Erheben umfangreicher und genauer Daten zum einen mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden und damit mit hohen Kosten, die Schutzprojekten oft nicht zur Verfügung stehen. Zum anderen könnte die Aufnahme von Daten mit Störungen verbunden sein (Götmark 1992; Ibáñez-Álamo et al. 2012). Daraus ergibt sich ein Dilemma: der Erkenntnisgewinn steigt in der Regel mit zunehmender

Datenmenge, z. B. mit zunehmenden Besuchen an Nestern (Mayfield 1975; Verboven et al. 2001; Andes et al. 2019) aber häufigeres Aufsuchen der Fortpflanzungsstätten kann die Wahrscheinlichkeit des Reproduktionsausfalls erhöhen (Major 1990; Bêty & Gautier 2001; Teunissen et al. 2006). Wenn aber die Datenaufnahme für ein evidenz-basiertes Management zu einer reduzierten Fortpflanzungsrate führt, dann würde dadurch die Absicht eines Artenschutzprojekts konterkariert.

Zur störungsarmen Ermittlung quantitativ ausreichender und qualitativ hochwertiger Daten eignen sich automatisierte Überwachungssysteme. Sie reduzieren bei einem gleichzeitigen permanenten Monitoring die

Anwesenheit und damit die Frequenz von Störungen durch Forschende. So werden selbstauslösende Kamerasysteme bereits seit den 1950er Jahren angewandt, um das Brutgeschehen von Vögeln zu dokumentieren (Gysel & Davis 1956; Royama 1959). Im Bereich der Nordseeküste werden Kameras in den letzten Jahren verstärkt an Gelegen von Küsten- und Wiesenvögeln eingesetzt, um störungsarm Erkenntnisse zu Schlupferfolg und Verlustursachen zu gewinnen (Salewski et al. 2019; Cimiotti et al. 2022; Gnep et al. 2021). Allerdings deckt das Sichtfeld von Kameras nur einen begrenzten Raum ab. Sie sind deshalb ungeeignet, um Fragen in Bezug auf das Überleben und die Raumnutzung der Küken von Nestflüchtern zu untersuchen. Dies ist jedoch mit Hilfe von Radiosendern möglich.

Seit den 1960er Jahren wird mit Hilfe von Radiosendern die Raumnutzung von Vögeln untersucht (Cochran et al. 1967). Dabei wird auf einem Vogel mittels verschiedener Techniken (z. B. als „Rucksack“, „leg-loop harness“, Aufkleben auf Körper, Schwanzfedern oder Ring) ein Radiosender angebracht, der in einem bestimmten zeitlichen Abstand Signale im VHF-Bereich (30 MHz bis 300 MHz) sendet. Das Gewicht des Senders sollte dabei, je nach der Größe des Vogels, 3 % bis 5 % des Körpergewichts nicht überschreiten (Kenward 2001). Mittels eines mit einer Antenne verbundenen Empfangsgeräts werden die Radiosignale des Senders empfangen. Da sich die Lautstärke des Signals mit der Entfernung und mit dem Winkel zur empfangenden Antenne ändert, lässt sich die Richtung, in der sich ein Sender bezogen auf den Standort der Antenne befindet, bestimmen und durch verschiedene Ortungsverfahren (z. B. Triangulation) der Standort eines Senders im Gelände zu einem gegebenen Zeitpunkt feststellen. Neuere Sender können zusätzlich mit Bewegungs- und Temperatursensoren ausgestattet sein, wodurch sich Schlüsse auf das Verhalten des den Sender tragenden Vogels ziehen lassen, bzw. ob er am Leben oder tot ist. Dadurch sind radio-telemetrische Untersuchungen die Methode der Wahl, wenn die Raumnutzung und das Überleben von Individuen analysiert werden sollen (Kenward 2001).

Herkömmliche telemetrische Untersuchungen sind zeitintensiv und mit einem hohen Personalaufwand verbunden. Zusätzlich kann in der Regel nur eine begrenzte Anzahl von Individuen simultan bearbeitet werden, wenn Kompromisse zwischen Datenmenge und -qualität auf der einen und Arbeitsaufwand und -kosten auf der anderen Seite gemacht werden müssen. Wenn aber aufgrund begrenzter Ressourcen die Anzahl der in einer Telemetriestudie berücksichtigten Individuen eingeschränkt wird oder es zu Ungenauigkeiten in der Datenaufnahme kommt, kann dies zu irreführenden Ergebnissen und zu falschen Rückschlüssen in Bezug auf das Management führen (Montgomery et al. 2010). Wird dagegen ein Untersuchungsgebiet, das unter Umständen der Lebensraum einer oder mehrerer gefährdeter Arten ist, häufig und vielleicht mit mehre-

ren Personen gleichzeitig aufgesucht, kann dies eine kritische Störung darstellen.

Inzwischen gibt es einige Systeme, die Signale von Radiosendern automatisch mittels stationärer Antennen im Gelände aufzeichnen. Dadurch können wiederholte Begehungen oder Befahrungen mit einer in der Hand gehaltenen oder am Fahrzeug befestigten Antenne entfallen und so Störungen verringert werden. Zusätzlich werden ohne großen Personalaufwand sendertragende Individuen kontinuierlich überwacht und nicht nur in mehr oder weniger großen zeitlichen Abständen. Darüber hinaus kann eine wesentlich höhere Anzahl von Individuen simultan aufgenommen werden, als dies mit manuell geführten Antennen möglich wäre. Beispiele für automatisierte Empfangsanlagen zur Erfassung von Radiosignalen sind die Systeme Motus (Taylor et al. 2017), WATLAS (Bijleveld et al. 2022), die Systeme von Biotrack (Mason et al. 2018) oder Radio-tracking.eu (<https://radio-tracking.eu/>). In dieser Studie wird erstmalig das an der Universität Marburg entstandene und durch tRackIT-Systeme (<https://trackit.systems/>) weiterentwickelte tRackIT System im Zusammenhang mit der Radiotelemetrie im Küstenvogelschutz beschrieben. Bei diesem System handelt es sich um das derzeit einzige Low-Cost und Open-Source System, das die Übertragung der Signale und deren Verarbeitung zu relevanten Informationen, wie z. B. Positionen oder Körpertemperatur, in Echtzeit ermöglicht. Hier stellen wir die Anwendung des tRackIT Systems und erste Ergebnisse aus einem Projekt zur Ermittlung von Überlebensraten, Todesursachen und Raumnutzung von Austernfischerküken *Haematopus ostralegus* in Schleswig-Holstein vor.

2 Modellart, Untersuchungsgebiet und Methoden

2.1 Modellart Austernfischer

Der Austernfischer ist in Schleswig-Holstein ein weit verbreiteter Watvogel, der vorwiegend Salzwiesen, Strände und Dünen besiedelt. Auf den Halligen, Inseln und in der Marsch brütet er auch im Grünland und auf Äckern. Nach starken Bestandsrückgängen im gesamten deutschen Wattenmeer ab der Mitte des 19. Jahrhunderts kam es ab den 1930er Jahren wieder zu einer Zunahme (Gedeon et al. 2014). Der Höchststand wurde in Deutschland für 1999 mit 31.000 bis 36.000 Brutpaaren angegebenen (Bauer et al. 2002; Gedeon et al. 2014). Danach setzte ein starker Rückgang ein (Hötker et al. 2007), der weiterhin anhält (Ryslavy et al. 2020). Dies führte, wie im gesamten Wattenmeer (Koffijberg et al. 2020), zu mehr als einer Halbierung der Brutpaarzahlen in einem Zeitraum von etwa 25 Jahren. In manchen Bereichen, wie den Salzwiesen an der Festlandsküste, ging der Bestand in 20 Jahren um ca. 2/3 zurück (Hälterlein 2018). Dies ist umso dramatischer, da Schleswig-Holstein eine besondere nationale und internationale Verantwortung beim Schutz des Austernfischers zukommt: Hier brütet fast die Hälfte des deutschen und etwa 4 % des Weltbestandes (Cimiotti & Hötker 2019). Der Austernfischer ist global als „near three-

atened“ gelistet (BirdLife International 2019). Deutschlandweit gilt er zwar als „ungefährdet“ (Ryslavý et al. 2020), in Schleswig-Holstein steht er aber auf der Vorwarnliste (Kiebusch et al. 2021).

Mehrere Gründe kommen für den drastischen Rückgang des Austernfischers in Schleswig-Holstein in Frage. Zunächst wurden Kältewinter und eine abnehmende Nahrungsverfügbarkeit angenommen (Hötker et al. 2007; Knief et al. 2010). Hötker et al. (2007) wiesen aber auch schon auf den Zusammenhang zwischen Bestandsrückgängen und einem reduziertem Bruterfolg hin (siehe auch Thorup & Koffijberg 2016; Frauendorf 2022). Der Bruterfolg ist wiederum von der Erreichbarkeit der Nahrungsflächen abhängig (Ens et al. 1992). Durch Verbauungen ist diese zumindest für die Küken an vielen Standorten erschwert (Hötker et al. 2010). Der Austernfischer stellt eine Besonderheit unter den Watvögeln dar, da die Küken die Nahrung von den Eltern gebracht bekommen (Ens et al. 1992). Unter ungünstigen Umständen stehen den Eltern nur qualitativ minderwertige Nahrungsflächen zur Verfügung oder es müssen weite Strecken fliegend zurückgelegt werden, um die Küken mit Nahrung zu versorgen. Als Folge davon fallen Wachstum und Gewichtszunahme der Küken langsamer aus, woraus eine verringerte Wahrscheinlichkeit flügge zu werden resultiert (Ens et al. 1992; Van de Pol et al. 2006, 2007). Bereits Willems et al. (2005, zitiert in van de Pol et al. 2014) nahmen jedoch auch an, dass für den Rückgang des Austernfischers in niederländischen Festlandssalzwiesen die dortige Zunahme des Rotfuchses *Vulpes vulpes* als Gelege- und Kükenprädator verantwortlich sein könnte (siehe auch Frauendorf 2022). Aktuelle Untersuchungen zeigen allerdings auch, dass das Überleben adulter Austernfischer in den Niederlanden abgenommen hat (Allen et al. 2019, 2021).

Seit einigen Jahren wird verstärkt die Rolle zunehmender Prädation von Gelegen und Küken im Zusammenhang mit dem unzureichenden Bruterfolg des Austernfischers und anderer Watvögel diskutiert (Roodbergen et al. 2012). Letztendlich sind aber die Ursachen für die starken Abnahmen der Bestände in Deutschland nicht bekannt und weitere Forschung ist nötig, um die Gründe für Populationschwankungen des Austernfischers zu verstehen (van de Pol et al. 2014). Da der Bruterfolg offensichtlich der Schlüsselfaktor beim Rückgang der Bestände ist, gilt es die Ursachen, warum er so gering ausfällt, zu untersuchen, und komplexe Zusammenhänge zwischen Habitatausstattung, Bewegungsmuster, Kükenwachstum und Prädation zu verstehen, wenn der anhaltende negative Bestandstrend gestoppt werden soll.

Im Beltringharder Koog (siehe unten) brüteten in den letzten Jahren (2018–2022) 168–251 Austernfischerpaare bei einem abnehmenden Trend seit 2006 (Cimiotti 2022). Der Bruterfolg in Teilen des Beltringharder Koogs (Arlau-Gebiet, siehe unten) variierte zwischen 2015 und 2020 zwischen 0,00 und 0,17 flüggen Küken/Brutpaar bei einem Durchschnitt von 0,09 flüggen Küken/Brutpaar (Cimiotti et al. 2020). In den Jahren 2021 bis 2022 war der Bruterfolg allerdings etwas höher, vermutlich aufgrund des Prädationsmanagements (Cimiotti et al. 2022). Dies reicht bei Weitem nicht aus, um den Bestand zu erhalten. Dafür wird eine Mindestreproduktionsrate von jährlich 0,4 flüggen Küken/Brutpaar angenommen (Allen et al. 2021). Bereits die Schlupfwahrscheinlichkeit der Gelege war mit 0 % - 53 % (Durchschnitt 26 %) in den meisten Jahren zu niedrig, um einen guten Bruterfolg zu bedingen (Cimiotti et al. 2020). Als Verlustursachen der Gelege

wurden mittels Fotofallen hauptsächlich nachtaktive Säuger identifiziert (Rotfuchs, Marderhund *Nyctereutes procyonoides*, Dachs *Meles meles*, Steinmarder *Martes foina*, Iltis *M. putorius*). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch weitere Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste (Cimiotti et al. 2017; Gnep et al. 2021). Da die Ursachen für hohe Gelegeverluste bekannt sind, kann ihre Wirkung durch entsprechende Maßnahmen verringert werden. Erfolgreich hat sich dabei z. B. die Installation von Gelegeschutzzäunen erwiesen, die den Schlupferfolg bodenbrütender Wiesenvögel deutlich erhöhen (Salewski & Granke 2020; Geertz et al. eingereicht; Salewski et al. eingereicht).

Ein guter Schlupferfolg muss nicht einen guten Bruterfolg nach sich ziehen (Voß & Leyrer 2020; Cimiotti et al. 2020). Es dauert mehrere Wochen, bis die Küken flügge sind und während dieser Zeit sind sie ebenfalls anfällig gegen verschiedene Gefahren wie ungünstigen Wetterverhältnissen, Nahrungsmangel, Prädation und dem Zusammenwirken dieser Faktoren. Bei Uferschnepfen wurde festgestellt, dass Verluste des Nachwuchses zu 35 % während der Eiphasse stattfinden und zu 65 % während der Kükenphase (Teunissen et al. 2006). Das Überleben während der Kükenphase hat somit einen entscheidenden Einfluss auf den Bruterfolg. Zu den Verluststraten und -ursachen bei Austernfischerküken liegen bisher noch keine Untersuchungen aus Schleswig-Holstein vor (Cimiotti & Klinner-Hötker 2019; Voß & Leyrer 2020). Da diese aber zur Entwicklung zielführender Managementmaßnahmen zur Steigerung des Bruterfolgs nötig wären und um Verluste im Zusammenhang mit verschiedenen Umweltvariablen besser verstehen zu können, streben wir an, diese Lücke mit der begonnenen Untersuchung, die wir hier vorstellen, zu schließen.

2.2 Untersuchungsgebiet und Antennenstationen

Der Beltringharder Koog (Abb. 1) liegt an der Westküste Schleswig-Holsteins und umfasst eine Fläche von etwa 3350 ha (Klinner-Hötker et al. 2021). Es handelt sich dabei um ehemalige Wattflächen in der Nordstrander Bucht, die 1987 eingedeicht wurden. Neben großen Wasserflächen und einer sich selbst überlassenen Sukzessionszone im Süden befinden sich im Koog etwa 630 ha Grünland (ohne Wasserflächen und Wege), das durch extensive Beweidung, Mahd, ergänzt durch gezieltes Mulchen höherer Vegetation, und ein gesteuertes Wassermanagement weitgehend im Sinne des Wiesenvogelschutzes bewirtschaftet wird (Klinner-Hötker et al. 2021).

Im südlicheren Bereich des Beltringharder Koogs befindet sich eine etwa 150 ha umfassende Landspindel (Arlaugebiet) zwischen der Salzwasserlagune im Norden und dem Arlauspeicherbecken im Süden (Abb. 1). Seit 2015 werden hier Schlupf- und Bruterfolg von Austernfischern untersucht (Cimiotti et al. 2017). Im März 2022 wurden hier fünf Antennenstationen (tRackIT-Stationen) installiert, die einen Abstand von 240 bis 350 Meter zueinander hatten (Abb. 1) und die dazu dienen sollten, die Signale von auf Austernfischerküken angebrachten Sendern automatisiert zu empfangen und weiterzuleiten.

2.3 Grundlagen der automatisierten Erfassung von Radiosignalen nach dem tRackIT-System

Für das hier vorgestellte System sind alle konventionellen VHF-Sender geeignet, deren Identität über einen Frequenzabstand von mindestens 5 kHz voneinander getrennt werden kann. Bei einer durch eine tRackIT Station erfassten Band-

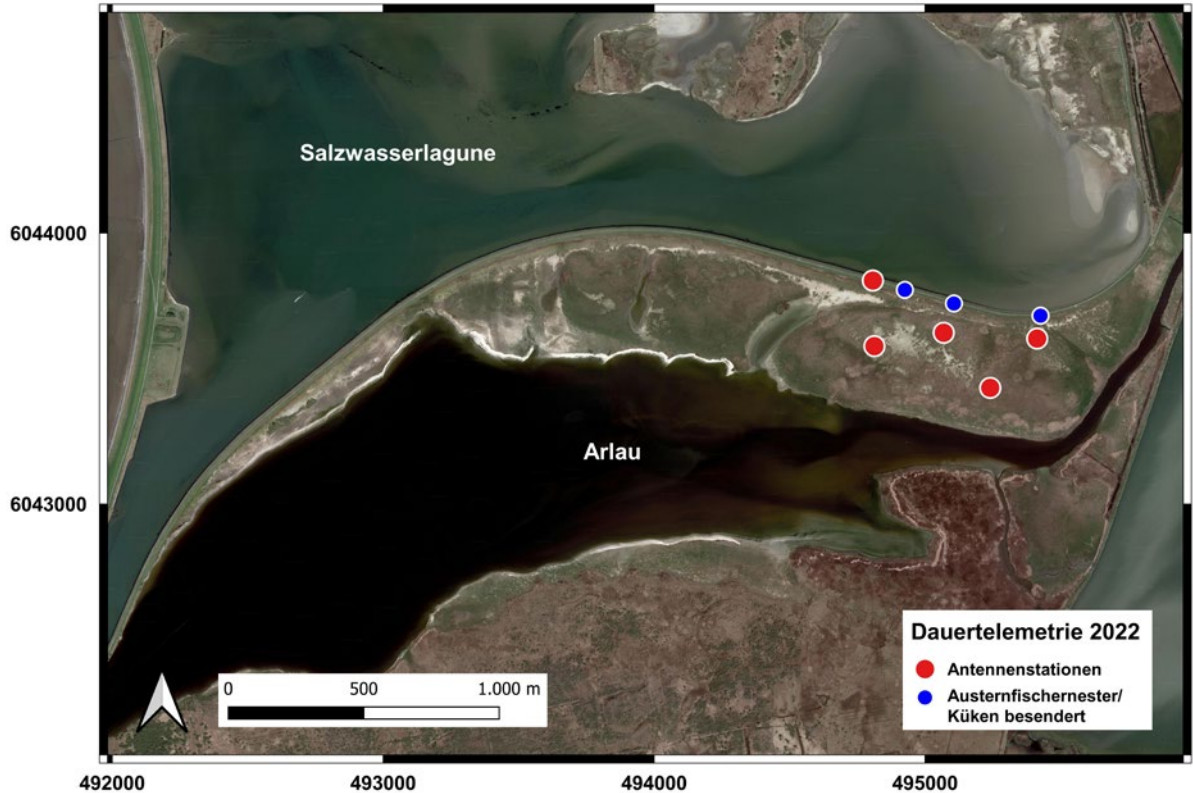


Abb. 1: Das Arlaugebiet im Beltringharder Koog mit den Standorten der fünf 2022 aufgestellten tRackIT-Stationen und den Austernfischernestern, von denen Küken besendert wurden. 2023 werden westlich der Stationen noch fünf weitere hinzukommen. Kartenquelle: Google Earth. Maßstab: 1:15 000. KBS: EPSG 32632 WGS 84/UTM Zone 32N. – *The Arlau area in Beltringharder Koog with the locations of the five tRackIT stations set up in 2022 and the oystercatcher nests from which chicks were tagged. In 2023, five more will be added to the west of the stations. Map source: Google Earth. Scale: 1:15,000. KBS: EPSG 32632 WGS 84/UTM Zone 32N.*

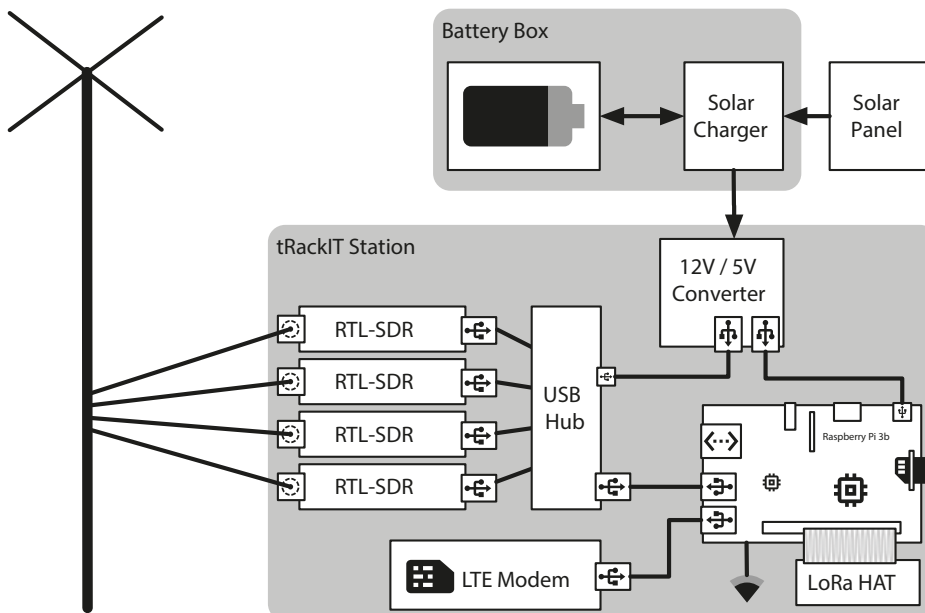


Abb. 2: Hardwarekomponenten des tRackIT-Systems, schematisiert. – *Hardware components of the tRackIT system, schematized.*

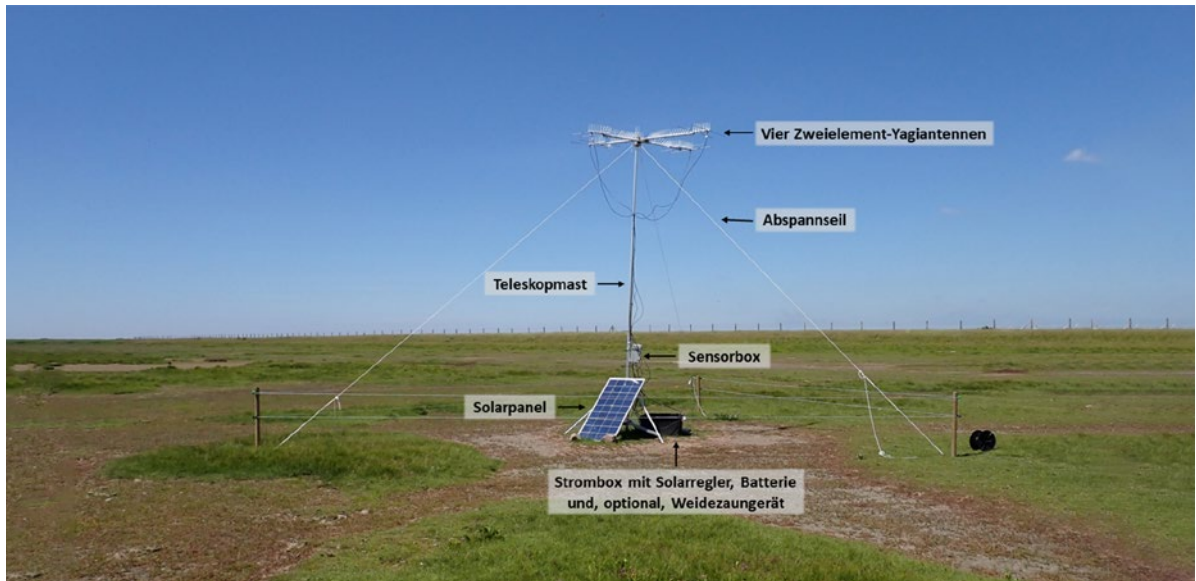


Abb. 3: tRackIT-Station zur automatisierten Erfassung von Signalen von Radiosendern im Beltringharder Koog (Schleswig-Holstein) im Juni 2022. Die Höhe der Anlage beträgt 4-5 m. Taubenabwehrstacheln auf dem Antennenkreuz sollen verhindern, dass Greifvögel die Anlage als Ansitz nutzen. Zum Schutz vor eventuell aufgetriebenen Rindern wurden um die Anlage zwei stromführende Litzen installiert. Die Stromversorgung des dazugehörigen Weidezaungeräts erfolgt über die Batterie in der Strombox. – *tRackIT station for automatic detection of signals from radio transmitters in Beltringharder Koog (Schleswig-Holstein) in June 2022. The height of the installation is 4-5 m. Anti-Pigeon-spikes on the antenna cross are to prevent birds of prey from using the installation as a perch. Two live strands have been installed around the facility to protect it against cattle that may be driven up. The power supply is provided by the battery in the black box.* Foto: V. Salewski.

breite von 1 MHz können bis zu 100 Individuen gleichzeitig beobachtet werden.

Das tRackIT System setzt sich zusammen aus:

- tRackIT-Stationen, bestehend aus günstigen und einfach erhältlichen Komponenten;
- einem open-source Betriebssystem für die Stationen (tRackIT OS; Höchst et al. 2021);
- dem durch tRackIT-Systeme bereitgestellten Backend bestehend aus einer Metadatenbank (EcoHub), auf Zeitreihendatenbanken beruhenden Analyseeinheiten und einer Visualisierungseinheit, in der sowohl die eingehenden Rohdaten der Stationen als auch die Produkte aus den Analyseeinheiten visualisiert werden (Grafana).

Eine tRackIT-Station als Empfangssystem (Abb. 2, 3) besteht aus einer Antennenanlage zum Empfang der Radiosignale, einer Sensorbox zur Verarbeitung, Speicherung und Weiterleitung der empfangenen Signale (Abb. 4) und einer Strombox mit Solarpanel zur Energieversorgung (Abb. 5).

Die Antennenanlage umfasst vier directionale Antennen (HB9CV), die auf einem Stangenkreuz jeweils in die vier Haupthimmelsrichtungen ausgerichtet sind. Andere Kombinationen, z. B. acht Vierelement-Yagiantennen auf zwei Stangenkreuzen, wären möglich. Jede Antenne ist mit einem Kabel mit der Sensorbox verbunden. Das die Antennen tragende Stangenkreuz ist an einem Aluminium-Teleskopmast angebracht, der sich bis zu acht Meter ausfahren lässt. Der Teleskopmast steht wiederum in einem Aluminiumstativ und ist zusätzlich mit drei Seilen abgespannt. Im Frühjahr 2022 haben die tRackIT-Stationen einem mehrere Tage anhaltenden Sturm mit Böen bis Windstärke 10 (Beaufort) stand-

gehalten. Ausnahme war eine Station, die für fast eine Woche bis zu einem Meter tief im Wasser stand, wodurch der Boden stark aufweichte. Die Station, die in einem ehemaligen Priel platziert worden war, fiel um, da im weichen Boden die Heringe nicht mehr hielten. Sie wurde anschließend auf einen trockenen Damm umgestellt.

Von den Antennen werden mittels Koaxialkabeln analoge Signale in die am Teleskopmast befestigte Sensorbox (Abb. 4) geleitet und dort mittels „software defined radios“ (SDR, Nooelec NESDR SMARTEE v2) digitalisiert. Die Sensorbox zur Datenverarbeitung und -weiterleitung enthält als Herzstück einen Minicomputer (Raspberry PI 4), der auf die auf einer SD-Karte gespeicherten Programme zur Datenverarbeitung zurückgreift (tRackITOS, Höchst et al. 2021).

Die Stromversorgung der Sensorbox erfolgt mittels eines Solarpanels (72M Monokristallin, 165Wp). Dieses lädt eine Batterie (HR Solar AGM, 12V, 100Ah), die mit der Strombox (Abb. 5) verbunden ist. In der Sensorbox wird die Spannung des eingehenden Stroms durch ein KFZ-USB-Ladegerät (Varta Car Charger 2xUSB, Ausgangsstrom max. 4800 mA) von 12V auf 5V reduziert. Der von uns verwendete Solarregler (SmartSolar MPPT 75/10 Solarladeregler, 12/24V, 10A) zeigt über eine bluetooth-Verbindung die aktuelle Ladungsstärke und Ladestand der Batterie mittels einer App auf dem Mobiltelefon an.

Jede Sensorbox verfügt über eine Internetverbindung. Über einen 4G LTE-Stick mit SIM-Karte werden die aufgenommenen Daten an einen Server gesendet (detailliert in Höchst et al. 2021; Abb. 6). Auf der Server Seite werden die eingehenden Signale mit Informationen aus einer Metadatenbank abgeglichen (EcoHub). EcoHub ermöglicht die Verwaltung

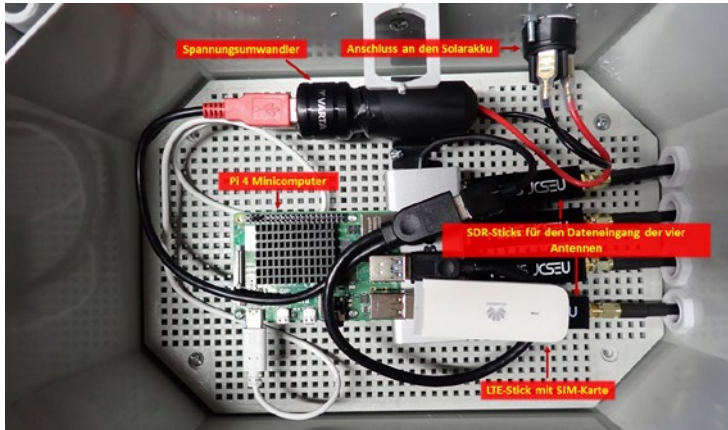


Abb. 4: Inneres einer Sensorbox einer tRackIT-Station zur automatisierten Erfassung von Radiosignalen. – Interior of a sensor box of a tRackIT station for automatic detection of radio signals. Foto: V. Salewski

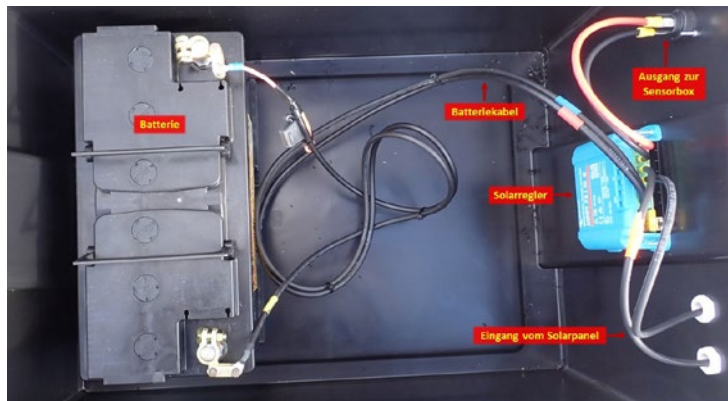


Abb. 5: Inneres einer „Strombox“ einer tRackIT-Station zur automatisierten Erfassung von Radiosignalen. – Interior of an “electricity box” of a tRackIT-station for automatic detection of radio signals. Foto: V. Salewski

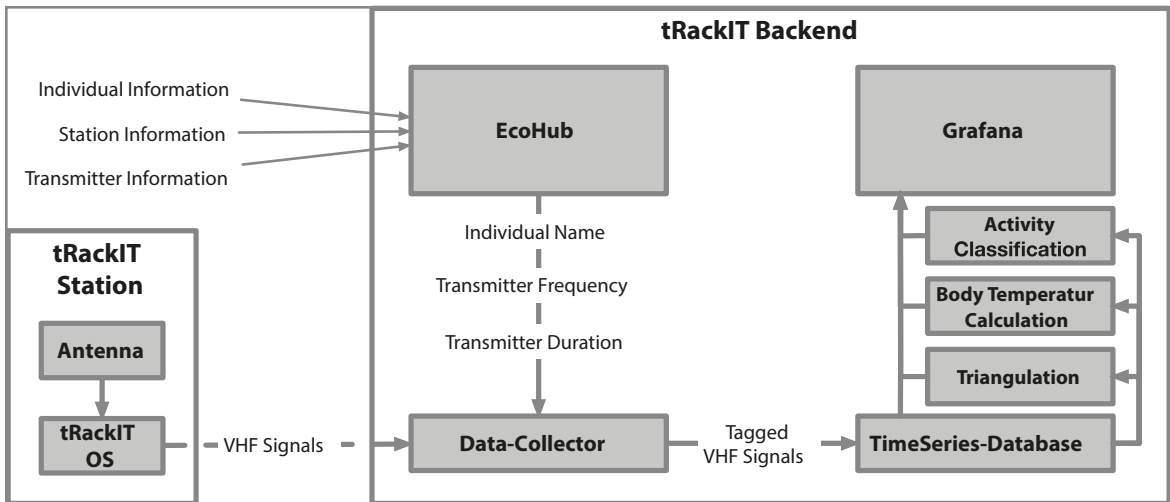


Abb. 6: tRackIT-System pipeline zur automatisierten Erfassung von Sendersignalen, Datenverarbeitung und Visualisierung. – tRackIT system pipeline for automatic acquisition of transmitter signals, data processing and visualization.

von Projekten, Stationen und Individuen. Ab dem Moment, ab dem ein Individuum und die Frequenz des verwendeten Senders in EcoHub eingetragen wurde, werden alle eingehenden Signale, welche zu den hinterlegten Informationen passen, dem Individuum zugeordnet und in einer Zeitreihendatenbank gespeichert. Weitere Prozesse zur Berechnung von

Positionen, Körpertemperatur oder Verhaltensklassifikation (Gottwald et al. 2022) greifen nun auf diese Signale zu und visualisieren die Ergebnisse in nahezu Echtzeit mit Hilfe einer Zeitreihenvisualisierungssoftware (Grafana).

Da gegen Ende der Brutsaison mit einem Viehauftrieb zu rechnen war, wurde jede tRackIT-Station durch zwei strom-

führende Litzen gesichert. Die Stromversorgung der Litzen erfolgte über ein Weidezaungerät, welches an die Batterie in der Strombox angeschlossen war. Die Batterie lieferte genug Energie, um Sensorbox und Weidezaungerät zu versorgen. Letztendlich wurden die Litzen nicht dauerhaft unter Strom gesetzt, da der Viehauftrieb erst nach dem Abbau der Stationen erfolgte. Ein Testlauf ergab jedoch, dass bei einem Betrieb des Weidezaungeräts nicht mehr Störsignale erzeugt wurden als bei abgeschaltetem Weidezaungerät.

2.4 Feldarbeit

Fünf tRackIT-Stationen wurden im März im Beltringharder Koog installiert (Abb. 1). Dies erfolgte zu einem frühen Zeitpunkt, um Störungen von früh brütenden Vogelarten, wie dem Kiebitz *Vanellus vanellus*, möglichst gering zu halten. Anschließend waren bis zum Abbau der Stationen keine größeren Arbeiten an den Antennenstationen nötig, bis auf die oben erwähnte Ausnahme. Die Überwachung der Funktion der Stationen erfolgte über Grafana. Bei wenigen Ausfällen einzelner Stationen reichte ein Aufsuchen der jeweiligen Station und ein einmaliges Ab- und wieder Anschalten aus, um sie wieder zu starten. Nach dem Ende der Brutsaison erfolgte der Abbau der Stationen gegen Ende Juli.

Ab Ende April begann die Suche nach Gelegen von Austernfischern im Bereich der Stationen. Bei einem Fund erfolgte die Bestimmung des voraussichtlichen Schlupfdatums mittels des Eivolumentums und des Gewichts der Eier (van de Pol et al. 2006a). Kontrollen der Gelege fanden bis kurz vor dem voraussichtlichen Schlupftermin in einem Abstand von etwa fünf Tagen statt, danach häufiger, um den Schlupf nicht zu verpassen. Unmittelbar nach dem Schlupf wurden zehn Küken aus drei Gelegen mit 0,75g leichten Radiosendern (Telemetriesender V4, Telemetrie-Service Dessau, 30 bpm, 35 Tage Laufzeit) ausgestattet, indem diese mit einem medizinischen Kleber (Sauer Hautkleber 50.00) auf dem Rücken befestigt wurden. Einige zuvor entfernte und anschließend wieder auf den Sender geklebte Daunenfedern des Rückens ließen die Sender optisch unauffälliger erscheinen. Beim Besendern wurden die Küken auch gewogen und vermessen. Im Abstand von zehn bis zwölf Tagen wurden die Küken erneut gefangen, die Sender nachgeklebt und dabei die Küken wiederum gewogen und vermessen.

2.5 Datenauswertung

2.5.1 Temperaturmessungen

Zur Echtzeit-Erfassung der Körpertemperatur der besenderten Individuen werden temperatursensitive VHF-Sender verwendet, welche den Abstand zwischen einzelnen Signalen in Abhängigkeit zur Körpertemperatur variieren. Jeder Sender hat eine vom Hersteller ermittelte Eichkurve, deren Parameter in der Metadatenbank (EcoHub) eingetragen werden. Auf Basis der Parameter und der aus den eingehenden Daten ermittelten Signalabstände wird die Körpertemperatur berechnet (Gottwald et al. 2019).

2.5.2 Feststellung des Todeszeitpunkts

In einer kürzlich veröffentlichten Studie (Gottwald et al. 2022) wurde ein Verfahren zur Klassifizierung des Verhaltens (aktiv oder passiv) der besenderten Tiere anhand der Muster der VHF-Signale vorgestellt. Dabei wird die Eigenschaft von VHF-Signalen genutzt, die eine hohe Varianz in der Signalstärke bei Bewegung und eine geringe Varianz im Ruhezu-

stand aufzuweisen. Auf der Basis von 750 Stunden Verhaltensbeobachtungen besonderer Fledermausindividuen mit Hilfe eines Multisensortools (BatRack, Gottwald et al. 2021) wurde ein maschinelles Lernverfahren trainiert, welches mit hoher Genauigkeit und hoher zeitlicher Auflösung (~5 Sekunden) das Verhalten besendeter Individuen feststellen kann. Das trainierte Modell ist Teil der Datenverarbeitungspipeline des tRackIT Systems (Abb. 6). Die Sensitivität der empfangenen Signalstärke gegenüber Bewegung und Position zur Antenne wurde in dieser Studie auch zur Feststellung des Todeszeitpunktes der besenderten Küken benutzt. Dabei erlaubt allein die Beobachtung der live-übertragenen VHF-Signale eine schnelle und zeitlich hochgenaue Feststellung des Todeszeitpunktes der besenderten Individuen.

2.5.3 Überlebenswahrscheinlichkeit der Küken

Der Zeitpunkt des Schlupfs konnte durch Beobachtungen und der Zeitpunkt des Verlusts oder des Flüggerwerdens eines Kükens konnte mittels der automatisierten Erfassung der Sendersignale erfasst werden (siehe unten). Anhand dieser Daten wurde die tägliche Überlebenswahrscheinlichkeit Φ der Küken mittels „nest-survival“-Modellen im Programm MARK geschätzt (Dinsmore & Dinsmore 2007). Dabei wurden mehrere Modelle mittels des Akaike-Information-Kriteriums für kleine Stichproben (AICC) verglichen. Das Modell mit dem niedrigsten AICC-Wert ist das Modell, das die Daten am besten erklärt. Weist das nächstbeste Modell einen $AICC > 2$ zum besten Modell auf (Unterschied zwischen zwei Modellen: $\Delta AICC$), dann wird dies als Hinweis gewertet, dass das beste Modell die Daten deutlich besser erklärt als die weiteren Modelle (Burnham & Anderson 2002). Zusätzlich wird für jedes Modell das AICC-Gewicht geschätzt, das angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das betreffende Modell die vorliegenden Daten am besten erklärt.

Für die Austernfischerküken im Beltringharder Koog wurden vier Modelle berücksichtigt. Ein Modell ging von einem täglich variierenden Φ im Laufe der Saison aus ($\Phi(t)$). Weitere Modelle nahmen einen stetig zu- oder abnehmend Trend von Φ im Laufe der Saison an ($\Phi(T)$) oder nahmen einen mit dem Alter zu- oder abnehmenden Trend an ($\Phi(\text{Alter})$), während ein letztes Modell von einem konstanten Φ über die gesamte Brutsaison ausging ($\Phi(.)$). Austernfischerküken sind in der Regel im Alter von 32 Tagen flügge (Khil 2013). Die Wahrscheinlichkeit, dass ein geschlüpftes Küken auch flügge wird, würde bei konstanter täglicher Überlebenswahrscheinlichkeit somit Φ_{32} betragen. Die Varianz dieser Schätzung wurde mit der Delta-Methode bestimmt (Cox 1998).

2.5.4 Ortungen

Für die Ermittlung der Positionen der Individuen wird zunächst auf Basis eines Vergleichs, der auf den Antennen derselben Station empfangenen Signalstärke eines VHF-Signals der Winkel zur Quelle des Signals ermittelt (detailliert in Gottwald et al. 2019). Aus Winkelberechnungen auf mehreren Stationen lässt sich nun die Position des Individuums bestimmen. Dafür werden verschiedene Verfahren angewendet. Das einfachste Verfahren stellt die Berechnung der Position anhand des sich aus den errechneten Winkeln ergebenden Schnittpunktes dar. Weitere Verfahren wie das Maximum Likelihood Estimator (MLE) Verfahren, Andrews Method (AND) oder Hubers Method (HUB) werden parallel berechnet (Length et al. 1981). Die Genauigkeit der Positionsbestim-

mung ist stark abhängig von der Positionierung der Stationen zueinander und zum besenderten Individuum. Eine Vorstudie in einem Waldgebiet im Mittelgebirge ergab eine mittlere Positionsgenauigkeit von 38m.

3 Ergebnisse

3.1 Schicksal, Verlustursachen und Überlebenschancen von besenderten Austernfischerküken

Von den zehn besenderten Küken verloren sehr wahrscheinlich zwei die Sender vorzeitig (Tab. 1). Darauf ließen die im Gelände ohne jegliche Spuren (keine Blutspuren oder Hautreste am Sender, keine ausgerissenen Dunenfedern oder Kükenreste im Umfeld) gefundenen Sender schließen. Bei einem weiteren Küken kam es wahrscheinlich zu einem Ausfall des Senders (Tab. 1).

Bei ihm wurden von den Stationen ab dem Alter von 30 Tagen keine Signale mehr empfangen und auch mit der Handantenne konnte der Sender im weiteren Umfeld des Untersuchungsgebietes nicht geortet werden. Später konnte das bereits flügge Küken aber zusammen mit den Eltern anhand des Ringes identifiziert werden (L. Schmidt, pers. Mitt.). Von den verbleibenden sieben Küken wurde eines flügge und sechs überlebten die Kükenphase nicht (Tab. 1). Das flügge gewordene Küken flog zum ersten Mal im Alter von 32 Tagen (Abb. 7). Von den nicht flügge gewordenen Küken fielen drei im Alter von 18, 27 und 32 Tagen einer unbekannt Krankheit zum Opfer (Abb. 8). Zwei weitere Küken verschwanden spurlos im Alter von acht und 16 Tagen. Der Zeitpunkt der Verluste war 01:18 Uhr und am Vormittag (genauer Zeitpunkt nicht bestimmbar; drei Geschwister wanderten gegen 8:24 Uhr aus dem Emp-

Tab. 1: Ortungen der zehn besenderten Austernfischerküken. Dargestellt ist der Tag der Besenderung und der erste Tag einer Ortung, der letzte Tag an dem ein Küken lebend erfasst wurde bzw. an dem es flügge wurde und der letzte Tag einer Ortung, die Anzahl aller Ortungen eines Kükens und das Schicksal des Senders bzw. des Kükens. – *Localizations of the ten oystercatcher chicks that have been tagged. Shown is the day of tagging and the first day of a localization, the last day a chick was recorded alive or fledged and the last day of a localization, the number of all localizations of a chick and the fate of the transmitter or the chick.*

Kükennummer <i>Chick number</i>	Erster Tag: Besendert/ Ortung <i>First day: Tagged/localized</i>	Letzter Tag: Erfasst/Ortung <i>Last day: Recorded/localized</i>	Anzahl Ortungen <i>Number localizations</i>	Schicksal <i>Fate</i>
01	30.05./03.06.	07.06./04.06.	13	Verschollen <i>Lost</i>
02	30.05./03.06.	30.06./05.07.	271	Flügge* <i>Fledged*</i>
03	31.05./-	20.06./-	0	Sender abgefallen <i>Tag lost</i>
04	01.06./-	/-	0	An Krankheit gestorben <i>Lost through disease</i>
05	01.06./17.06.	17.06./21.06.	7	Gestorben** <i>Dead**</i>
06	01.06./11.06.	03.07./30.06.	28	An Krankheit gestorben <i>Lost through disease</i>
07	01.06./17.06.	20.06./21.06.	17	Sender abgefallen <i>Tag lost</i>
08	13.06./14.06.	13.07./12.07.	3571	Senderausfall am 13.07., flügge <i>Tag failure at 13.07., fledged</i>
09	13.06./14.06.	01.07./26.06.	2945	An Krankheit gestorben <i>Lost through disease</i>
10	13.06./14.06.	06.07./14.07.	2333	Prädiert** <i>Predated**</i>

*Das Küken konnte nach dem Flüggewerden noch regelmäßig bis zum Ausfall des Senders geortet werden. – *The chick could still be located regularly after fledging until the transmitter failed.*

**Nach dem Tod des Kükens lag der Sender noch einige Tage im Gelände. – *After death of the chick, the transmitter remained in the field for a few days.*

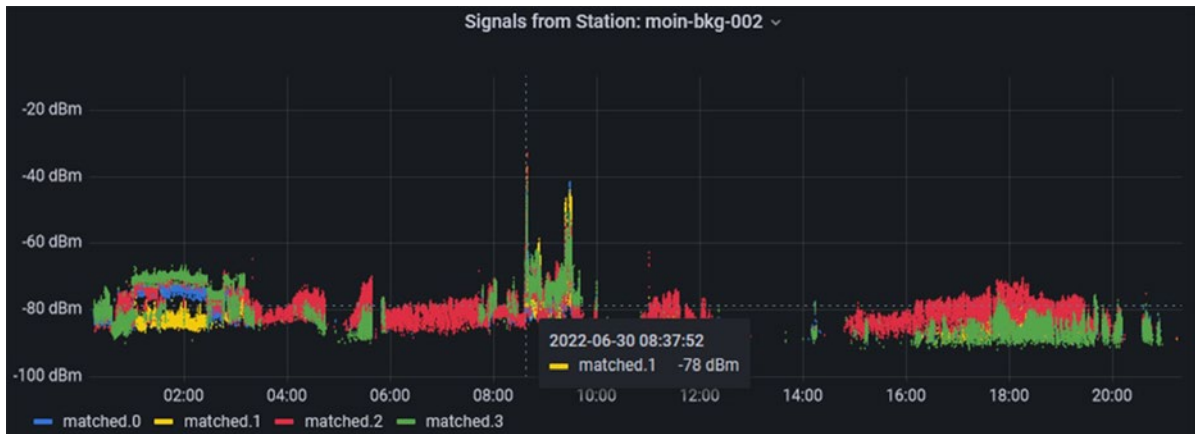


Abb. 7: Aufzeichnung des ersten Fluges eines besenderten Austernfischerküken durch eine Antennenstation am 30. Juni 2022 um 08:37:52 Uhr. Der hohe Ausschlag zeigt den Flug an. Spätere Lücken in der Aufzeichnung zwischen etwa 12:00 und 15:00 Uhr zeigen, dass sich das Küken aus dem Empfangsbereich der entsprechenden Station entfernt hatte. Danach war es wieder im Empfangsbereich der Station, hielt sich aber nur auf dem Boden auf. Die verschiedenen Farben der Signale zeigen den Empfang der einzelnen Antennen einer Station an. Die starken roten Signale der nach Süd ausgerichteten Antenne und die starken grünen Signale der nach West ausgerichteten Antenne am Ende der Aufzeichnungsperiode zeigen an, dass sich der Vogel südwestlich der tRackIT-Station aufhielt. – *Record of the first flight of a tagged Oystercatcher chick by a tRackIT station on 30 June 2022 at 08:37:52. The high deflection indicates the flight. Later gaps in the recording between about 12:00 and 15:00 indicate that the chick had moved out of the reception range of the corresponding station. Afterwards, it was back in the receiving range of the station, but stayed on the ground. The different colours of the signals indicate the reception of the individual antennas of a station. The strong red signals from the south-facing antenna and the strong green signals from the west-facing antenna at the end of the recording period indicate that the bird was southwest of the tRackIT station.*

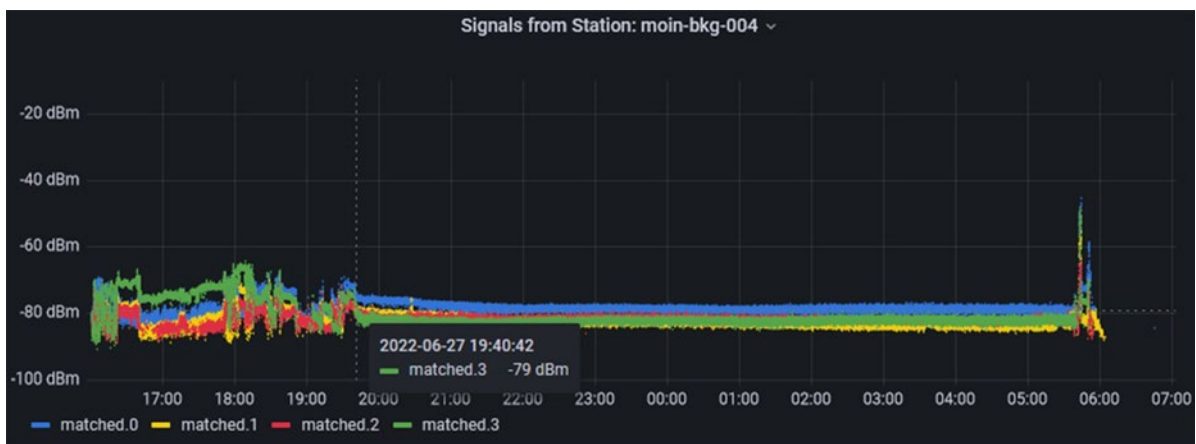


Abb. 8: Todeszeitpunkt eines besenderten Austernfischerküken am 27. Juni 2022 gegen 19:40 Uhr. Die relativ geraden Linien, d. h. die konstanten Signale ab ca. 19:40 Uhr zeigen, dass sich das Küken nicht mehr bewegte. Der Ausschlag am nächsten Morgen gegen 5:40 Uhr war auf das Anheben des toten Küken durch den Finder zurückzuführen. – *Time of death of a tagged Oystercatcher chick on 27 June 2022 at about 19:40. The relatively straight lines, i.e., the constant signals from about 19:40 onward, indicate that the chick was no longer moving. The deflection the next morning around 5:40 was due to the finder lifting the dead chick.*

fangsbereich der Antennen, um 11:20 Uhr kamen nur noch zwei zurück). Der frühe Verlust dieser Küken lässt auf den Verlust durch einen Prädator und nicht auf einen Senderausfall schließen. Sicher einem Prädator zum Opfer fiel ein Küken, dessen Reste sich im Gelände fanden. Die Fundumstände, über mehrere Quadratmeter verteilte Kükenreste (Abb. 9), deuteten auf einen

Marderartigen als Prädator hin, dem das Küken gegen 05:24 Uhr (Abb. 10, 11) im Alter von 23 Tagen zum Opfer fiel.

Zur Schätzung der Überlebenswahrscheinlichkeiten mit dem Programm MARK wurden acht Küken berücksichtigt, inklusive des Küken, dessen Sender wahrscheinlich ausgefallen war (siehe oben). Drei der vier

Tab. 2: Modelle zur Schätzung der täglichen Überlebenswahrscheinlichkeit Φ von im Beltringharder Koog 2022 besenderten Austernfischerküken. Φ wurde modelliert in Abhängigkeit vom Tag der Saison (t), einem stetigen zeitlichen Trend (T), dem Alter der Küken (Alter) und als konstanter Wert über die gesamte Saison (\cdot). Dargestellt sind das Akaike-Informationskriterium (AICC), Δ AICC, das AICC-Gewicht und die Anzahl geschätzter Parameter (N Parameter) für jedes Modell. – *Models estimating the daily survival probability Φ of oystercatcher chicks tagged at Beltringharder Koog in 2022. Φ was modeled as a function of the day of the season (t), a continuous temporal trend (T), the age of the chicks (age), and as a constant value throughout the season (\cdot). Shown are the Akaike information criterion (AICC), Δ AICC, AICC-weight, and the number of estimated parameters (N parameters) for each model.*

Modell <i>Model</i>	AICC	Δ AICC	AICC-Gewicht <i>AICC-Weight</i>	N Parameter <i>N parameters</i>
Φ (Alter)	53,31	0	0,54	2
Φ (T)	54,95	1,64	0,24	2
Φ (\cdot)	55,10	1,79	0,22	1
Φ (t)	150,63	97,32	<0,01	46



Abb. 9: Reste eines Austernfischerkükens, das am Morgen des 6. Juli gefunden wurde und das wahrscheinlich einem Marderartigen zum Opfer fiel. – *Remains of an Oystercatcher chick found on the morning of July 6, which presumably fell victim to a mustelid.*
Foto: V. Salewski.

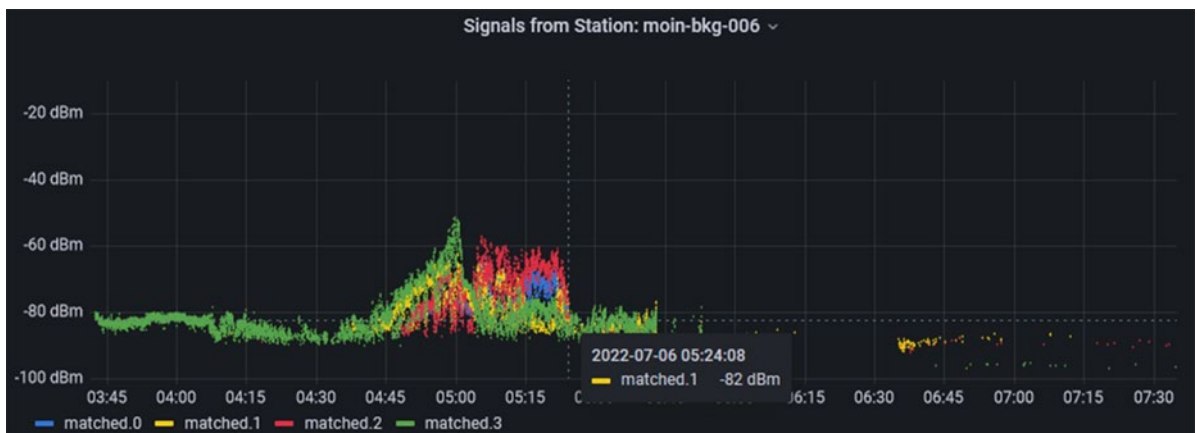


Abb. 10: Todeszeitpunkt des Kükens von Abb. 9. Nach einer ruhigen Nacht fing das Küken gegen 4:45 Uhr an aktiv zu werden. Es wanderte aus Bereichen westlich (grüne Signale) der tRackIT-Station in Bereiche südlich (rote Signale) der tRackIT-Station. Die gegen 5:24 Uhr abrupt schwächer werdenden Signale zeigen an, dass es zu diesem Zeitpunkt geschlagen wurde. Die anschließenden schwächeren Signale deuten auf ein längeres Behandeln des Kükens westlich (grüne Signale) der tRackIT-Station durch den Prädator hin. Anschließend war der tief im Gras am Boden liegende Sender von den Antennen kaum noch zu erfassen. – *Time of death of the chick from Fig. 9. After a quiet night, the chick started to become active around 4:45. It moved from areas west (green signals) of the tRackIT-Station to areas south (red signals) of the tRackIT-Station. The abruptly weakening signals around 5:24 indicate that it was killed at this time. The subsequent weaker signals indicate prolonged handling of the chick to the west (green signals) of the tRackIT-Station by the predator. Subsequently, the transmitter lying low in the grass was barely detectable by the antennas.*

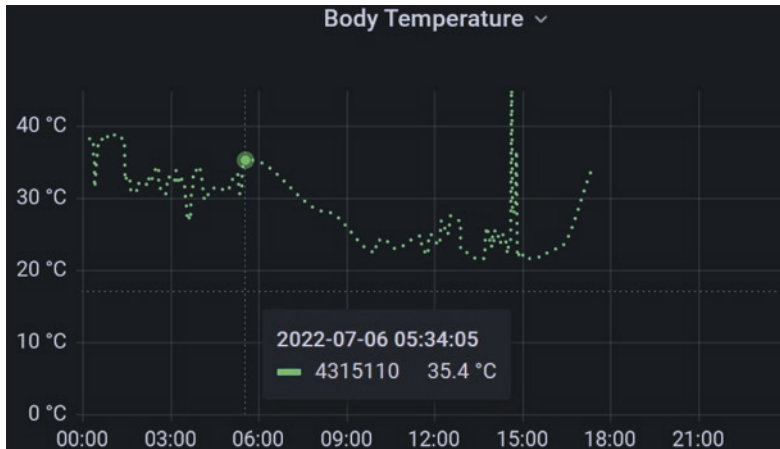


Abb. 11: Temperaturkurve des Kükens von Abb.9 und 10 am gleichen Morgen. In der Nacht schwankte die Temperatur des Senders weitgehend zwischen 30 °C und 40 °C. Der kontinuierliche Abfall der Sendertemperatur ab etwa 5:30 Uhr bis auf unter 23 °C gegen 10:00 Uhr zeigt den ungefähren Zeitpunkt an, an dem das Küken geschlagen wurde. – *Temperature curve of the chick of Fig. 9 and 10 on the same morning. During the night, the temperature of the transmitter fluctuated between 30 °C and 40 °C. The continuous drop in transmitter temperature from about 5:30 to below 23 °C around 10:00 indicates the approximate time when the chick was killed.*

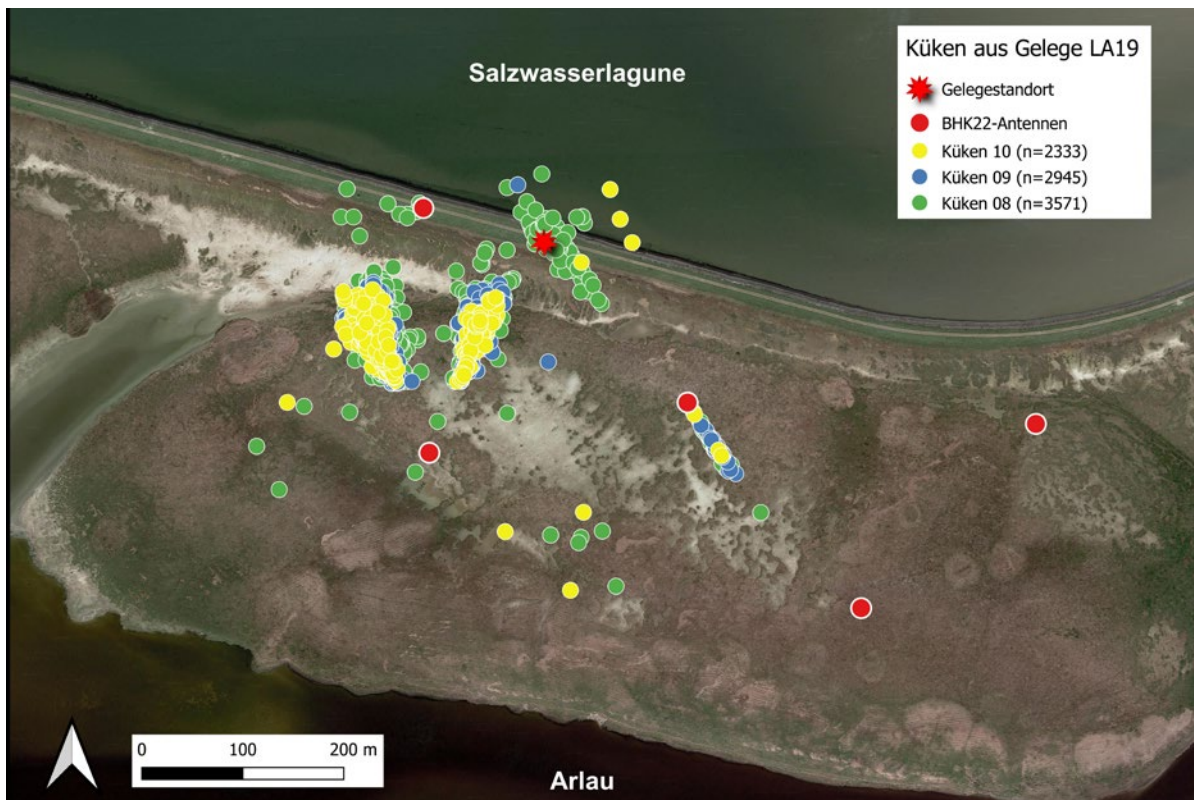


Abb. 12: Ortungen der drei Austernfischerküken (Küken 08, 09, 10) aus dem Nest LA19 zwischen dem 14. Juni und dem 12. Juli 2023. Kartenquelle: Google Earth. Maßstab: 1:7 000. KBS: EPSG 32632, WGS 84/UTM Zone 32N. – *Localizations of three Oystercatcher chicks (chicks 08, 09, 10) from nest LA19 between 14 June and 12 July 2023. Map source: Google Earth. Scale: 1:7,000. KBS: EPSG 32632, WGS 84/UTM Zone 32N.*

Modelle wurden in etwa gleich gut durch die Daten gestützt (Tab. 2). Demnach nahm Φ mit dem Alter der Küken (Modell $\Phi(\text{Alter})$) und vom ersten Tag der Untersuchung (30. Mai, Tag der ersten Besenderung) bis zum letzten Tag der Saison (15. Juli, letztes besendertes Küken ist 32 Tage alt) kontinuierlich ab (Modell $\Phi(T)$). Nach dem Modell, das von einer konstanten täglichen Überlebenswahrscheinlichkeit über die gesamte Saison ausging ($\Phi(\cdot)$) betrug Φ $0,968 \pm 0,013$. Dies stellt eine

Annäherung an den Durchschnitt über alle Altersklassen und die Saison dar und entsprach einer Wahrscheinlichkeit von $35,3\% \pm 15,4\%$, dass ein geschlüpftes Küken auch flügge wurde.

3.2 Ortungen der Austernfischerküken

Von den aus drei Gelegen stammenden besenderten Küken liegen Ortungen in höherer Anzahl nur von den Küken des zuletzt berücksichtigten Geleges vor (Tab. 1).



Abb. 13: Vier gerade geschlüpfte Austernfischerküken vor dem Anbringen der VHF-Sender. Beltringharder Koog, 24.05.2023. – *Four just-hatched oystercatcher chicks before attaching the VHF transmitters. Beltringharder Koog, 24.05.2023.* Foto: V. Salewski



Abb. 14: Zwei besenderte Austernfischerküken im Alter von 19 Tagen, nachdem sie erneut vermessen und die Sender nachgeklebt wurden. Beltringharder Koog 15.06.2023. – *Two tagged oystercatcher chicks at the age of 19 days after they were measured again and the transmitters were re-glued. Beltringharder Koog 15.06.2023.* Foto: V. Salewski

Bei den restlichen sieben Küken aus zwei Gelegen ist dies nicht der Fall, so dass über ihre Raumnutzung keine Aussagen gemacht werden können.

Von den drei Küken (Kükennummer 08, 09 und 10), die am 13. Juni aus dem Gelege LA19 schlüpften, liegen ab dem 14. Juni Ortungen vor. Bis zum Ausfall des Senders bei Küken 08 und dem Tode der Küken 09 und 10 konnten 3.571 (30 Tage Senderlaufzeit), 2.945 (18 Tage Senderlaufzeit) und 2.333 (23 Tage Senderlaufzeit) Ortungen vorgenommen werden (Tab. 1, Abb. 12). Diese verteilten sich im Wesentlichen auf drei Cluster unmittelbar in Nestnähe oder etwas südwestlich davon. Die drei Geschwister hielten sich dabei meist zusammen auf einem relativ engen Raum auf und entfernten sich wahrscheinlich nicht weiter als 230 m vom Nest. Bei weiter entfernten Punkten handelt es sich wahrscheinlich um fehlerhafte Ortungen, die bei der hohen Gesamtzahl von Ortungen allerdings kaum ins Gewicht fallen.

4 Diskussion

Das hier vorgestellte System zur automatisierten Erfassung von Signalen von Radiosendern ist robust im Feld und hat, wenn davon abgesehen wird, dass einzelne Antennenstation gelegentlich ab- und wieder angeschaltet werden mussten (drei Stationen je einmal, eine Station allerdings viermal nach fünf Wochen im Abstand von zwei bis fünf Tagen, eine Station mit zweimaligem Ausfall eines sdr-Sticks, was ebenfalls durch Ziehen des Sticks mit erneutem Einstecken behoben werden konnte), während der gesamten Brut-saison (ca. sechs Wochen) verlässlich Daten geliefert. Damit hat sich das System unter erschwerten Bedin-

gungen wie Stürmen und salzhaltiger Luft zur Untersuchung der vorliegenden Fragestellung als verlässlich erwiesen.

Anhand der Daten konnten wir die tägliche Überlebenswahrscheinlichkeit der besenderten Küken schätzen. Dabei ist eine hohe Präzision zu erwarten, da sowohl der Todeszeitpunkt als auch das Flüggewerden tagesgenau ermittelt werden können. Die Ermittlung dieser Datengenauigkeit mit einer herkömmlichen Handantenne wäre nur unter großem personellem Zeitaufwand möglich gewesen. Allerdings konnte für die Schätzung nur auf die Daten von acht Küken zurückgegriffen werden. Dies lag zum einen daran, dass in der Pilotphase nur zehn Sender zur Verfügung standen. Daher sind die Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren. Zum anderen fielen von diesen Sendern zwei vorzeitig von den Küken ab. In den Folgejahren werden jeweils 30 Sender pro Saison zur Verfügung stehen und das vorzeitige Abfallen von Sendern kann durch ein etwas früheres Nachkleben der Sender verhindert werden. Dadurch wird ein noch präziseres Schätzen der Überlebenswahrscheinlichkeiten und damit des Bruterfolgs möglich sein.

Die Wahrscheinlichkeit eines geschlüpften Austernfischerküken, auch flügge zu werden betrug etwa 35 %. Auch hier ist wiederum zu bedenken, dass der dieser Schätzung zugrundeliegende Datensatz sehr klein war, was zu einer relativ hohen Varianz der Schätzung führte. Zum Vergleich: In den Niederlanden betrug die Überlebenswahrscheinlichkeit von Küken des Austernfischers landesweit zwischen 2000 und 2021 etwa 10 % (Frauendorf 2022). Insgesamt war der Bruterfolg des Austernfischers (28 flügge Küken von 35 Paaren, Cimiotti et al.

2022) im Untersuchungsgebiet hoch, was wahrscheinlich auf das Prädationsmanagement durch einen Berufsjäger zurückzuführen war.

Ein nicht unbedeutender Anteil der Küken (drei von acht) verstarb erst kurz vor dem Flüggewerden an einer Krankheit. Darauf ist wahrscheinlich auch zurückzuführen, dass im Gegensatz zu anderen Studien (Ens et al. 1992; Kersten & Brenninkmeijer 1995) Φ mit zunehmendem Alter der Küken nicht zu- sondern abnahm. Im Sommer 2022 grassierte die Vogelgrippe unter Baßtölpeln *Morus bassanus*, Skaas *Stercorarius skua*, Möwen und Seeschwalben im Bereich der Nordsee und des Nordatlantiks (Camphuysen et al. 2022; Engel et al. 2022; Pohlmann et al. in press). Diese konnte zumindest bei einem Küken, das daraufhin untersucht wurde, nicht nachgewiesen werden. Allerdings wurden auch auf der in der Nähe des Beltringharder Koogs gelegenen Hamburger Hallig zum gleichen Zeitraum wie im Beltringharder Koog einige tote und unter Krämpfen sterbende fast flügge Austernfischerküken gefunden (R. Rehm, pers. Mitt.). Möglicherweise hat 2022 eine nicht näher zu identifizierende Krankheit zu einer erhöhten Sterblichkeit unter Austernfischerküken geführt.

Der Todeszeitpunkt der Prädatoren zum Opfer gefallenen Küken ließ sich in zwei Fällen genau bestimmen und in einem weiteren Fall auf wenige Stunden am Vormittag einschränken. Bei dem Küken, das in den Nachtstunden verloren ging, ist sehr wahrscheinlich ein Säugetier für den Verlust verantwortlich, während bei dem Verlust am Vormittag eher ein Vogel als Prädatoren in Frage kommt. Das Vogel- und Säugetierprädatoren nicht ausschließlich aus der Tageszeit erschließbar ist, zeigt der Fall des Kükens, das zwar am frühen Morgen aber schon nach Sonnenaufgang einem Marderartigen zum Opfer fiel. Eine größere Anzahl besonderer Küken wird auch hier in den nächsten Jahren durch den Zeitpunkt der Prädation, das Signalmuster während der Prädation und das Auffinden prädierteter Küken erlauben, das Prädatorenspektrum einzugrenzen. Dies ist nur durch eine permanente Überwachung der Küken möglich (siehe auch Mason et al. 2018).

Nur bei einem Küken konnte der Zeitpunkt des ersten Fluges festgestellt werden. Dies war im Alter von 32 Tagen der Fall und entspricht damit früheren Angaben von von Frisch (1959, 31–32 Tage) und Khil (2013, der jüngste flugfähige Vogel flog mit 31 Tagen unsicher). In den Niederlanden wurde das Alter, mit dem die Küken flügge werden, mit 30 Tagen angegeben (van de Pol et al. 2006b). Allerdings ist nach Kersten & Brenninkmeijer (1995) das Alter des Flüggewerdens von der Wachstumsrate und damit von der Nahrungsverfügbarkeit abhängig. Das Alter des Flüggewerdens variierte demnach auf Schiermonnikoog zwischen 27 und 52 Tagen. Ens et al. (1992) geben zwar kein Alter an, an dem Küken flügge wurden, sie konnten aber ebenfalls zeigen, dass Küken, die in „schlechtem“ Habitat aufwachsen (entfernt vom Nahrungshabitat; Eltern müssen

in dieses fliegen, um Nahrung für die Küken zu suchen und es diesen zu bringen), eine geringere Wachstumsrate zeigten und vier Tage später flügge wurden als Küken, die in „gutem“ Habitat aufwachsen (Brut- und Kükenhabitat an die Nahrungshabitate angrenzend). Weiterhin hatten Austernfischerküken mit einer höheren Wachstumsrate eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit (van de Pol et al. 2006a). In den folgenden Brutsaisons erwarten wir daher mit einem größeren Datensatz weitere Schlüsse auf die Habitatqualität im Beltringharder Koogs anhand von Wachstumsraten ziehen zu können.

Die Aufenthaltsräume ließen sich leider nur bei drei Küken aus einem Gelege bestimmen, bei diesen lagen allerdings eine sehr hohe Anzahl von Ortungen vor. Dabei ist zu bedenken, dass auch ohne Ortungen Aktivitätsmuster erfasst und wichtige Erkenntnisse gewonnen werden können. Beispiel ist das Küken 04, von dem keine Ortungen vorliegen (Tab. 1). Die Aktivitätsmuster dieses Kükens und sein Todeszeitpunkt konnten aber minutengenau erfasst werden (Abb. 8). Um eine Ortung durchzuführen, muss das Signal eines Senders gleichzeitig von mindestens zwei Antennen von jeweils zwei Stationen empfangen werden. Dazu standen die Antennen wahrscheinlich etwas ungünstig. Die westlichste tRackIT-Station (Abb. 1) war die Station, die vom ursprünglichen Standort im Ausläufer eines Prils (siehe oben) auf einen Damm am nördlichen Ende des Untersuchungsgebietes umgestellt wurde. Die erhöhte Position führte wahrscheinlich dazu, dass die Küken aus dem westlichsten Gelege besonders gut geortet werden konnten. In den kommenden Saisons werden wir jeweils jede zweite tRackIT-Station auf diesen Damm stellen. Die dann zu erwartende hohe Anzahl an Ortungen vieler Küken wird es in Zukunft erlauben genaue Daten zu den Aufenthaltsräumen und den damit verbundenen Wachstumsraten und Überlebenswahrscheinlichkeiten zu erhalten. Die geplante höhere Anzahl von besenderten Küken wird robuste Analysen erlauben, die wiederum in Managementmaßnahmen umgesetzt werden können.

Dank

Wir danken D. Engert, L. Kotschi, J. Kulus, C. Ley, J. Münch und L. Schmidt für die Hilfe beim Auf- und Abbau der Stationen. L. Schmidt übernahm zusätzlich die Suche nach den Austernfischergelegen und deren Überwachung bis kurz vor dem Schlupf. Die Untere Naturschutzbehörde des Kreises Nordfriesland genehmigte das Aufstellen der tRackIT-Stationen. Weiterhin wurde das Projekt vom Landesamt für Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Integrierte Station Westküste (T. Otto) und der Arbeitsgemeinschaft Naturschutz im Beltringharder Koog (K. Weinberg) unterstützt. Das Projekt wird gefördert von der Nationalparkverwaltung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer.

5 Zusammenfassung

Die Forschung im Zusammenhang mit Artenschutz steht vor einem Dilemma: Qualitativ hochwertige Daten müssen in einer quantitativ ausreichenden Menge aufgenommen werden, um daraus erfolgreiche Managementmaßnahmen ableiten zu können. Das Aufnehmen dieser Daten kann jedoch auch mit Störungen verbunden sein, die sich zum Beispiel negativ auf den Fortpflanzungserfolg auswirken können. Automatisierte Systeme zur störungsarmen Erhebung von Daten bieten sich als Lösung dieses Dilemmas an. Wir stellen hier ein System zur automatisierten Erfassung von Signalen von VHF-Radiosendern vor, das tRackIT System, und beschreiben seine Anwendung bei der Telemetrie von Austernfischerküken *Haematopus ostralegus* in Schleswig-Holstein. Das tRackIT System besteht aus tRackIT-Stationen als Empfangssystemen von Radiosignalen im Gelände, einem open-source Betriebssystem für die Stationen (tRackIT OS) und dem durch tRackIT Systems bereitgestellten Backend bestehend aus einer Metadatenbank (EcoHub), auf Zeitreihen-datenbanken beruhenden Analyseeinheiten und einer Visualisierungseinheit, in der sowohl die eingehenden Rohdaten der Stationen als auch die Produkte aus den Analyseeinheiten visualisiert werden (Grafana). Im Frühjahr 2022 errichteten wir fünf tRackIT-Stationen im Beltringharder Koog an der Westküste Schleswig-Holsteins, um zwischen Mai und Juli die Signale von zehn besenderten Austernfischerküken automatisiert zu erfassen und um die Eignung des Systems zur Ermittlung von Überlebensraten, Todesursachen und Raumnutzung von Austernfischerküken zu prüfen. Von den zehn besenderten Küken verloren zwei Küken den Sender wahrscheinlich vorzeitig, sechs Küken überlebten die Kükenphase wegen Prädation oder Krankheit nicht und zwei Küken wurden flügellos. Todeszeitpunkt und erster Flug ließen sich zum Teil minutengenau bestimmen. Die mit dem Programm MARK geschätzte Wahrscheinlichkeit eines Kükens flügellos zu werden betrug $35,3\% \pm 15,4\%$. Von sieben Küken konnten nur sehr wenige Ortungen durchgeführt werden, was auf ein ungünstiges räumliches Verhältnis der Küken zu den Antennen zurückgeführt werden könnte. Bei drei weiteren Küken kam es während 18 bis 30 Tagen zu 2.333 bis 3.571 Ortungen. Das tRackIT System hat sich als verlässlich erwiesen. Mehrere Tage anhaltende Stürme hielten die Stationen stand und es kam nur zu wenigen Ausfällen, die jeweils schnell behoben werden konnten. Es ließen sich präzise Daten zum Schicksal der Küken ermitteln und zum Teil eine hohe Anzahl von Ortungen durchführen. In den Folgejahren werden wir das Projekt fortsetzen. Wir erwarten, dass eine höhere Anzahl besendeter Küken und ein nach den Erfahrungen der ersten Saison durchgeführtes Umstellen der tRackIT-Stationen umfangreiche Daten liefern wird, die dazu dienen können, den Bruterfolg und die Populationsdynamik von Austernfischern im Untersuchungsgebiet besser zu verstehen.

6 Literatur

Allen AM, Ens BJ, van de Pol M, van der Jeugd H, Frauendorf M, Oosterbeek K, & Jongejans E 2019: Seasonal survival and migratory connectivity of the Eurasian Oystercatcher revealed by citizen science. *Auk* 136: 1–17.

- Allen AM, Jongejans E, van de Pol M, Ens BJ, Frauendorf M, van der Sluijs M & de Kroon H 2021: The demographic causes of population change vary across four decades in a long-lived shorebird. *Ecology* 103: e3615.
- Andes AK, Shaffer TL, Sherry MH, Hofer CM, Dovichin CM & Ellis-Felege SN 2019: Accuracy of nest fate classification and predator identification from evidence at nests of Least Terns and Piping Plovers. *Ibis* 161: 286–300.
- Bauer HG, Berthold P, Boye P, Knief W, Südbeck P & Witt K 2002: Rote Liste der Brutvögel Deutschlands – 3. Überarbeitete Fassung. *Ber. Vogelschutz* 39: 13–60.
- Béty J & Gauthier G 2001: Effects of nest visits on predator activity and predation rate in a Greater Snow Goose colony. *J. Field Ornithol.* 72: 573–586.
- Bijleveld AI, van Maarseveen F, Denissen B, Dekinga A, Penning E, Ersoy S, Gupte PR, de Monte L, ten Horn J, Bom RA, Toledo S, Nathan R & Beardsworth CE 2022: WATLAS: high-throughput and real-time tracking of many small birds in the Dutch Wadden Sea. *Anim. Biotelemetry* 10: 36.
- BirdLife International 2019: *Haematopus ostralegus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T22693613A15499.
- Camphuysen CJ, Gear SC & Furness RW 2022: Avian influenza leads to mass mortality of adult Great Skuas in Foula in summer 2022. *Scottish Birds* 42: 312–323.
- Cimiotti DS 2022: Ornithologisches Gutachten Nordstrander Bucht / Beltringharder Koog. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Integrierte Station Westküste, Flintbek.
- Cimiotti DV, Backsen S & Klinner-Hötter B 2020: Schutzkonzept Austernfischer in Schleswig-Holstein. Untersuchungen 2020. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein, Kiel.
- Cimiotti DV, Cimiotti DS, Fließbach K & Schmidt L 2022: Wirksamkeit eines festen Prädatorenschutzzauns im Beltringharder Koog – Untersuchungen 2022. Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein, Kiel.
- Cimiotti DV, Hoffmann M, Leyrer J, Klinner-Hötter B & Hötter H 2017: Schutzkonzept Austernfischer in Schleswig-Holstein. Untersuchungen 2017. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein, Kiel.
- Cimiotti DV & Hötter H 2019: Bedeutung Schleswig-Holsteins für globale Brutbestände von Vogelarten. *Corax* 23: 519–523.
- Cimiotti DV & Klinner-Hötter B 2019: Schutzkonzept Austernfischer in Schleswig-Holstein. Untersuchungen 2019. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein, Kiel.
- Cochran WW, Graber RR & Montgomery GG 1967: Migratory flights of *Hylocichla* thrushes in spring: a radiotelemetry study. *Living Bird* 6: 213–225.
- Cox C 1998: Delta method. In: Armitage P & Colton T (Hrsg) *Encyclopedia of Biostatistics* Vol. 2: 1125–1127. Wiley, New York.
- Dinsmore SJ & Dinsmore JJ 2007: Modeling avian nest survival in program MARK. *Studies Avian Biol.* 34: 73–83.
- Engel E, Strassner V & Packmor F 2022: Ausbruch der aviären Influenza auf Minsener Oog in der Brutzeit 2022. *Natur- und Umweltschutz* 21: 29–35.

- Ens BJ, Brenninkmeijer A, Kersten M & Hulscher JB 1992: Territory quality, parental effort and reproductive success of Oystercatcher (*Haematopus ostralegus*). *J. Anim. Ecol.* 61: 703–715.
- Fraundorfer M 2022: Causes of spatiotemporal variation in reproductive performance of Eurasian oystercatchers in a human-dominated landscape. NIOO Thesis 194. PhD Thesis. Radboud University, Nijmegen.
- Gedeon K, Grüneberg C, Mitschke A, Sudfeldt C, Eikhorst W, Fischer S, Flade M, Frick S, Geiersberger I, Koop B, Kramer M, Krüger T, Rother N, Ryslavy T, Stübing S, Sudmann SR, Steffens R, Vökler F & Witt K 2014: Atlas Deutscher Brutvogelarten. Stiftung Vogelmonitoring Deutschland und Dachverband Deutscher Avifaunisten, Münster.
- Gnep B, Gagelmann J, Breckling S & Sohler J 2021: Prädationsmonitoring auf den Halligen im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Vorabbericht für das erste Projektjahr 2021. Schutzstation Wattenmeer, Husum.
- Götmark F 1992: The effect of investigator disturbance on nesting birds. *Current Ornithol.* 9: 63–104.
- Gottwald J, Zeidler R, Friess N, Ludwig M, Reudenbach C & Nauss T 2019: Introduction of an automatic and open-source radio-tracking system for small animals. *Methods Ecol. Evol.* 10: 2163–2172.
- Gottwald J, Lampe P, Höchst J, Friess N, Maier J, Leister L, Neumann B, Richter T, Freisleben B & Nauss T 2021: BatRack: An Open-source Multi-sensor Device for Wildlife Research. *Methods Ecol. Evol.* 12: 1867–1874.
- Gottwald J, Royauté R, Becker M, Geitz T, Höchst J, Lampe P, Leister L, Lindner K, Maier J, Rösner S, Schabo DG, Freisleben B, Brandl R, Müller T, Farwig N & Nauss T 2022: Classifying the Activity States of Small Vertebrates Using Automated VHF Telemetry. *Methods Ecol Evol* 14: 252–264.
- Gysel LW & Davis EM 1956: A simple automatic photographic unit for wildlife research. *J. Wildlife Management* 20: 451–453.
- Hälterlein B 2018: Brutvögel im Wattenmeer. In: Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein (HRSG) Jahresbericht 2018 zur biologischen Vielfalt: 16–20. Kiel
- Höchst J, Gottwald J, Lampe P, Zobel J, Nauss T, Steinmetz R & Freisleben B 2021: tRackIT OS: Open-source Software for Reliable VHF Wildlife Tracking. In 51. Jahrestagung Der Gesellschaft Für Informatik, Digitale Kulturen, INFORMATIK 2021, Berlin, Germany. LNI. GI.
- Hötker H, Jeromin H & Melter J 2007: Entwicklung der Brutbestände der Wiesen-Limikolen in Deutschland - Ergebnisse eines neuen Ansatzes im Monitoring mittelhäufiger Brutvogelarten. *Vogelwelt* 128: 49–65.
- Hötker H, Schrader S, Schwemmer P, Oberdiek N & Blew J 2010: Status, threats and conservation of birds in the German Wadden Sea. Technical Report. NABU, Berlin.
- Ibáñez-Álamo JD, Sanllorente O & Soler M 2012: The impact of researcher disturbance on nest predation rates: a meta-analysis. *Ibis* 154: 5–14.
- Kenward RE 2001: A manual for wildlife radio tagging. Academic Press, London.
- Kersten M & Brenninkmeijer A 1995: Growth, fledging success and post-fledging survival of juvenile Oystercatchers *Haematopus ostralegus*. *Ibis* 137: 396–404.
- Khil L 2013: Aussehen, Gefiederentwicklung und morphometrische Maße von Küken des Austernfischers *Haematopus ostralegus* vom Schlüpfen bis zum Flüggewerden. *Vogelwarte* 51: 47–54.
- Kiebusch J, Hälterlein B & Koop B 2021: Die Brutvögel Schleswig-Holsteins. Rote Liste, Band 1. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Flintbek.
- Klinner-Hötker B, Petersen-Andresen W & Hötker H 2021: Die Brutvögel des Beltringharder Kooges. *Corax* 24 (Sonderheft 1): 15–174
- Knief W, Berndt RK, Hälterlein B, Jeromin K, Kiebusch JJ, & Koop B 2010: Die Brutvögel Schleswig-Holsteins. Rote Liste. 5. Fassung. Schriftenreihe des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein 20: 1–118.
- Koffijberg K, Bregnballe T, Frikke J, Gnep B, Hälterlein B, Hansen MB, Körber P, Reichert G, Umland J & van der Meij T 2020: Breeding Birds in the Wadden Sea: Trends 1991–2017 and results of total counts in 2006 and 2012. - Wadden Sea Ecosystem No. 40. Common Wadden Sea Secretariat, Joint Monitoring Group of Breeding Birds in the Wadden Sea, Wilhelmshaven.
- Length RV 1981: On Finding the Source of a Signal. *Technometrics* 23: 149–154.
- Major RE 1990: The effect of human observers on the intensity of nest predation. *Ibis* 132: 608–612.
- Mason LR, Smart J & Drewitt AL 2018: Tracking day and night provides insights into the relative importance of different wader chick predators. *Ibis* 160: 71–88.
- Mayfield HF 1975: Suggestions for calculating nest success. *Wilson Bull.* 87: 456–466.
- Montgomery RA, Roloff GJ, Ver Hoef JM & Millspaugh JJ 2010: Can we accurately characterize wildlife resource use when telemetry data are imprecise? *J. Wildlife Management* 74: 1917–1925.
- Pohlmann A, Stejskal O, King J, Bouwhuis S, Packmor F, Ballstädt E, Hälterlein B, Hennig V, Stacker L, Graaf A, Hennig C, Günther A, Liang Y, Hjulsgager C, Beer M & Harder T 2023. Mass mortality among colony-breeding seabirds in the German Wadden Sea in 2022 due to at least two regionally circulating, distinct genotypes of HPAIV H5N1 clade 2.3.4.4b. *J. General Virol.*: in press.
- Roodbergen M, van der Werf B & Hötker H 2012: Revealing the contribution of reproduction and survival to the Europe-wide decline in meadow birds: review and meta-analysis. *J. Ornithol.* 153: 53–74.
- Royama T 1959: A device of an auto-cinematic food-recorder. *Japanese J. Ornithol.* 15: 172–176.
- Ryslavy T, Bauer HG, Gerlach B, Hüppop O, Stahmer J, Südbek P & Sudfeldt C 2020: Rote Liste der Brutvögel Deutschlands, 6. Fassung. *Ber. Vogelschutz* 57: 13–112.
- Salewski V, Evers A & Schmidt L 2019: Wildkameras ermitteln den Schlupferfolg von Gelegen der Uferschnepfe (*Limosa limosa*). *Natur und Landschaft* 94: 59–65.
- Salewski V & Granke O 2020: Ein Geflügelzaun zum Schutz von Uferschnepfengelegen *Limosa limosa* – erste Erfahrungen aus einem Pilotprojekt. *Ornithol. Rundbr. Mecklenbg.-Vorpomm.* 49 (Sonderheft 1): 125–135.
- Segan DB, Bottrill MC, Baxter PW & Possingham HP 2011: Using conservation evidence to guide management. *Conserv. Biol.* 25: 200–202.

- Sutherland WJ, Pullin AS, Dolman PM & Knight TM 2004: The need for evidence-based conservation. *Trends Ecol. Evol.* 19: 305–308.
- Taylor PD, Crewe TL, Mackenzie SA, Lepage D, Aubry Y, Crysler Z, Finney G, Francis CM, Guglielmo CG, Hamilton DJ, Holberton RL, Loring PH, Mitchell GW, Norris DR, Paquet J, Ronconi RA, Smetzer JR, Smith PA, Welch LJ & Woodworth BK 2017: The Motus Wildlife Tracking System: a collaborative research network to enhance the understanding of wildlife movement. *Avian Conserv. Ecol.* 12: Artikel 8.
- Teunissen W, Schekkerman H & Willems F 2006: Predation on meadowbirds in The Netherlands – results of a four-year study. *Osnabrücker Naturwiss. Mitt.* 32: 137–143.
- Thorup O & Koffijberg K 2016: Breeding success in the Wadden Sea 2009 - 2012. A review. *Ecosystem No. 36*. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven.
- van de Pol M, Atkinson P, Blew J, Crowe O, Delany S, Duriez O, Ens BJ, Hälterlein B, Hötker H, Laursen K, Oosterbeek K, Petersen A, Thorup O, Tjørve K, Triplet P & Yésou P 2014: A global assessment of the conservation status of the nominate subspecies of Eurasian Oystercatcher *Haematopus ostralegus ostralegus*. *Internat. Wader Studies* 20: 47–61.
- van de Pol M, Bakker T, Saaltink D-J & Verhulst S 2006a: Rearing conditions determine offspring survival independent of egg quality: a cross-foster experiment with Oystercatchers *Haematopus ostralegus*. *Ibis* 148: 203–210.
- van de Pol M, Bruinzeel LW, Heg D, van der Jeugd HP & Verhulst S 2006b: A silver spoon for a golden future: long-term effects of natal origin on fitness prospects of Oystercatchers. *J. Anim. Ecol.* 75: 616–626.
- van de Pol M, Pen I, Heg D & Weissing FJ 2007: Variation in habitat choice and delayed reproduction: adaptive queuing strategies or individual quality differences? *Am. Nat.* 170: 530–541.
- van de Pol M, Vindenes Y, Sæther BE, Engen S, Ens BJ, Oosterbeek K & Tinbergen JM 2010: Effects of climate change and variability on population dynamics in a long-lived shorebird. *Ecology* 91: 1192–1204.
- von Frisch O 1959: Zur Jugendentwicklung, Brutbiologie und vergleichenden Ethologie der Limicolen. *Z. Tierpsychol.* 16: 545–583.
- Verboven N, Ens BJ & Dechesne S 2001: Effect of investigator disturbance on nest attendance and egg predation in Eurasian Oystercatchers. *Auk* 118: 503–508.
- Voß J & Leyrer J 2020: Bedrohte Brutvogelarten im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer: Was beeinflusst die Bestände auf der Hallig Nordstrandischmoor. *Ornithol. Rundbr. Mecklenbg.-Vorpomm.* 49 (Sonderheft 1): 67–86.
- Willems F, Oosterhuis R, Dijkse LJ, Kats R & Ens B 2005: Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee. SOVON report2005/07. SOVON, Beek-Ubergen.