Mitt. POLLICHIA	100	125 – 132	1 Abb.	Bad Dürkheim 2020

ISSN 0641-9665 (Druckausgabe)
ISSN 2367-3168 (Download-Veröffentlichung)

Yvonne **Dåbakk** und Dieter **Rinne**

Tragen sonnenzyklus-bedingte Änderungen des Erdmagnetfeldes zum Auftreten von Irrgästen bei?

Kurzfassung

Dåbakk, Y. & Rinne, D. (2020): Tragen sonnenzyklusbedingte Änderungen des Erdmagnetfeldes zum Auftreten von Irrgästen bei? — Mitt. POLLICHIA **100**: 125 – 132, Bad Dürkheim.

Zugvögel bedienen sich zur Orientierung verschiedener navigatorischer Hilfsmittel wie: Sonnenstand, Sternenmuster und Erdmagnetfeld. Trotzdem kommt es immer wieder zu Abweichungen von ihren normalen Zugrouten – es treten Irrgäste auf. Verschiedene Ursachen hierfür werden in der Literatur diskutiert, u. a. geologische Erdmagnetfeldanomalien und die normale Fluktuation des geomagnetischen Feldes. In der vorliegenden Arbeit wird die Auswirkung der periodisch auftretenden Sonnenaktivitäten, ausgedrückt durch die Anzahl der Sonnenflecken (Schwabezyklus), und die dazugehörigen Feldfluktuation (aa-Index) diskutiert.

Dazu wurde das Auftreten von 2.950 Singvögeln (Passeriformes), die von 1827 bis 2015 als Irrgäste auf Helgoland beobachtet wurden und die aus den östlichen Taiga- und Steppengebieten stammen, untersucht. Es wurde die Verteilung des Auftretens einzelner Arten, aber auch von Herkunftskollektiven, bei hohen bzw. niedrigen Sonnenfleckenzahlen sowie aa-Indices mit dem Chi^2-Test auf signifikante Unterschiede berechnet.

In Jahren um die Zyklen-Maxima konnte bei der Mehrzahl der untersuchten Fälle eine signifikant höhere Anzahl von Irrgastereignissen nachgewiesen werden als in denjenigen um die Zyklen-Minima. Das lässt den Schluss zu, dass bei Vögeln – ähnlich wie bei anderen wandernden Tieren – das Navigationshilfsmittel Erdmagnetfeld durch die Sonnenaktivität gestört wird und es zu Missweisungen kommt.

Abstract

Dåbakk, Y. & Rinne, D. (2020): Do solar-cycle induced changes in the earth's magnetic field contribute to the occurrence of vagrants? — Mitt. POLLICHIA **100**: 125 – 132, Bad Dürkheim.

Migrating birds use the sun, the stars, and the earth magnetic field for their orientation. Sometimes deviations of some individuals from the normal route are observed – so called vagrants. Various reasons are discussed in literature, e. g. geological anomalies and fluctuations of the earth magnetic field. In this paper the effect of periodical solar activity, expressed in numbers of sun-spots (Schwabecycle) and the corresponding field fluctuation (aa-index) is discussed.

The vagrant occurrence of 2.950 Passeriformes from 1827 till 2015 on the Isle of Helgoland (Germany), originated from eastern Taiga- and Steppe-regions, is investigated. The distribution of vagrants of distinct species, but also of all birds of the same origin, is calculated between high and low sun-spot numbers and aa-indices using the Chi^2-test.

In years round the maxima of cycles the number of vagrants is significantly higher than in those round the minima for most of the investigated cases. This allows the theory the bird´s magnetic field based navigation system – like other migrating animals – is disturbed by the influence of sun activity and the resulting fluctuation of the magnetic field. This leads to vagrancy.

1 Einleitung

Seit Beginn der systematischen Vogelzugforschung Ende des 19./Anfang des 20. Jahrhunderts (Thienemann 1931) wurde das Phänomen des Vogelzuges mehr und mehr verstanden. Für Mittel- und Langstreckenzieher (zu Definitionen zum Vogelzug s. Berthold [2012], Bairlein et al. [2014]) gelten in Mitteleuropa allgemein Zugwege von NE nach SW, N nach S und in einigen Fällen Züge in SE-Richtung. Nordasiatische und sibirische Populationen ziehen ebenfalls nach SW, SE oder S. Für die meisten nord-

amerikanischen Arten sind Wanderwege nach S bekannt; einige Arten ziehen nach SW, aber auch SE (s. dazu auch Berthold [2012], Elphick [2008)].

Zur Orientierung über lange Strecken nutzen Vögel hauptsächlich die Sonne, das Sternenmuster und das Erdmagnetfeld. Dies ist durch eine Vielzahl von Experimenten belegt (Newton 2008). Die dazugehörigen physiologischen Grundlagen sind ebenfalls bekannt, wenngleich auch das Organ bzw. der Mechanismus zur Erkennung z. B. der Magnetfeldrichtung und –stärke unbekannt und dessen Sitz im Tier unklar ist (Lefeldt et al. 2013, Wiltschko et al. 1999, King 2013, Ball 2014, Gauger et al. 2011).

Trotz der ausgezeichneten Orientierung kommt es aber immer wieder zu mehr oder minder starken Abweichungen von den Hauptzugwegen (Verdriftungen); diese verdrifteten Vögel werden dann am Ort ihrer Beobachtung als Irrgäste bezeichnet.

Für diese Fehlorientierung werden nach Berthold (2010) und Newton (2008) verschiedene Ursachen diskutiert:

1. Das Wetter, besonders der Wind, aber auch schlechte Sicht, wird als Haupteinflussgröße angesehen.
2. Defekter Kompass (s. auch De Sante [1983]).
3. Magnetfeldanomalien (s. auch Alerstam [1991]) und normale Magnetfeldfluktuation (K-Effekt, wobei K ein Maß für die Fluktuation ist) (s. auch Keeton [1974] und Kowalski et al. [1988]).

Erdmagnetfeldorientierung gibt es auch in anderen Tierklassen. So ist z. B. das Stranden von Pottwalen *(Physeter macrocephalus)* laut Vanselow et al. (2005, 2009) auf Einflüsse der Sonnenaktivität auf das diesen Tieren zur Orientierung dienende Erdmagnetfeld zurückzuführen. Ebenso haben Arbeiten an Lachsen (*Oncorhynchus tshawytscha*) deren Orientierung an einer magnetischen Karte gezeigt (Putman et al. 2014).

In dieser Arbeit soll versucht werden, das Auftreten von Irrgästen als Störung der erdmagnetfeldlinien-basierte Orientierung von Vögeln herauszuarbeiten.

2 Das Erdmagnetfeld als Orientierungssystem

Das Erdmagnetfeld, gemessen an jedem willkürlichen Punkt auf der Erdoberfläche, ist eine Kombination von mehreren einander überlagernden und miteinander interagierenden Magnetfeldern (NOAA Geomagnetic Calculator Questions 2017).

Vom Erdkern nach außen betrachtet schließen diese

- den geomagnetischen Dynamo,
- die Magnetisierung in der Erdkruste,
- die ionosphärische Dynamoschicht, den irdische Ringstrom samt Stromsysteme in der Magnetosphäre und Ionosphäre ein (Encyclopaedia Britannica: Geomagnetic-field 2017).

Das Erdmagnetfeld ändert sich auf allen Zeitskalen. Mehr als 90 % des gemessenen Feldes entsteht aufgrund des flüssigen äußeren Erdkerns und es hat an der Erdoberfläche annähernd die Form eines magnetischen Dipols. Dieses Feld wird oft als Hauptfeld bezeichnet und unterliegt langsamen zeitlichen Variationen, die kein Hindernis bei der Navigation von Tieren darstellen sollten, da die Einstellung darauf größtenteils evolutionär erfolgen kann. Es kann mit Hilfe von auf kontinuierlichen Messungen basierten magnetischen Modellen wie u. A. dem International Geomagnetic Reference Field (IGRF) und World Magnetic Model (WMM) beschrieben werden. Es ist seit langem bekannt, dass die magnetischen Pole wandern. Neue Messungen zeigen, dass der Nordpol sich mit ungefähr 55 km pro Jahr in Richtung Nord-Nordwest bewegt (Noaa: Geomagnetic Poles 2020).

Die Feldstärke aufgrund der Magnetisierung in der oberen Erdkruste beträgt typisch weniger als 1 % des Hauptfeldes.

Das Hauptfeld dominiert über das interplanetarische Magnetfeld in der Region, die als Magnetosphäre bezeichnet wird. Stromsysteme in der Ionosphäre und Magnetosphäre ändern sich auf einer viel kürzeren Zeitskala als das Hauptfeld und können Magnetfelder mit Stärken von bis zu 10 % des Hauptfeldes generieren. Störungen des ionosphärischen Dynamos entstehen sowohl saisonal als auch aufgrund der Sonnenaktivität sowie durch Sonnen- und Mondgezeiten. Der Ringstrom nimmt bei günstigen Sonnenwindverhältnissen an Stärke zu und hängt somit von der Sonnenaktivität und dem Sonnenzyklus ab (Encyclopaedia Britannica: Geomagnetic-field 2017). Als Sonnenaktivität werden zyklisch veränderliche Eigenschaften der Sonne bezeichnet. Diese Aktivität zeigt sich am auffälligsten in wechselnder Häufigkeit der Sonnenflecken. Diese sogenannten Sonnenfleckenzyklen haben eine durchschnittliche Periode von 11,1 Jahren (sogenannte Schwabe-Zyklen).

Das Erdmagnetfeld ermöglicht ein Navigationssystem für Tiere. Ein Zusammenhang von Störungen des Erdmagnetfeldes aufgrund von erhöhter Sonnenaktivität, ausgedrückt in der Anzahl der Sonnenflecken, und der Anzahl von verirrten Pottwalen wurde von Vanselow et al. (2005) berichtet. Folglich müssten auch Zeiten großer Sonnenfleckenanzahl mit dem gehäuften Auftreten von Irrgästen bei Zugvögeln zusammenfallen.

Als Maß für die geomagnetische Aktivität und Störungen des geomagnetischen Feldes gibt es verschiedene geomagnetische Aktivitätsindices, die von Daten weltweit operierender Observatorien bestimmt werden. Der aa-Index, abgeleitet und weiterentwickelt von dem von Bartels et al. (1929) eingeführten K-index, gibt eine quantitative Charakterisierung der magnetischen Aktivität wider (s. Nagovitsyn 2003) und ist ein geeigneter globaler geomagnetischer Aktivitätsindex zur Prüfung der Hypothese, dass Störungen des geomagnetischen Feldes zu gehäuftem Auftreten von Irrgästen beitragen (s. auch Vanselow et al. [2009]).

3 Material

Als Ausgangsmaterial dienten

- Ein Datensatz aus den Jahren 1827 bis 2015 von 2.950 Singvögeln (Passerieformes), die als Irrgäste auf Helgoland auftraten und aus den östlichen Taiga- und Steppengebieten stammen. Diese östlichen Heimatgebiete von Irrgästen wurden gewählt, weil hier die Wahrscheinlichkeit einer Verdriftung durch die auf der Nordhalbkugel vorherrschenden westlichen Winde geringer ist. Diese verifizierten Datensätze stammen von der Ornithologischen Arbeitsgemeinschaft (OAG) Helgoland und wurden uns von Dierschke (2017) überlassen.
- Die jährliche Sonnenfleckenhäufigkeit. Sie wurde vom Noaa Solar Data Service (2017), die Länge der Sonnenzyklen dem meteo.plus Sonnenzyklen-Archiv (2015) übernommen.
- Dir aa-Indices [nT]. Die von Nogovitsyn (2003) über das Jahr 1868 hinaus rückbestimmten Indices wurden als Maß für die Störung des geomagnetischen Feldes verwendet. Aus diesen Daten wurde auch die Summe der aa-Indices/Schwabe-Zyklus berechnet.

4 Methoden

Die Daten der Irrgäste aus östlichen Taiga- und Steppengebieten wurden sortiert nach

- einzelnen Arten, deren Datenmenge für einen statistischen Test ausreicht. Diese waren Grünlaubsänger *(Phylloscopus trocholoides)**, Erddrossel *(Zoothera aurea)**, Gelbbrauen-Laubsänger *(Phylloscopus inornatus)**, Goldhähnchen-Laubsänger *(Phylloscopus proregulus)**, Waldammer *(Emberiza rustica)** und Zwergammer *(Emberiza pusilla)** als Bewohner der der Taiga (auch der europäischen), und Kappenammer *(Emberiza melanocephala)**, Rosenstar *(Sturnus roseus)** und Spornpieper *(Anthus richardi)** als Bewohner der Steppe [*Wissenschaftliche Namen nach Bauer et al. (2005)]
- allen Arten aus der Taiga
- allen Arten aus der Steppe

Die Aufstellungen der letzten beiden Anstriche wurden gewählt, weil sonst Daten von Arten mit kleinen Datensätzen verlorengegangen wären.

Von diesen Datensätzen wurden die Jahressummen der Individuen als unabhängige Grundgesamtheiten berechnet. Sie dienten zur Prüfung,

- ob es eine Korrelation mit der Summe der Sonnenflecken bzw. der Summe aa-Indices/Schwabe-Zyklus gibt,
- ob es einen signifikanten Unterschied der Verteilung der Jahressummen von Irrgastfeststellungen zwischen langen und kurzen Sonnenzyklen (> 11 Jahre und < 11 Jahre) bzw. hohen und niedrigen ∑ aa-Indices/Schwabe-Zyklus zwischen > 200 und < 200 gibt; kurze Sonnenzyklen und hohe aa-Indices-Summen bedeuten hohe Energiedichte,
- ob es einen signifikanten Unterschied der Verteilung der Jahressummen der Irrgastfeststellungen zwischen den Jahren um die Zyklen-Maxima bzw. -Minima gibt.

Wird bei den Tests der letzten beiden Anstriche die Nullhypothese (Jahressummen von Irrgastfeststellungen sind gleichverteilt) abgelehnt, kann die Arbeitshypothese einer Abhängigkeit des Irrgastauftretens von der Sonnenaktivität bei entsprechender Datenlage angenommen werden.

Die Signifikanzprüfung der Verteilungen erfolgte mit dem 4-Felder-Chi²-Test nach Claus et al. (1972). Bei der Durchführung des 4-Felder-Chi²-Tests bieten sich theoretisch zwei Möglichkeiten:

- Test, ob die Jahressumme der Irrgäste/Zyklus in kurzen Zyklen bzw. bei hohen Summen der aa-Indices größer ist. Vorteil ist, dass hohe Ereigniszahlen, die sich besonders durch höhere Beobachterdichte und -qualität in den letzten kurzen Zyklen ergeben könnten, nicht stärker gewichtet werden als andere. Das wird erreicht, wenn man zwischen den beiden Zyklusgruppen nach der Anzahl der Ereignisse > oder ≤ eines Schwellenwertes „n“ unterscheidet. Setzt man „n“ = 1, ist es für die Analyse unerheblich, ob es zwei oder mehrere Ereignisse im Zyklus gab.
- Test, ob die Jahressumme der Irrgäste/Zyklus in kürzeren Zyklen bzw. bei großen Summen der aa-Indices/Schwabezyklus höher ist. Hierbei wird als Schwellenwert „n“ der jeweilige Mittelwert aller in den Zyklen auftretenden Ereignisse angenommen.

Die erste Möglichkeit liefert nicht immer aussagekräftige Ergebnisse, da die Anzahl der Zyklen N = 15 für eine Approximation an die Normalverteilung zu gering ist (s. Clauss et al. 1972: 133, 149 u. 227).

In der zweiten Möglichkeit errechnen sich z.T. hohe Prüfgrößen, die dann eine Wahrscheinlichkeit von $p < 0{,}001$ haben. Ob sie berücksichtigt werden können, muss von Fall zu Fall geprüft werden. Wir haben diese Möglichkeit gewählt.

Als Grenzen für eine Ablehnung der Nullhypothese und damit signifikante Annahme unserer Arbeitshypothese gilt die Prüfgröße von $> 3{,}84$ für $p > 0{,}05$ bei $f = 1$.

5 Ergebnisse

5.1 Korrelationen

Korreliert man die Irrgast-Jahressummen einzelner Arten, aller Individuen eines Herkunftsbereiches (Taiga, Steppe), aber auch aller Irrgäste mit den Jahressummen der Sonnenflecken bzw. der Summe der aa-Indices als Maß für starke Störungen des Erdmagnetfeldes, so erhält man in keinem der Fälle eine eindeutige Abhängigkeit.

Die Gründe hierfür sind in der Möglichkeit der Vögel, im Gegensatz zu anderen wandernden Tieren Fehlleitungen einer Orientierungsmöglichkeit durch eine andere zu kompensieren (s. unter Abschnitt 1), zu sehen.

Witterungsbedingte Überlagerungen, wie sie bei Irrgästen aus westlichen Verbreitungsgebieten auftreten können, sind bei genauer Kenntnis der lokalen Bedingungen zur Zugzeit qualitativ zu identifizieren, bei den Kompensationsmöglichkeiten gib es aber keine Erkennungshinweise.

5.2 Verteilung zwischen langen und kurzen Sonnenzyklen bzw. hohen und niedrigen aa-Indices-Summen

Die Annahme der Arbeitshypothese, dass kurze Sonnenzyklen zur Verdriftung führen, kann nur für Gelbbrauen-Laubsänger und Goldhähnchen-Laubsänger sowie für die Summe der Irrgäste aus der Taiga unter dem (willkürlichen) Weglassen des stark angestiegenen Datensatzes des letzten Zyklus signifikant bestätigt werden (s. Tab. 1).

Diese Maßnahme erschien uns allerdings sinnvoll, da in den letzten Jahrzehnten ein besonders starker Anstieg von Irrgastbeobachtungen zu verzeichnen war. Dieser ist nicht auf eine Zunahm von Irrgästen zurückzuführen, sondern auf intensivere Beobachtungen, bessere optische Ausrüstung und bessere Artenkenntnis der Beobachter. Hierdurch wird ein Anstieg der Irrgastzahlen gegenüber früheren Zeiten vorgetäuscht.

Ebenfalls kann die Arbeitshypothese, dass bei hohen Summen der aa-Indices Verdriftung verstärkt auftreten, für den Goldhähnchen-Laubsänger und den Rosenstar signifikant bestätigt werden.

Bei anderen Grundgesamtheiten liegt entweder Gleichverteilung vor oder die Ablehnung der Nullhypothese würde zu einer Annahme einer Gegenhypothese (mehr Irrgastereignisse treten bei langen Sonnenzyklen bzw. niedrigen Summen der aa-Indices auf und damit einem geringeren Energiefluss) führen. Diese Möglichkeit wurde aufgrund der Datenverteilung geprüft (s. Tab. 1).

In der Tabelle fallen mehrstellige Chi^2-Werte auf. Diese resultieren aus den höheren Differenzen zwischen der beobachteten und der erwarteten Häufigkeiten. Da diese bei der Berechnung durch die z. T. weit auseinander klaffenden Ereignissen oberhalb des Schwellenwertes „n“ (s. Abschnitt 4) dividiert werden, ergeben sich bei großen Differenzen der Werte > n und < n derart große Chi^2-Werte.

5.3 Verteilung zwischen den Jahren um die Zyklen-Maxima bzw. –Minima

In der Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Chi^2-Tests dieser Verteilungsuntersuchung festgehalten. Zusätzlich wurde neben den unter Abschnitt 4 genannten Grundgesamtheiten noch die Verteilung aller Irrgastereignisse untersucht. Bei der Verteilung zwischen Zyklen-Maxima und -Minima wird die Arbeitshypothese, es treten mehr Irrgastereignisse bei den Zyklen-Maxima auf, für alle Irrgäste, für alle Ereignisse aus der Steppe, für die Taigabewohner Grünlaubsänger, Erddrossel, Waldpieper und Zwergammer sowie den Steppenbewohner Spornpieper gestützt. Keine unterschiedliche Verteilung liefert der Test für alle Irrgastereignisse aus der Taiga sowie den von dort kommenden Arten Gelbbrauner Laubsänger, Goldhähnchen-Laubsänger und Waldammer.

Nur für den Rosenstar wird die Arbeitshypothese nicht gestützt. Bei dieser Art gibt es mehr Ereignisse um die Minima.

Diese Verteilung der Irrgastbeobachtungen auf Jahre um die Zyklen-Maxima bzw. –Minima entschärft eine Verfälschung durch den starken Anstieg von Irrgastbeobachtungen in den letzten Jahrzehnten, da sich ja dieser Anstieg gleichermaßen auf Maxima und Minima verteilt. Durch diese legitime Glättung können nicht nur die Daten der letzten Jahre mit verwertet, sondern auch die Verteilung der Beobachtungen den physikalischen Gegebenheiten besser angepasst werden.

6 Diskussion

6.1 Korrelationen

Die Nichtkorrelation zwischen Jahressummen der Irrgastbeobachtungen (einzelne Arten bzw. Taiga- und Steppenbewohner) und den Jahressummen der Sonnenflecken bzw. der Summe der aa-Indices lässt im ersten Moment auf keinen Zusammenhang schließen. Während Keeton et al. (1974) und Kowalski et al. (1988) nur den Einfluss der Fluktuation des Erdmagnetfeldes auf die Orientierung von Tauben beschrieben haben, haben Vanselow et al. (2005, 2009) den bisher einzigen Zusammenhang zwischen Schwabe-Zyklen und fehlgeleiteter Tiermigration durch eine signifikante Korrelation aufgezeigt.

Diese Diskrepanz zwischen den Arbeiten zu Walstrandungen einerseits und fehlgeleiteten Vögeln andererseits kann neben den unter Abschnitt 5.2 angesprochenen statistischen auch folgende Gründe haben:

Wale sind im Gegensatz zu Vögeln weniger Einflüssen, die ihren Orientierungssinn stören können, ausgesetzt. Sie können neben dem Erdmagnetfeld noch Gerüche, Geräusche und die Meeresströmungen nutzen. Meeresströmungen sind über lange Zeiträume konstant; Gerüche und Geräusche können sich durch externe (anthropogene) Einflüsse ändern, allerdings nicht periodisch, aber in sehr kurzen Zeiträumen.

Vögel nutzen neben dem Erdmagnetfeld noch die Sonne und das Sternenmuster als Orientierungshilfe. Diese Größen ändern sich auch nicht in kurzen Zeiträumen. Sich kurzzeitig ändernde menschliche Einflüsse wie z. B. die Lichtverschmutzung spielen zunehmend eine Rolle, allerdings nur für die Orientierung auf kurze Distanzen.

Die weitaus wichtigste Einflussgröße, die allerdings nicht das Orientierungssystem stört, ist in Bezug auf das Erreichen des Zugzieles das Wetter, besonders die Verdriftung durch Wind. Es kann sich kurzfristig ändern und hat so zu jeder Zeit einen Einfluss auf das Zuggeschehen.

Diese durch Witterungseinflüsse hervorgerufenen Verdriftungen können die durch die Sonnenaktivitäten hervorgerufenen Fehlorientierungen überlagern und eine signifikante Korrelation stören.

6.2 Verteilung zwischen langen und kurzen Sonnenzyklen bzw. hohen und niedrigen aa-Indices-Summen

Die Verteilungen (s. Abschnitte 4, 5.2 und Tab. 1) fallen im Ergebnis sehr heterogen aus. Führt man den Chi²-Test mit allen Daten von 1827 bis 2015 durch, ergeben sich für die Summe der Taiga- und Steppenbewohner, aber auch für einzelne Arten signifikante Prüfgrößen gegen die Hypothesen, dass Irrgasterscheinungen gehäuft bei kurzen Sonnenzyklen auftreten. Diese Ergebnisse stehen wieder im Gegensatz zu den Ergebnissen von Vanselow et al. (2005, 2009). Werden bei den Berechnungen die hohen Irrgast-Jahressummen des letzten Sonnenzyklus wegelassen (s. Abschnitt 5.3), wird die Hypothese, bei kürzeren Sonnenzyklen treten mehr Ereignisse auf, für die Summe der Irrgäste aus der Taiga sowie den Einzelarten Gelbbrauen-Laubsänger und Goldhähnchen-Laubsänger angenommen.

Auch die Hypothese, bei höheren aa-Indices-Summen treten mehr Irrgastereignisse auf, gilt für den Goldhähnchen-Laubsänger und den Rosenstar.

Zu den anderen Untersuchungen siehe die Aussagen unter Abschnitt 5.2.

Der Grund für das Auftreten von Gegenhypothesen (mehr Irrgastereignisse treten bei langen Sonnenzyklen bzw. niedrigen Summen der aa-Indices auf) liegt in der Verteilung von langen und kurzen Sonnenzyklen im Untersuchungszeitraum. Obwohl der Mittelwert der Zykluslänge auch hier 11 Jahre beträgt, gibt es 10 kurze und 7 lange Zyklen. Dadurch ist die Summe an Irrgastereignissen in kurzen Zyklen hoher als in langen, zumal es im Untersuchungszeitraum einen „sehr langen“ Kurzzyklus mit vielen Ereignissen gab (1878/79).

Ähnlich verhält es sich mit der Verteilung der Ereignisse zwischen höheren und niedrigeren aa-Indices-Summen.

Auch hier kann eine Verteilung zwischen den Jahren um die Zyklen-Maxima bzw. –Minima eine Korrektur herbeiführen. Ähnliches hatten Vanselow et al. (2005) mit einer Glättung der Schwabe-Zyklen erreicht.

6.3 Verteilung zwischen den Jahren um die Zyklen-Maxima bzw. –Minima

Die Ergebnisse dieser Verteilungen sind in Abschnitt 5.3 beschrieben und in der Tabelle 2 aufgeführt.

Gründe für diese Betrachtungen sind die in Abschnitt 5.2 dargestellte Tatsache der stetig steigernden Beobachtungszahlen seit 1990, das im Abschnitt 6.2 diskutierte Auftreten von Gegenhypothesen (mehr Irrgastereignisse treten bei langen Sonnenzyklen bzw. niedrigen Summen der aa-Indices auf), ihre Folgen und die Möglichkeit der Korrektur.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen unter Abschnitt 6.2 ist die Verteilung zwischen den Zyklen-Maxima und -Minima laut Chi²-Test signifikant unterschiedlich. Das bedeutet die Annahme der Arbeitshypothese (Irrgasterscheinungen treten gehäuft bei großen Sonnenaktivitäten, also bei großer Anzahl von Sonnenflecken auf) für alle Irrgastereignisse, alle Ereignisse der Steppenbewohner, für Grünlaubsänger, Erddrossel, Waldpieper und Zwergammer als Taiga-Bewohner und für die Steppen-Bewohner Kappenammer und Spornpieper.

Interessant ist diese Aussage für den Gelbbrauen-Laubsänger, der schon für eine Art neuen Zugvogel in westliche Richtung angesehen wird („possible reverse-direction autumn migrants“) (Newton [2008]).

Bemerkenswert ist auch, dass neben der Annahme der Arbeitshypothese für die Steppen-Bewohner Kappenammer und Spornpieper ein signifikant verstärktes Auftreten des Rosenstars auf Helgoland in den Zyklen-Minima zu beobachten ist. Es steht auch im Gegensatz zu der Aussage in Abschnitt 6.2, dass bei höheren aa-Indices-Summen mehr Irrgastereignisse dieser Art auftreten.

7 Fazit

Die Aussagen, ob eine erhöhte Sonnenaktivität (beobachtbar durch die Schwabe-Zyklen) zu einem ebenfalls beobachtbaren Anstieg der Irrgäste führt, wird anhand des für diese Untersuchung benutzten Materials je nach statistischer Herangehensweise verschieden beurteilt.

Eine eindeutige Korrelation, wie von Vanselow et al. (2005, 2009) über das Auftreten von Walstrandungen in der Nordsee beschrieben, konnte an keiner der untersuchten Grundgesamtheiten festgestellt werden.

Mögliche andere Einflüsse auf das gesamte Zuggeschehen, die die Störungen der magnetfeldbasierten Orientierung überlagern, sind schon im Abschnitt 6.1 diskutiert worden.

Auch die Verteilung der Anzahl von Irrgästen auf kurze und lange Zyklen bzw. hohe und niedrige aa-Indices-Summen (für hohen und geringen Energiefluss) lässt sich nicht immer signifikant nachweisen (s. Abschnitt 6.2).

Einzig bei den Verteilungen auf die Sonnenzyklen-Maxima und –Minima gibt es signifikante Hinweise, dass die Sonnenaktivität einen Einfluss auf das verstärkte Auftreten von Irrgästen hat (s. Abschnitt 6.3).

Der aus diesen Aussagen zu ziehende Schluss ist, dass ähnlich den Missweisungen bei Walen auch Missweisungen bei Zugvögeln auftreten können (s. auch Keeton et al. [1974] und Kowalski et al. [1988]). Die Meeressäuger könnten allerdings nur noch durch sich ändernde Meeresströmungen (dieses geschieht aber in geologischen Zeiträumen) und ggf. anthropogene Einflüsse („Laut- und Geruchsverschmutzung“) von ihren angestammten Zugrichtungen abkommen. Damit scheint bei ihnen die gestörte magnetfeldbasierte Orientierung der einzige Faktor einer Missweisung zu sein.

Anders bei den Zugvögeln. Hier gibt es als Einflussgrößen auf die Zugrichtung das Wetter (Wind, Bewölkung), Magnetfeldanomalien und anthropogene Einflüsse wie z. B. Lichtverschmutzung.

Hervorzuheben ist, dass die bei Newton (2008) aufgeführten starken Westwinde in den Jahren 1965, 1976, 1982, 1985 und 1995 und die mit antizyklonalem Wetter einhergehenden östlichen Winde 1975, 1982 und 1992 mit Aus-

nahme von 1982 in Sonnenfleckenminima fallen (für die aa-Indices gelten gleichlautende Aussagen). Es konnte in diesen Jahren aber keine höhere Anzahl von Irrgästen bei antizyklonalem Wetter gegenüber denen mit starken Westwinden festgestellt werden. In den jeweils darauf folgenden Maxima war das immer der Fall.

Betrachtet man das Erdmagnetfeld als ursprüngliche Orientierungshilfe (s. Terrill [1991] zitiert in Berthold [2010]), dann fügen sich die hier vorgelegten Ergebnisse gut in die Experimente von Wiltschko und Mauritzen und anderer Autoren (s. Berthold [2010], Newton [2008] und dort zitierte Lit.) für Vögel ein, passen aber auch zu den Befunden in anderen Tierklassen (s. King [2013], Putman et al. [2014]).

Vögel haben neben dem Magnetfeld verschiedene andere Möglichkeiten der Orientierung. Mit diesen könnten sie eine Missweisung auf Grund einer Magnetfeldänderung kompensieren (Berthold [2010], Newton [2008]).

Man kann in diesem Zusammenhang die Frage stellen, ob man die Erddrossel als „possible reverse-direction autumn migrants"; Grünlaubsänger, Zwergammer und Spornpieper als „possible mirrow-image migrants" und Waldpieper als „possible long-distance autumn vagrant from Siberia" (Newton 2008) bezeichnen kann oder sie auf Grund vorliegender Ergebnisse (s. Abschnitt 6.2 u. Tabelle) eher als fehlgeleitete Arten einordnet. Das und die oben diskutierte Frage der Beobachtungshäufigkeit und -qualität kann wohl nur durch ein weiteres Irrgast-Monitoring entschieden werden.

So lange allerdings das Organ und der Mechanismus für die magnetfeld-gestützte Orientierung nicht bekannt sind (s. Ball [2014], Berthold [2010], King [2013], Newton [2008]), können die vorliegenden Daten nur als Arbeitshypothese angesehen werden, das Phänomen der Irrgäste zu erklären.

8 Dank

Die Autoren danken der OAG Helgoland und Herrn J. Dierschke für die Überlassung und Aufbereitung der Irrgastdaten und Herrn O. Strub für die Durchsicht des Manuskripts.

9 Literatur

Alerstam, T. (1991): Ecological causes and consequences of bird orientation. – In: Berthold; P.: (Hrsg.), Orientation in Birds, Basel-Boston-Berlin, 202–225.

Bairlein, F., Dierschke, J., Dierschke, V., Salewski, V., Geiter, O. Hüppop, K., Köppen, U. & Fiedler, W. (2014): Atlas des Vogelzugs. – Aula-Verlag, Biebelsheim.

Ball, P. (2014): Does life play dice? – Chem. World **11**: 3.

Bartels, J., Heck, N. H. & Johnston, H. F. (1939): The three-hour-range index measuring geomagnetic activity. – Geophys. Res. **44**: 411-–454.

Bauer, H.-G., E. Bezzel & Fiedler, W. (Hrsg.) (2005): Das Kompendium der Vögel Mitteleuropas, Band 3. – Aula-Verlag, Biebelsheim.

Berthold, P. (2012): Vogelzug. – Primus-Verlag, Darmstadt: WGB.

Clauss, G. & H. Ebner (1972): Grundlagen der Statistik, Frankfurt/M.: Verlag Harri Deutsch.

De Sante, D. F. (1983): Vagrants: when orientation and navigation goes wrong. – Point Reyes Bird Observ. Newsletter **61**: 12–16.

Dierschke, V. (2017): Private Mitteilung.

Elphick, J. (Hrsg.) (2008): Atlas des Vogelzuges. – Bern: Haupt-Verlag.

Encyclopaedia Britannica (2017): Geomagnetic-field (https://www.britannica.com/science/geomagnetic-field).

Gauger, E. M., Rieper, E., Morton, J. J. L.,Benjamin, S. C. & Vedsal, V. (2011): Sustained Quantum Coherence and Entanglement in Avian Copass. – Phys. Rev. Lett. **106**: 040503 (DOI: 10.1103/phsrevlett.040503).

Keeton, W. T., T. S. Larkin & Windsor, D. M. (1974): Normal fluctuations in the earth's magnetic field influence pigeon orientation. – J. Comp. Physiol. **95**: 95–103.

King, A. (2013): Nature's navigation console. – Chem. World **10**: 48–51.

Kowalski, U., Wiltschko, R. & Füller, E. (1988): Normal Fluctuations of the Geomagnetic Field may Affect Initial Orientation of Pigeons. – J. Comp. Physuol. **A 163**: 593–600.

Lefeldt, N., Schwarze, S. & Mauritzen, H. (2013): Orientierung bei Zugvögeln: 10 000 Meilen ohne Tom-Tom®? – Der Falke 60 Sonderheft: 12–15.

meteo.plus Sonnenzyklen-Archiv (2015): http://meteo.plus.

Nagovitsyn, Y. A. (2003): Solar and geomagnetic activities on a long time scale: reconstructions and possibilities for predictions. – Astron. Lett. **32**: 344–352, (Daten verfügbar unter http://www.gao.spb.ru/database/esai/).

Newton, I. (2008): The Migration Ecology of Birds. – London: Elsevier.

NOAA Solar Data Service (2017): https://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/solarsadtaservice.html.

NOAA Geomagnetic Calculator Questions (2019): How is altitude defined in the geomagnetic calculators and software. – https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/faqgeom.shtml#.

NOAA Geomagnetic Poles (2020): https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/GeomagneticPoles.shtml.

Putman, N. F., Scanlan, M. M., Billman, E. J., O´Neil, J. P., Contur, R. B., Quinn, T. P., Lohmann, K. J. & Noakes, D. L. G. (2014): An Inherited Magnetic Map Guides Ocean Navigation in Juvenile Pacific Salmon. – Current Biol. **24**: 446–450.

Thienemann, J. (1931): Vom Vogelzug in Rossitten. – Melsungen: Neumann-Neudamm.

Vanselow, K. H. & K. Ricklefs (2005): Are solar acti-

vity and sperm whale *Physeter macrocephalus* strandings around the North Sea related? – J. Sea Rse. **53**: 319–327.

Vanselow, K. H., K. Ricklefs & Colijn, F. (2009): Solar Driven Geomagnetic Anomalies and Sperm Whale *(Physeter macrocephalus)* Strandings Around the North Sea: An analysis of Long Tern Datasets, Open Mar. – Biol. J. **3**: 89–94.

Wiltschko, K. & Wiltschko, W. (1999): Das Orientierungssystem der Vögel I-IV. – J. Ornithol. **140**: 1–40, 129–164, 273–308, 393–417.

Anschriften der Autoren
Yvonne Dåbakk PhD
Langsveien 154
N-2552 Dalsbygda, Norwegen
Dr. Dieter Rinne MRSC
An der Wildbachbrücke 10
D-55124 Mainz, Korrespondenzautor
Eingang bei der Schriftleitung: 19.12.2019

Tabelle 1: Ergebnisse der 4-Felder-Chi²-Tests zur Verteilung zwischen Zyklus-Längen bzw. Höhen der aa-Indices.

	Sonnenzyklus-Länge				aa-Index	
	Alle Sonnenzyklen		ohne letzten Sonnenzyklus			
	Chi²	N; Prüfgröße; Freiheitsgrad; p	Chi²	N; Prüfgröße; Freiheitsgrad; p	Chi²	N; Prüfgröße; Freiheitsgrad; p
Herkunft der Irrgäste						
Alle Irrgastereignisse Taiga	188,44	16; >10,8; f=1; 0,001	6,77	15; >6,64; f=1; 0,01	6,55	15; >5,02; f=1; 0,025
Alle Irrgastereignisse Steppe	137,21	17; >10,8; f=1; 0,001	74,36	16; >10,8; f=1; 0,001	102,55	14; >10,8; f=1; 0,001
Irrgastereignisse von Arten der Taiga						
Goldhähnchen-Laubsänger	1,1	15; >0,445; f=1; 0,5	8,38	14; >6,64; f=1; 0,01	8,38	13; >6,64; f=1; 0,01
Gelbbrauen-Laubsänger	15,63	15; >10,8; f=1; 0,001	6,05	14; >5,02; f=1; 0,025	4,16	13; >3,84; f=1; 0,05
Erddrossel	0,56	17; >0,445; f=1; 0,5	1,41	16; >1,07; f=1; 0,3	2,33	15; >1,07; f=1; 0,3
Grünlaubsänger	26,07	13; >10,8; f=1; 0,001	1,2	12; >1,07; f=1; 0,3	0,8	11; >0,445; f=1; 0,5
Zwergammer	34,61	15; >10,8; f=1; 0,001	19,34	14; >10,8; f=1; 0,001	10,58	13; >6,64; f=1; 0,01
Waldammer	20,11	15; >10,8; f=1; 0,001	0,78	14; >0,445; f=1; 0,5	2,05	13; >1,07; f=1; 0,3
Irrgastereignisse von Arten der Steppe						
Rosenstar	10,81	15; >10,8; f=1; 0,001	6,77	14; >6,64; f=1; 0,01	9,94	13; >6,64; f=1; 0,01
Spornpieper	101,46	16; >10,8; f=1; 0,001	55,05	15; >10,8; f=1; 0,001	4,88	14; >3,84; f=1; 0,05
Kappenammer	6,67	15; >6,64; f=1; 0,01	11,52	14; >10,8; f=1; 0,001	0,27	13; >0,148; f=1; 0,7

□ signifikante Ablehnung der Nullhypothese einer Gleichverteilung; Annahme der Hypothese einer Abhängigkeit von der Sonnenaktivität.

□ signifikante Ablehnung der Nullhypothese einer Gleichverteilung; signifikante Ablehnung der Hypothese einer Abhängigkeit von der Sonnenaktivität.

□ Annahme der Nullhypothese einer Gleichverteilung; kein Einfluss der Sonnenaktivität erkennbar.

Tabelle 2: Ergebnisse der 4-Felder-Chi²-Tests zur Verteilung zwischen Zyklus-maxima und -minima.

	Chi²	**N, Prüfgröße, Freiheitsgrade und p**
Herkunft der Irrgäste		
Alle Irrgastereignisse	100,5	35, >10,8; f=1; 0,001
Alle Irrgastereignisse Taiga	1,22	35, >1,07; f=1; 0,3
Alle Irrgastereignisse Steppe	74,13	32, >10,8; f=1; 0,001
Irrgastereignisse von Arten der Taiga		
Goldhähnchen-Laubsänger	1,5	31, >1,07; f=1; 0,3
Gelbbrauen-Laubsänger	2,13	31, >1,07; f=1; 0,3
Grünlaubsänger	17,8	26, >10,8: f=1; 0,001
Erddrossel	5,15	34, >3,84; f=1; 0,05
Waldpieper	6,35	10, >5,02; f=1; 0,025
Zwergammer	4,23	31, >3,84; f=1; 0,05
Waldammer	0,29	29, >0,148; f=1; 0,7
Irrgastereignisse von Arten der Steppe		
Rosenstar	4,53	31, >3,84; f=1; 0,05
Spornpieper	27,09	31, >10,8; f=1; 0,001
Kappenammer	2,25	31, >1,07; f=1; 0,3

□ signifikante Ablehnung der Nullhypothese einer Gleichverteilung; Annahme der Arbeitshypothese einer Abhängigkeit von der Sonnenaktivität.

□ signifikante Ablehnung der Nullhypothese einer Gleichverteilung; signifikante Ablehnung der Arbeitshypothese einer Abhängigkeit von der Sonnenaktivität.

□ Annahme der Nullhypothese einer Gleichverteilung; kein Einfluss der Sonnenaktivität erkennbar.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der POLLICHIA

Jahr/Year: 2020

Band/Volume: 100

Autor(en)/Author(s): Dabakk [Dåbakk] Yvonne, Rinne Dieter

Artikel/Article: Tragen sonnenzyklus-bedingte Änderungen des Erdmagnetfeldes zum Auftreten von Irrgästen bei? 125-132