Vogelwarte 61, 2023: 179–193
© DO-G, IfV, MPG 2023

Veränderungen in der Frühjahrszugphänologie von Vogelarten im Raum Kassel (Hessen) über einen Zeitraum von 180 Jahren

Fabian Hirschauer & Nils Stanik

Hirschauer, F & Stanik N 2023: Changes in spring migration phenology of bird species in the area of Kassel (Hesse) over the last 180 years. Vogelwarte 61: 179 – 193.

Current and future global change will have significant effects on species, which will have to adapt to these changes by different strategies. Birds, especially migratory birds, are considered to keep pace with climate change-related effects by changes in their migratory phenology. However, many studies investigating such changes in the European context often only consider a limited time frame or a few species. Here we analysed probably one of the earliest and most comprehensive datasets on avian spring phenology in central Germany, which was collected by the local natural science society between 1842 and 1865 for 62 species in total. In this study, we compared historical phenological spring observations with an equal-sized current period (2002–2022) for the same area (Kassel, Hesse) based on local observation and citizen science data. Our aim was to investigate long-term changes in the species spring arrival between the historical and current period, to analyse trends within each period and to describe the historical and current phenological spring pattern of the species. We tested changes in spring arrival of each species between time periods by applying ANOVA and investigated trends within periods by using linear regression models. Of the 62 species, we were able to analyse changes and trends in 57 species: 48 species showed a significant advance in spring arrival, while only one species showed a significantly delayed arrival and eight species were indifferent. Historically, only one species tended to advance its spring arrival, whereas 14 species showed a positive trend towards later arrival over the period. In contrast, only one species showed a trend towards delaying its spring arrival during the current period, and eleven species have been observed significantly earlier over the last 20 years. Historical spring phenology spanned an average of 107 days (34th—140th day of the year), while it currently spans 136 days (1st—136th day of the year). Our results basically confirm the already investigated advances in spring arrivals of many bird species, but we highlight in our study that the advances for many species are even more pronounced than in comparative studies due to their much shorter period of comparison and, therefore, the true extent of changes in spring migration for some species in Germany does not seem to have been extensively documented so far. This is specifically true for visitant birds that have now become typical resident birds in the area of Kassel. We conclude that ongoing climate change significantly affects bird migration patterns more than climate fluctuations in the past and emphasise the value of historical phenological bird observation in written resources and recent citizen science data for investigating global change effects on the avifauna in Germany and across central Europe.

✉ FH, NS: Universität Kassel, Fachgebiet Landschafts- und Vegetationsökologie, Gottschalkstraße 26a, 34127 Kassel.
E-Mail: fabian.hirschauer@uni-kassel.de, nils.stanik@uni-kassel.de

1 Einleitung

Die aktuell stattfindenden Veränderungen unserer Umwelt bringen nicht nur tiefgreifende Veränderungen für den Menschen, sondern auch für Flora und Fauna mit sich. Neben der Erhöhung der globalen Jahresdurchschnittstemperatur während des vergangenen Jahrhunderts um ca. 1,5 °C (IPCC 2018), wirkt sich der globale Wandel in vielen weiteren Facetten aus, sodass sich auch in Deutschland komplexe Folgen für Arten, ihre Verhaltensweisen und Lebensräume ergeben werden (Renner et al. 2021). Als vergleichsweise mobile Klasse sind Vögel bis zu einem gewissen Maße in der Lage, klimawandelbedingten Veränderungen ihrer Umwelt mit phänologischen Anpassungen zu begegnen. Hierunter fallen beispielsweise zeitliche Verschiebungen ihrer Brut- und Zugzeiten oder zusätzliche räumliche Verlagerungen ihrer Brut- und Überwinterungsareale. Da das Zugverhalten von Vögeln nicht nur von ihrer Genetik oder der Tageslänge bestimmt wird (Fiedler 2017), sondern auch entscheidend von der Temperatur beeinflusst ist, nimmt dieser Faktor, unter anderem als ein Auslöser für den Frühjahrszug, eine oft entscheidende Rolle ein (Cotton 2003). Der zunehmende Anstieg der Frühjahrstemperaturen entlang des Zugwegs durch den globalen Klimawandel führt bei vielen Mittel- und Langstreckenziehern zu einem früheren Zugbeginn und somit zu einer früheren Ankunft in ihren Brut- bzw. Durchzugsgebieten (u. a. Lehikoinen et al. 2004). Milde Winter können manchen Kurzstreckenziehern sogar eine vollständige oder teilweise Überwinterung in ihren ehemals reinen Brutgebieten ermöglichen (Bosco et al. 2022).

Zur Erforschung und Beschreibung von Folgen des globalen Wandels auf Arten und Artengemeinschaften haben sich unterschiedliche Methoden etabliert. Eine Methode ist die Nutzung phänologischer Beobachtungsdaten, welches in der Klimaforschung oder bei

Pflanzen ein etabliertes Verfahren ist (z. B. Nordt et al. 2021), um detailliert historische Abfolgen in der Natur zu rekonstruieren und diese mit heutigen Zuständen zu vergleichen. Jedoch liegen solche Beobachtungsreihen, gerade für historische Zeiträume, für faunistische Artengruppen wie die Vögel nur in geringem Maße vor oder umfassen nur vergleichsweise kurze Zeiträume von wenigen Jahrzehnten. Daher besteht Forschungsbedarf auf Grundlage von langen Zeitreihen, die Umweltbedingungen berücksichtigen, wie sie vor dem menschlich gemachten Klimawandel herrschten (Renner et al. 2021).

Viele vorliegende europäische Studien, welche Veränderungen der Zugphänologie von Vögeln untersuchen, können nur eingeschränkt übertragen werden, um langzeitliche und umfassende Veränderungen der Zugphänologie auf nationaler Ebene von Deutschland oder auf regionaler Ebene von Bundesländern im Detail nachzuvollziehen oder zu vergleichen. Einige Untersuchungen beziehen sich entweder auf West- oder Nordeuropa und somit auf atlantisch geprägte Räume bzw. nördlicheren geografischen Breiten (z. B. Cotton 2003) oder umfassen nur einzelne Arten (z. B. Sparks et al. 2005) bzw. kurze Zeitspannen. Analysen von Zugzeitenverschiebungen zwischen dem 19. und dem heutigen 21. Jahrhundert liegen hingegen nur selten vor. Allein die Studie von Kolářová & Adamík (2015) über klimatisch hervorgerufene Veränderungen von Ankunftsdaten im östlichen Mitteleuropa berücksichtigt eine historische böhmische Zeitreihe aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts und umfasst 35 Arten. Vergleichbare Untersuchungen für Deutschland scheinen dagegen bislang noch nicht vorzuliegen, da sich vorhandene Studien entweder auf deutlich jüngere und kürzere, obgleich bereits aussagekräftige Zeitspannen beziehen (z. B. 1970–2003 bei Peintinger & Schuster 2005) oder bis in das 19. Jahrhundert zurückblicken, aber dabei nur einzelne Vogelarten betrachten (z. B. Hölzinger 2001).

Im Rahmen dieser Studie wurde ein in seiner zeitlichen Spanne und seinem Umfang vermutlich einmaliger Datenbestand aus dem zentralen deutschen Raum ausgewertet, der historische (1842–1865) und gegenwärtige (2002–2022) Frühjahrsankünfte von insgesamt 62 Vogelarten für die Umgebung Kassels (Hessen, Deutschland) beinhaltet. Dafür wurden die Erstankunftsdaten der Vogelarten hinsichtlich zeitlicher Veränderungen zwischen den Zeitreihen und Trends innerhalb der Zeitreihen analysiert und identifizierte Veränderungen von Frühjahrsankünften in ihrem phänologischen Verlauf und Umfang beschrieben. Das Ziel unserer Studie ist es, anhand des vorliegenden Datensatzes einen weitreichenden Blick zurück auf das historische Zuggeschehen zu werfen und im Vergleich mit heute einen Beitrag zum Verständnis von Veränderungen im Zuggeschehen vieler häufiger und seltener mitteleuropäischer Brutvogelarten zu liefern.

2 Material und Methoden

2.1 Datengrundlage

Die Daten über die Frühjahrsankünfte von Vögeln im historischen Zeitraum (1842–1865) wurden im Wesentlichen aus Sezekorn (1864–1866) entnommen, der für die Jahre 1845 bis 1865 die alljährliche Ankunft sowie den Durchgang der Zug- und Strichvögel in der Umgebung von Kassel dokumentierte. Der gebürtige Kasseler war seinerzeit Mitbegründer des 1836 gegründeten Vereins für Naturkunde zu Cassel und als Regierungsbeamter in Kassel tätig. Nebenher widmete sich der renommierte Ornithologe intensiv der Vogelwelt des Kasseler Raums, woraus verschiedene Aufzeichnungen und Vogellisten entstanden (Gebhardt & Sunkel 1954; Schaffrath 1996). Ergänzt wurde die 20-jährige Zeitreihe Sezekorns um noch frühere Aufzeichnungen aus weiteren Jahresberichten des Vereins für Naturkunde zu Cassel, die die Daten über Frühjahrsankünfte für einige Vogelarten im historischen Zeitraum noch auf 1842 bis 1845 erweitern (Kersting et al. 1843; Landgrebe & Sezekorn 1844; Kersting & Landgrebe 1845; Kersting et al.1846; Landgrebe 1846; Sezekorn & Kersting 1846). Zu den wichtigsten Mitbeobachtern Sezekorns zählte hierbei Ernst Landgrebe, der als damaliger Verwalter des Kasseler Orangerieschlosses auch für die kurfürstlichen Ländereien der ausgedehnten Fuldaaue zuständig war und als passionierter Jäger beständig in diesen präsent war (Schaffrath 1996).

Die Daten für den gegenwärtigen Referenzzeitraum (2002–2022) beruhen in der ersten Phase des Zeitraums (2002–2012) auf den veröffentlichten Beobachtungsdaten aus den Vogelkundlichen Mitteilungen aus dem Kasseler Raum (HGON-AK Kassel & NABU-KS 2003, 2005, 2007, 2011, 2013, 2015). Die dort für die jeweiligen Jahre zusammengetragenen ornithologischen Beobachtungen in Stadt und Landkreis Kassel wurden hinsichtlich Angaben zu Erstbeobachtungen von Vogelarten in den Frühjahren aufgearbeitet. Die Ankunftsdaten der jüngeren Vergangenheit (2012–2022) entstammen aus dem Datenbestand des Onlineportals „ornitho.de“ (www.ornitho.de), aus dem die Erstmeldungen eines Jahres der historisch verzeichneten Arten in Stadt und Landkreis Kassel zusammengestellt wurden. Da in der Übergangszeit zwischen analoger und digitaler Dokumentation der regionalen Vogelbeobachtungen, insbesondere in den Jahren 2012 und 2013, bei einigen Arten repräsentative Angaben zu deren Erstbeobachtungen fehlten, wurden nachträglich analoge archivierte, bisher unpublizierte Beobachtungsdaten aus dem Meldebestand des HGON-Arbeitskreises Kassel gesichtet und der Lückenschluss in der Zeitreihe mit den darin enthaltenen Daten hergestellt, indem diese nachträglich auf „ornitho.de“ dokumentiert wurden. Gegenstand der vorliegenden Untersuchung waren 62 Vogelarten, deren Erstbeobachtungen für den historischen und gegenwärtigen Zeitraum verglichen wurden. Nur bei wenigen dieser Arten ergaben sich für beide Zeiträume lückenlose Beobachtungsreihen, jedoch lagen bei allen Arten je Zeitraum für mindestens zehn Jahre Beobachtungen vor. Für vier Arten (Rotkopfwürger *Lanius senator*, Wachtelkönig *Crex crex*, Wiedehopf *Upupa epops*, Drosselrohrsänger *Acrocephalus arundinaceus*, Girlitz *Serinus serinus*) konnte kein Vergleich zwischen den Zeitreihen angestellt werden, da diese Arten zwischen dem 19. und 21. Jahrhundert erhebliche Arealverschiebungen bzw. Veränderungen des Bestands und Brutstatus im Raum Kassel und auch Deutschland

aufweisen (Junghans 1897; Keller et al. 2020) und somit in mindestens einer der beiden Zeitreihen nur sporadisch belegt sind. Für die Übertragung der von Sezekorn historisch gebrauchten wissenschaftlichen Artnamen in die heute gültige Nomenklatur wurde die Übersetzung von Schaffrath (1996) zu Hilfe genommen. Die letztlich verwendete Taxonomie der Arten richtet sich nach Barthel & Krüger (2019).

2.2 Datenaufbereitung und -analyse

Zur einheitlichen Auswertbarkeit der kalendarisch notierten Ankunftstage aller Vogelarten im Kasseler Raum wurden die Tage in den Tag des betreffenden Jahres (TdJ = Tag des Jahres) übersetzt, wobei der 1. Januar eines Kalenderjahres als erster Tag des Jahres gezählt wurde. Auf Grundlage dessen wurden die Mediane der Ankunftszeiten in den Zeiträumen berechnet und auf Unterschiede der Ankunftszeiten zwischen dem historischen und gegenwärtigen Zeitraum mittels ANOVA getestet. Zuvor wurde die Normalverteilung der Beobachtungsdaten in beiden Zeiträumen über Q-Q-Plots visuell geprüft. Mit linearen Regressionsmodellen wurde überprüft, ob bei den Arten innerhalb beider Zeiträume bereits Trends zur Veränderung ihrer Frühjahrsankünfte bestehen. In die Modelle wurden die Art als Prädiktorvariable und das Jahr als Antwortvariable eingesetzt. Für die statistische Signifikanz wurden folgende Schwellenwerte angenommen: * $p < 0{,}05$, ** $p < 0{,}01$, *** $p < 0{,}001$. Alle statistischen Analysen erfolgten mit dem Statistikprogramm *R* (R Core Team 2022, Version 4.2.2).

In Ergänzung dazu wurde geprüft, inwieweit beide Zeiträume klimatisch voneinander abweichen. Hierzu wurden für den historischen Zeitraum die Mittelwerte der Lufttemperatur der Zeitreihenwerte nach der sogenannten Baur-Reihe (korrigiert für Deutschland) und für den gegenwärtigen Zeitraum nach den Werten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für den Winter (Dezember–Februar) und Frühjahr (März–Mai) der Jahre herangezogen (Baur 1975; DWD 2023). Für alle Jahre beider Zeiträume wurden die Mittelwerte der Jahresperioden, nach Prüfung der Normalverteilung, hinsichtlich Unterschiede analysiert. Klimatisch betrachtet weicht der historische Zeitraum in beiden Jahresperioden statistisch signifikant vom gegenwärtigen Zeitraum ab. Während die mittlere Wintertemperatur im historischen Zeitraum bei -0,88 °C lag, liegt die des gegenwärtigen Zeitraums bei 1,57 °C (Δ 2,45 °C; ANOVA: $F(1,43) = 26{,}2^{***}$). Ein ähnlich großer Unterschied lässt sich beim Vergleich der mittleren Frühjahrstemperatur feststellen, welche im historischen Zeitraum bei 6,89 °C lag und im gegenwärtigen Zeitraum bei 8,95 °C liegt (Δ 2,06 °C; ANOVA: $F(1,43) = 37{,}59^{***}$).

3 Ergebnisse

Von den ursprünglich 62 betrachteten Vogelarten ließen sich in der statistischen Auswertung bei Rotkopfwürger, Wiedehopf und Wachtelkönig keine Veränderungen ermitteln, da, wie in der Methodik beschrieben, im gegenwärtigen Zeitraum keine ausreichende Anzahl von Beobachtungen vorlag (Tab. 1). Hingegen sind für diese Arten die historischen Daten der Erstankünfte lückenlos belegt. Die Erstbeobachtungen im historischen Zeitraum (1842–1865) liegen beim Wiedehopf im Median am 109. TdJ (SE = 1,02), beim Rotkopfwürger am 123. TdJ (SE = 1,39) und beim Wachtelkönig am 150. TdJ (SE = 1,71). Als Besonderheit ist im historischen Zeitraum die Etablierung des Girlitzes als neuer Brutvogel für den Bereich des damaligen Niederhessens belegt, indem die Art erst in den zwei letzten Jahren der Zeitreihe registriert wurde sowie weiterhin revieranzeigend an drei verschiedenen Orten im Frühjahr und Vorsommer des Folgejahres 1866 beobachtet werden konnte (Sezekorn 1864–1866). Nach einer starken Bestandszunahme wurde die Art bereits Ende des 19. Jahrhunderts als recht häufiger Brutvogel im Kasseler Raum beschrieben (Junghans 1897). Keine valide Aussage über die historischen Erstankünfte konnten für den Drosselrohrsänger gemacht werden, da dieser im gesamten historischen Zeitraum lediglich 1847 und 1863 beobachtet wurde. Der damals für die Region seltene Zugvogel etablierte sich erst Ende des 19. Jahrhunderts als Brutvogel (Junghans 1897).

3.1 Langzeitveränderungen der Frühjahrsankünfte

Im Vergleich des historischen (1842–1865) und gegenwärtigen (2002–2022) Zeitraums liegen von den verbliebenen 57 Vogelarten bei 48 Arten signifikant frühere Jahreserstbeobachtungen vor, während das Blaukehlchen *Luscinia svecica* als einzige Art signifikant später im Jahr auftritt (Abb. 1). Indifferent sind Wendehals *Jynx torquilla*, Heidelerche *Lullula arborea*, Grauschnäpper *Muscicapa striata*, Steinschmätzer *Oenanthe oenanthe*, Pirol *Oriolus oriolus*, Wachtel *Coturnix coturnix*, Waldschnepfe *Scolopax rusticola* und Turteltaube *Streptopelia turtur*. Nach Wochen differenziert zeigen von den signifikant früher beobachteten Arten die meisten eine Zugverschiebung zwischen einer und zwei Wochen (n = 11), darunter Rohrsängerverwandte (*Acrocephalidae*), wie Sumpfrohrsänger *Acrocephalus palustris*, Teichrohrsänger *Acrocephalus scirpaceus* und Gelbspötter *Hippolais icterina*, sowie Schnäpperverwandte (*Muscicapinae*) wie Braunkehlchen *Saxicola rubetra* und Trauerschnäpper *Ficedula hypoleuca* (Abb. 2). Unter den Schwalben (*Hirundinidae*) zeigen sich bei Mehlschwalbe *Delichon urbicum* und Uferschwalbe *Riparia riparia* mit einer Verfrühung von knapp vier Wochen noch deutlichere Veränderungen in der Ankunftszeit, während die Rauchschwalbe *Hirundo rustica* knapp drei Wochen eher im Raum Kassel beobachtet wurde. Auch in der Gattung der Grasmücken (*Sylvia*) liegen für alle heimischen Arten signifikant frühere Jahreserstbeobachtungen vor, die sich bei knapp einer bzw. zwei Wochen bei Klappergrasmücke *Sylvia curruca* und Dorngrasmücke *Sylvia communis* bis etwa drei Wochen bei Gartengrasmücke *Sylvia borin* und Mönchsgrasmücke *Sylvia atricapilla* belaufen. Eine über zweimonatige Differenz zur historischen mittleren Erstankunft weisen unter den Singvögeln (*Passeri*) neun Arten auf. Dazu zählen Drosseln (*Turdidae*), wie Rotdrossel *Turdus iliacus* und Wacholderdrossel *Turdus pilaris*, Finken (*Fringillidae*),

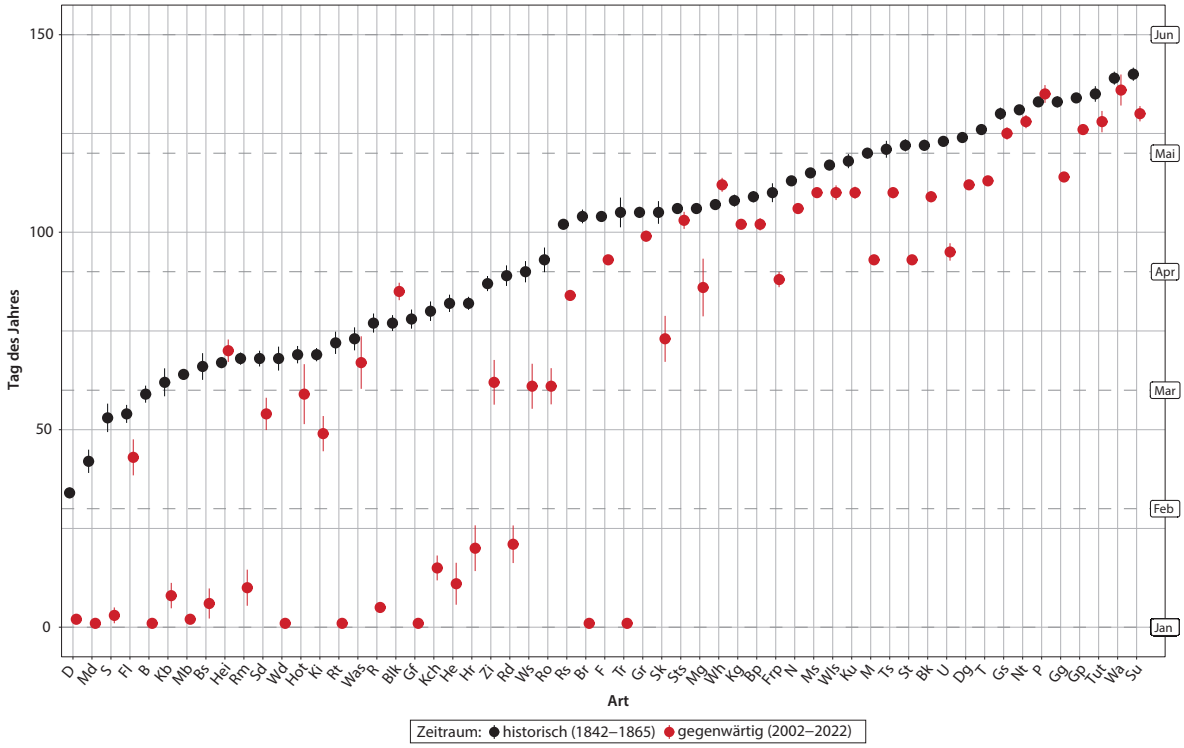

Abb. 1: Vergleich der Frühjahrserstbeobachtung (Median Tag des Jahres mit Standardfehler, *SE*) der ausgewerteten Zugvogelarten zwischen dem historischen (1842–1865, schwarze Punkte) und gegenwärtigen (2002–2022, rote Punkte) Zeitraum. Die gestrichelten horizontalen Linien markieren den jeweiligen Monatsanfang (Januar–Juni, Monate vereinheitlicht auf 30 Tage). – *Comparison of first spring observation (median day of the year with standard error, SE) between the historical (1842–1865, black dots) and present (2002–2022, red dots) period. Dashed horizontal lines mark the beginning of the months January–June (standardised to 30 days a month).*
Artkürzel – *species abbreviations*: B: Buchfink (*Fringilla coelebs*); Bk: Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*); Blk: Blaukehlchen (*Luscinia svecica*); Bp: Baumpieper (*Anthus trivialis*); Br: Blässhuhn (*Fulica atra*); Bs: Bachstelze (*Motacilla alba*); F: Fitis (*Phylloscopus trochilus*); Fl: Feldlerche (*Alauda arvensis*); Frp: Flussregenpfeifer (*Charadrius dubius*); D: Dohle (*Coloeus monedula*); Dg: Dorngrasmücke (*Sylvia communis*); Gf: Grünfink (*Chloris chloris*); Gg: Gartengrasmücke (*Sylvia borin*); Gp: Gelbspötter (*Hippolais icterina*); Gr: Gartenrotschwanz (*Phoenicurus phoenicurus*); Gs: Grauschnäpper (*Muscicapa striata*); He: Heckenbraunelle (*Prunella modularis*); Hei: Heidelerche (*Lullula arborea*); Hr: Hausrotschwanz (*Phoenicurus ochruros*); Hot: Hohltaube (*Columba oenas*); Kb: Kernbeißer (*Coccothraustes coccothraustes*); Kch: Kranich (*Grus grus*); Kg: Klappergrasmücke (*Sylvia curruca*); Ki: Kiebitz (*Vanellus vanellus*); Ku: Kuckuck (*Cuculus canorus*); M: Mehlschwalbe (*Delichon urbicum*); Mb: Mäusebussard (*Buteo buteo*); Md: Misteldrossel (*Turdus viscivorus*); Mg: Mönchsgrasmücke (*Sylvia atricapilla*); Ms: Mauersegler (*Apus apus*); N: Nachtigall (*Luscinia megarhynchos*); Nt: Neuntöter (*Lanius collurio*); P: Pirol (*Oriolus oriolus*); R: Rotkehlchen (*Erithacus rubecula*); Rd: Rotdrossel (*Turdus iliacus*); Rm: Rotmilan (*Milvus milvus*); Ro: Rohrammer (*Emberiza schoeniclus*); Rs: Rauchschwalbe (*Hirundo rustica*); Rt: Ringeltaube (*Columba palumbus*); S: Star (*Sturnus vulgaris*); Sd: Singdrossel (*Turdus philomelos*); Sk: Schwarzkehlchen (*Saxicola rubicola*); Sts: Steinschmätzer (*Oenanthe oenanthe*); St: Schafstelze (*Motacilla flava*); Su: Sumpfrohrsänger (*Acrocephalus palustris*); T: Teichrohrsänger (*Acrocephalus scirpaceus*); Tr: Teichhuhn (*Gallinula chloropus*); Ts: Trauerschnäpper (*Ficedula hypoleuca*); Tut: Turteltaube (*Streptopelia turtur*); U: Uferschwalbe (*Riparia riparia*); Wa: Wachtel (*Coturnix coturnix*); Was: Waldschnepfe (*Scolopax rusticola*); Wd: Wacholderdrossel (*Turdus pilaris*); Wh: Wendehals (*Jynx torquilla*); Wls: Waldlaubsänger (*Phylloscopus sibilatrix*); Ws: Weißstorch (*Ciconia ciconia*); Zi: Zilpzalp (*Phylloscopus collybita*).

wie Buchfink *Fringilla coelebs* und Grünfink *Chloris chloris*, weiterhin Bachstelze *Motacilla alba*, Hausrotschwanz *Phoenicurus ochruros* und Heckenbraunelle *Prunella modularis*. Eine ebenso deutliche Verfrühung zeigen Blässhuhn *Fulica atra*, Kranich *Grus grus*, Mäusebussard *Buteo buteo* und Teichhuhn *Gallinula chloropus* als Nicht-Singvögel.

3.2 Veränderungen im Frühjahrszugverlauf

Die Abfolge der Erstbeobachtungen der betrachteten Arten im historischen Zeitraum erstreckt sich über eine Spanne von 107 Tagen und beginnt mit Dohle *Coloeus monedula* am 34. TdJ und endet mit Sumpfrohrsänger am 140. TdJ. Im Vergleich dazu beträgt die Spanne im gegenwärtigen Zeitraum 136 Tage und

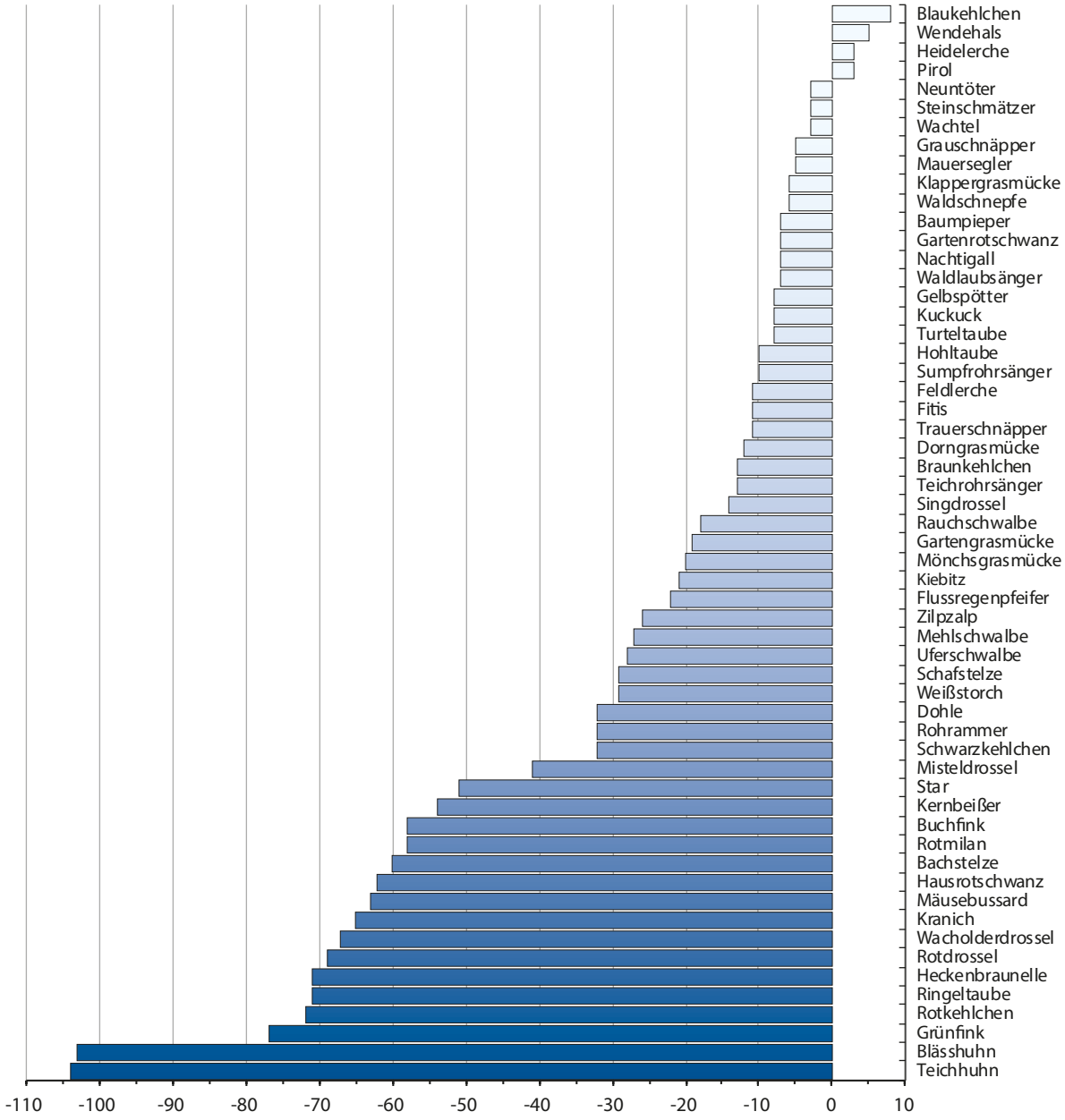

Abb. 2: Differenz (Median) Tag des Jahres der jährlichen Erstbeobachtung der ausgewerteten Zugvogelarten zwischen dem historischen (1842–1865) und dem gegenwärtigen (2002–2022) Zeitraum. – *Difference (median) in the day of year of the annual first observation of bird species between the historical (1842–1865) and present (2002–2022) period.*

startet mit sieben Arten am 1. TdJ und wird am 136. TdJ mit der Wachtel abgeschlossen. Mittlere Erstbeobachtungen die innerhalb der ersten Januardekade liegen und damit Standvögel oder regelmäßige Überwinterer betreffen, treten einzig im gegenwärtigen Zeitraum auf und umfassen mit Mäusebussard, Grünfink, Kernbeißer *Coccothraustes coccothraustes*, Ringeltaube *Columba palumbus*, Dohle, Rotkehlchen *Erithacus rubecula*, Buchfink, Blässhuhn, Teichhuhn, Rotmilan *Milvus milvus*, Bachstelze, Star *Sturnus vulgaris*, Wacholderdrossel, Misteldrossel *Turdus viscivorus* 14 der 57 verglichenen Arten. Im Gegensatz dazu wurde im historischen Zeitraum im Mittel keine Art vor Februar beobachtet.

3.3 Trends zur Zugverschiebung innerhalb beider Zeiträume

Neben den Unterschieden in den Erstbeobachtungen zwischen den Vergleichszeiträumen sind bei einigen Arten auch innerhalb der Zeiträume signifikante Zugveränderungstendenzen festzustellen (Tab. 2). Im historischen Zeitraum zeigt nur der Weißstorch *Ciconia ciconia* (β = -0,27**) eine statistisch signifikante Verfrühung seiner Erstankunft, die ebenfalls im gegenwärtigen Zeitraum festzustellen ist (β = -0,181***). Im Gegensatz dazu wurden 14 Arten, u. a. Kuckuck *Cuculus canorus* (β = 0,343*), Kranich (β = 0,269*), Dorngrasmücke (β = 0,592**) sowie Rauchschwalbe (β = 0,614**) und Mehlschwalbe (β = 0,566**), im Laufe des historischen Zeitraums tendenziell später im Raum Kassel beobachtet. Im gegenwärtigen Zeitraum ist letzteres einzig beim Mauersegler *Apus apus* festzustellen (β = 0.479*). Demgegenüber zeigen elf Arten in dieser Periode eine statistisch signifikante Verfrühung ihrer beobachteten Frühjahrsankünfte, darunter Baumpieper *Anthus trivialis* (β = -0,478**), Braunkehlchen (β = -0,425*), Heidelerche (β = -0,462*), Steinschmätzer (β = -0,371**) oder Kernbeißer (β = -0,395***) mit den sich am stärksten verfrühenden Trends. Der Rotmilan hat als einzige Art im Vergleich einen wechselnden Trend und zeigt im historischen Zeitraum eine sich stark verspätende Frühjahrsankunft (β = 0,593***) und im gegenwärtigen Zeitraum eine sich verfrühende Frühjahrsankunft (β = -0,192**).

4 Diskussion

Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass sich die Frühjahrsankünfte fast aller betrachteten Vogelarten im Raum Kassel während der vergangenen 180 Jahre bedeutend verändert haben, wobei sich bis auf das später eintreffende Blaukehlchen alle verglichenen Arten signifikant verfrühten. Betrachtet man alle Arten beträgt die Verfrühung im Mittel einen Monat (32 Tage). Eine Gegenüberstellung mit Studienergebnissen aus Deutschland, die Ankunftszeiten des 20. und 21. Jahrhunderts beinhalten, zeigt, dass sich die ermittelten phänologischen Trends grundsätzlich bestätigen. Sowohl in dieser vorliegenden Studie als auch in anderen Vergleichsuntersuchungen zeigt sich, dass bei einem Großteil der Arten Verfrühungen ihrer Frühjahrsankünfte festzustellen sind, während nur einzelne Arten eine signifikante Verspätung aufweisen. Die festgestellten Zugzeitenveränderungen im Raum Kassel fallen in der Regel jedoch größer aus als in anderen Studien. Aus der vergleichenden Betrachtung mehrerer Studien zu Veränderungen von Frühjahrsankünften in Deutschland zwischen den 1960/1970er- und 2000/2010er-Jahren (Fischer 2002; Peintinger & Schuster 2005; Schmidt & Hüppop 2007; Kooiker 2019) geht hervor, dass z. B. Teichrohrsänger und Fitis *Phylloscopus trochilus* gegenüber dem zuvor genannten Vergleichszeitraum eine weitere Verfrühung von etwa einer Woche aufweisen. Noch stärkere Unterschiede ergeben sich bei Gartengrasmücke und Mehlschwalbe mit einem noch zwei- bzw. dreiwöchigen früheren Erscheinen. Jedoch zeigt sich, dass solche stärkeren Effekte nicht gleichmäßig bei allen Arten auftreten. Die in unserer Studie festgestellten nur wenige Tage umfassenden Ankunftsverfrühungen von Klappergrasmücke, Grauschnäpper und Steinschmätzer stimmen mit Ergebnissen der oben genannten Referenzstudien überein (außerdem Sparks et al. 2007), was dafür spricht, dass bei diesen Arten mildere Winter und höhere Frühjahrstemperaturen scheinbar bislang keine wesentlichen Einflussfaktoren in ihrer Zugphänologie sind. Das Ausmaß der Verfrühung bzw. Verspätung der Frühjahrsankunft von Vogelarten steht in der Regel in Beziehung zu ihrem Zugverhalten und der Lage ihrer Überwinterungsquartiere. Im Gegensatz zu Kurz- und Mittelstreckenziehern reagieren Langstreckenzieher offenbar nur gering und zeitlich verzögert auf sich verändernde Witterungsbedingungen in den Brutgebieten und dürften in ihrem Heimzugverhalten vielmehr genetisch gesteuert sein (Berthold 2012). Dementsprechend sind unter den Arten, die nach unserer Studie eine Ankunftsverfrühung von weniger als zehn Tagen zeigen, überwiegend Langstreckenzieher.

Die vielen, im Vergleich zum historischen Zeitraum, gegenwärtig im Raum Kassel regelmäßig überwinternden Arten signalisieren, dass sich die klimatischen Bedingungen in den Wintermonaten mittlerweile deutlich gewandelt haben und sich die in der Region gegenwärtig und historisch anzutreffenden Wintervogelgemeinschaften erheblich voneinander unterscheiden. Die an die mittlere Winter- und Frühjahrstemperatur gekoppelten längeren und stärkeren Schneelagen sowie eine höhere Anzahl von Frosttagen führten im historischen Zeitraum dazu, dass die verschärften Lebensbedingungen im Winter für viele Arten eine Überdauerung in den Brutgebieten kaum ermöglicht haben sollten, weshalb sie letztlich ihre Brutgebiete mehr oder weniger komplett räumten (Bosco et al. 2022). Während etwa Bläss- und Teichhuhn heute typische Überwinterer in unseren Breiten sind, ist anzunehmen, dass Mitte des 19. Jahrhunderts die Gewässer um Kassel regelmäßiger und länger zufroren als dies heute der Fall ist und die Rallen in der Regel erst ab Anfang April zurückkehrten. Gemäß der historischen Kasseler Beobachtungsreihe erfolgte die früheste Beobachtung eines Teichhuhns Mitte März und die des Blässhuhns Ende März (Sezekorn 1844–1846). Auch wenn für den historischen Zeitraum keine der betrachteten Arten als regelmäßiger Überwinterer bezeichnet werden kann, liegen für einzelne Arten sporadische Winterbeobachtungen vor. Von Dohle, Bachstelze und Wacholderdrossel wurden einzelne Winternachweise für Mitte Januar berichtet, während sich der Großteil der Beobachtungen bei ersterer Art auf den Februar und den beiden anderen Arten auf den März beschränkten. Bei

solchen Arten sind in Ausnahmefällen vollständige Überwinterungen von Individuen, aber nicht von ganzen Populationen oder größeren Ansammlungen im Raum Kassel denkbar. Dagegen geben mehrmalige Nachweise der Misteldrossel im Januar, darunter eine besonders frühe Beobachtung am 03.01.1862, Grund zur Annahme, dass diese Art auch Mitte des 19. Jahrhunderts regelmäßig Bestandteil der damaligen Wintervogelgemeinschaft war. Weitere Hinweise auf Arten, die die lokale historische Wintervogelgemeinschaft geprägt haben sollten, sind in den Aufzeichnungen von Kersting (1847) über Winterbeobachtungen von Vögeln in den Jahren 1845/1846 bei Rinteln (heutiges Niedersachsen, damalige Exklave des Kurfürstentums Hessen-Kassel) zu finden. Hier wurden Amsel *Turdus merula* und Goldammer *Emberiza citrinella* als gewöhnlich überwinternde oder regelmäßig bleibende Vögel beschrieben, während nur einzelne Überwinterungen von Individuen des Bluthänflings *Linaria cannabina* sowie von Grauammer *Emberiza calandra* und Wiesenpieper *Anthus pratensis* dokumentiert wurden (Kersting 1847). Es zeigt sich somit die Tendenz, dass sich aus vielen ehemaligen Strichvogelarten unter den heute bei uns herrschenden Klimabedingungen vielfach Arten mit Standvogelcharakter entwickelt haben, was bei diesen Arten auf ihre hohe Plastizität und Reaktionsfähigkeit in den Zugbewegungen hinweist (Pulido 2007; Kluen et al. 2017).

Nicht nur der Vergleich der mittleren Erstbeobachtungszeiten zwischen der historischen und gegenwärtigen Zeitreihe gibt Hinweise auf Veränderung im Zugverhalten der Arten, sondern auch die ermittelten Trends innerhalb der Zeitreihen. Im historischen Zeitraum war einzig beim Weißstorch ein Trend zur früheren Ankunft im Raum Kassel feststellbar, während 14 Arten einen Trend zu einem späteren Auftreten im Frühjahr aufwiesen. Demgegenüber steht für den gegenwärtigen Zeitraum ein fast umgekehrtes Bild: Innerhalb der vergangenen 20 Jahre zeigen elf Arten einen Trend zur weiteren Verfrühung und nur der Mauersegler eine zunehmend verspätete Frühjahrsankunft. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass das ausgeglichene Klima zur Mitte des 19. Jahrhunderts bei den meisten Zugvögeln keinen Effekt zur Verfrühung bzw. sogar eher den einer Verspätung ihrer Zugphänologie hervorrief, während sich im Gegensatz dazu die kontinuierliche Klimaerwärmung in den letzten Jahrzehnten deutlich stärker vollzieht und die Effekte auf Vögel umso gravierender sind (Koleček et al. 2020). Erste Anzeichen des Einflusses milderer Frühjahre und Winter auf die Zugphänologie von ehemaligen Zugvogelarten sind indessen bereits Ende des 19. Jahrhunderts ebenfalls im Raum Kassel belegt. Junghans (1890) berichtet, dass sich der Star im Frühjahr 1890 bereits wieder ab Mitte Februar in größerer Zahl zeigte und verweist außerdem darauf, dass seit einigen Jahren ein nicht unerheblicher Teil des ansässigen Gesamtbestands den gesamten Winter im Raum Kassel zubringe. Eine solche Beobachtung ist insofern bemerkenswert, dass die Art noch 25 Jahre zuvor bis zum Ende des betrachteten historischen Zeitraums nur zweimalig frühestens Ende Januar beobachtet wurde (vgl. Sezekorn 1844–1846 und weitere).

Die festgestellten Zugzeitenveränderungen können für gewisse Arten und ihre Populationen im Rahmen des globalen Klimawandels zu Problemen führen, wenn Arten, die keinerlei Anpassung ihrer Zugstrategie zeigen, gegenüber solchen einen Nachteil im Wettbewerb um die besten Habitate besitzen, die früher in den Brutgebieten eintreffen, oder sich Desynchronisationen mit ihren Nahrungsquellen ergeben (Both et al. 2006). Von Interesse sind hier insbesondere gefährdete Arten oder solche mit sehr spezialisierten Brutverhalten wie beispielsweise der Kuckuck mit seinem an bestimmte Wirtsvogelarten (Rohrsänger, Gartengrasmücke, Wiesenschafstelze *Motacilla flava* etc.) gekoppelten Brutparasitismus. Da für den Kuckuck unterschiedliche Vergleichsstudien vorliegen (z. B. Saino et al. 2009; Witt 2009), sei auf Grundlage unserer Studiendaten ebenfalls ein Blick auf diese Art geworfen: Bei den Rohrsängern belaufen sich die Verfrühungen auf im Median zehn (Sumpfrohrsänger) bis 13 Tage (Teichrohrsänger), während die Gartengrasmücke mit 19 Tagen eine noch stärkere Verfrühung ihres Heimzuges zeigt. Der Kuckuck wurde dagegen im Median acht Tage früher beobachtet. Somit lassen auch unsere Studienergebnisse mit einer im Vergleich zu den anderen Studien sogar deutlich längeren Zeitreihe darauf schließen, dass es im Zugverhalten des Kuckucks nicht zu einer maßgeblichen Desynchronisierung gegenüber einigen seiner typischen Wirtsarten (zumindest im Vergleich zu Langstreckenziehern) kommt (vgl. Witt 2009). Demnach sollte dieser Faktor in Zeiten des rezenten Klimawandels gegenwärtig keine wesentliche Ursache für die negative Bestandsentwicklung der Art in Hessen sein (VSW & HGON 2015).

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass sich über den betrachteten Zeitraum von 180 Jahren nicht nur klimatische Veränderungen vollzogen, sondern ebenfalls ein ausgeprägter und flächiger Landschaftswandel stattfand, etwa durch Flurbereinigungen und erheblich intensivere Bewirtschaftungsweisen in der Agrarlandschaft (z. B. Wittig et al. 2010). Hinzu kommen Veränderungen von Populationsgrößen, -dichten sowie den geografischen Verbreitungen vieler Arten. So zeigten Sparks et al. (2007), dass Arten mit rückläufigen Populationstrends weniger starke Verfrühungen aufweisen. In unserer Studie mag ein solcher Effekt bei einigen als indifferent klassifizierten Arten (z. B. Wachtel, Wendehals, Turteltaube) und dem Blaukehlchen vorliegen, welches sogar eine um acht Tage signifikant spätere Frühjahrsankunft im Raum Kassel zeigt. Gegenwärtig besitzt das Blaukehlchen im Raum Kassel durch Habitatverlust nur noch wenige geeignete Rast- bzw. Brutgebiete, womit gleichzeitig eine poten-

ziell geringere Nachweiswahrscheinlichkeit bei dieser und vergleichbaren Arten einhergeht (vgl. Schmidt & Hüppop 2007). Unabhängig davon ist anzunehmen, dass die in dieser Studie festgestellten phänologischen Veränderungen die reellen Gegebenheiten widerspiegeln. Während viele Vogelarten, insbesondere Feldvögel, im 19. Jahrhundert in wahrscheinlich deutlich höheren Populationsgrößen im Raum Kassel auftraten und dadurch Erstbeobachtungen den wenigen kundigen Beobachtern womöglich leichter gelangen, steht im Datensatz des gegenwärtigen Zeitraums eine oftmals geringere potenzielle Gesamtvogelzahl einer höheren Anzahl von Beobachtenden gegenüber, die zudem qualitativ hochwertigere optische und technische Beobachtungshilfsmittel zur Verfügung haben als in der damaligen Zeit. Dies ist jedoch ein häufig beschriebener Umstand, welcher derartigen Langzeitanalysen zugrunde liegt (z. B. Sparks et al. 2001). Sparks et al. (2007) gehen sogar davon aus, dass die im Rahmen solcher Studien identifizierten Veränderungen der Zugphänologie wegen der rückläufigen Populationsgrößen bei vielen Arten noch ausgeprägter sein sollten als vielfach beschrieben. Zwar besitzen phänologische Beobachtungsdatenreihen zur Beschreibung von Zugzeitenveränderungen methodisch betrachtet Defizite gegenüber Studien basierend auf standardisierten Ringfunden (z. B. Hüppop & Hüppop 2005), jedoch ermöglichen es oftmals nur solche Beobachtungsdaten den vollen möglichen Umfang von Veränderungen aufzudecken und Veränderungen bis in Zeiträume hinein zu betrachten als noch keine der heute gängigen Fang- und Beringungsmethoden etabliert waren. Bei der Einordnung der Studienergebnisse ist ebenfalls zu beachten, dass sich die ausgewerteten Ankunftsdaten auf die jeweils frühesten beobachteten Individuen und nicht die Mediane / Mittelwerte der Ankünfte sämtlicher Mitglieder oder der Zugzeit einer (Meta-)Population beziehen. Die Unterscheidung ist von Bedeutung, da es in allen Vogelpopulationen einzelne Individuen gibt, die außergewöhnlich zeitig in ihren Brutgebieten eintreffen. Die Übersicht von Lehikoinen et al. (2004) zeigt, dass die unterschiedlichen Messgrößen spezifische Vor- und Nachteile besitzen, aber alle dazu geeignet sind Veränderungen im Zuggeschehen aussagekräftig zu identifizieren und zu beschreiben.

Unter den im Ergebnisteil als heute in der Region regelmäßig überwinternden aufgeführten Arten fehlen solche, die zwar durchaus häufig über die Wintermonate im Brutgebiet verweilen, jedoch vor ihrer Gesangsphase verhaltensabhängig mitunter schwer visuell nachweisbar sind wie etwa Heckenbraunelle und Singdrossel *Turdus philomelos*. Bei diesen Arten ist denkbar, dass auch im historischen Zeitraum einzelne Individuen die Winter vor Ort überdauerten und erst die vernommenen Gesänge als Erstbeobachtungsdatum notiert worden sind. Damit bestehen bei einzelnen Arten nicht beseitigbare Unschärfen, ob des letztlich genauen Zeitpunktes ihres historischen Auftretens im Kasseler Raum (vgl. dazu Feige 2022). Begegnet wurde dieser Unsicherheit im Datenbestand damit, dass für den gegenwärtigen Zeitraum ebenfalls jeder dokumentierte Beobachtungsbeleg einer Art als solcher in die Auswertung einfloss und wie in der historischen Datenreihe keine mögliche Differenzierung zwischen Erstbeobachtung und Erstgesang vorgenommen wurde. Die Quantität der festgestellten Unterschiede in den jeweils belegten Frühjahrsankünften, einschließlich ihrer geringen statistischen Varianz, spricht letztlich aber dafür, dass diese Studie einen weiteren aussagekräftigen Beleg hinsichtlich langzeitlicher Zugveränderungen von Vögeln liefert, der zum besseren Verständnis der Einflüsse des globalen Wandels auf die Avifauna Deutschlands beiträgt.

5 Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse dieser Studie belegen, dass sich in den zurückliegenden 180 Jahren oftmals gravierende Verfrühungen in den Frühjahrsankünften von Zug- und Strichvögeln im Kasseler Raum vollzogen, welche auch im Zusammenhang mit den sich verändernden Klimabedingungen im Rahmen des Globalen Wandels stehen. Vielfach liegen die Unterschiede zwischen dem historischen und gegenwärtigen Ankunftszeitpunkt nicht nur im Bereich von wenigen Tagen, sondern bei vielen Arten konsistent bei mehreren Wochen früher im Jahr. Die ermittelten phänologischen Trends innerhalb der vergangenen zwanzig Jahre zeigen zudem, dass die klimatischen Einflüsse auf den Zug vieler Arten in jüngerer Vergangenheit zuzunehmen scheinen. Viele Arten reagierten in Richtung und Ausmaß, wie dies bereits durch Untersuchungen an anderen Orten belegt wurde. Dagegen weisen andere Arten scheinbar keine oder bisher unerklärliche Anpassungen ihrer Zugstrategie auf. Insbesondere bei diesen Arten lohnen sich demnach weitere Studien, um diese scheinbaren Artspezifika zu erforschen. Es wird jedoch im Allgemeinen deutlich, dass Veränderungen im Zugverhalten von Vögeln komplexe wie vielschichtige Ursachen haben und in manchen Fällen kaum auf einen Haupttreiber zurückzuführen sind.

Unsere Studie ist darüber hinaus ein weiterer Beleg, dass die Archivierung und Digitalisierung historischer wie neuerer Schriftquellen für die Erstellung und Fortführung von avifaunistischen Langzeitdatenreihen von großem Wert sind und solche historischen Daten Grundlage für Vergleiche sein können, mit denen weitere Erkenntnisse in den komplexen Zusammenhängen des Vogelzugs gewonnen werden können. Gleiches gilt für freie und leicht zugängliche Daten auf Basis von „Citizen Science“, wie sie beispielsweise im Rahmen von „ornitho.de“ erfasst und archiviert sind, und gegenwärtig und zukünftig wohl einen ebenso wichtigen Bestandteil wissenschaftlicher Analysen bilden werden

(z. B. König et al. 2019). Aus der vergleichenden Betrachtung historischer und aktueller Daten ergeben sich daher wertvolle Einblicke in vergangene phänologische und ökologische Verhältnisse, woraus ein vertieftes Verständnis für stattgefundene oder laufende Veränderungen resultiert und die Möglichkeit besteht zukünftige Entwicklungen besser vorhersagen zu können. Trotz bereits möglicher Prognosen bleibt abzuwarten, welche weiteren Veränderungen der Klimawandel für Zugvögel in der Zukunft mit sich bringt und welche ökologischen Folgen aus ihnen entstehen werden.

Dank
Wir danken Stefan Stübing (Bad Nauheim) und Gert Rosenthal (Universität Kassel) für wertvolle Diskussionen und Anregungen zum Manuskript sowie der Hessischen Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz e. V. (HGON) für die Unterstützung in der Bearbeitung der Studie. Dank gilt auch der Nordhessischen Gesellschaft für Naturkunde und Naturwissenschaften e. V. (NGNN) für die umfassende Digitalisierung der historischen Jahresberichte des Vereins für Naturkunde zu Cassel, da ohne den freien Zugriff diese Studie wohl nicht zustande gekommen wäre.

6 Zusammenfassung

Der gegenwärtige und zukünftige globale Wandel wird erhebliche Effekte auf Arten haben, die sich zu ihrem Überleben mittels verschiedener Strategien gegenüber den damit verbundenen Veränderungen anpassen müssen. Vögel, insbesondere Zugvögel, gelten über Adaptionen ihres Zugverhaltens als besonders anpassungsfähig gegenüber Klimawandel bedingten Veränderungen ihrer Umwelt. Viele Studien, die diese Zusammenhänge im europäischen Kontext untersuchen, betrachten jedoch nur eine vergleichsweise kurze Zeitspanne von wenigen Jahrzehnten oder nur wenige Arten. In dieser Studie analysieren wir einen der vermutlich frühesten und zugleich umfangreichsten Datensätze zur Zugvogelphänologie aus dem zentralen deutschen Raum, der zwischen 1842 und 1865 durch den lokalen Verein für Naturkunde in Kassel erstellt wurde und insgesamt 62 Arten umfasst. Diesen historischen Datensatz vergleichen wir mit gegenwärtigen Daten zur Erstbeobachtung derselben Zugvogelarten aus den vergangenen 20 Jahren (2002—2022) für den gleichen Raum um Kassel (Hessen), welche entweder im Rahmen lokaler Beobachtungen publiziert oder durch „Citizen Science“ erhoben wurden. Die Ziele unserer Untersuchung bestanden darin, Langzeitveränderungen der Frühjahrsankünfte dieser Arten zwischen dem historischen und aktuellen Zeitraum zu untersuchen, Trends zur Zugverschiebung innerhalb beider Zeiträume zu analysieren sowie den historischen und aktuellen Zugverlauf im Frühjahr zu beschreiben. Auf Unterschiede im beobachteten Erstankunftsdatum der Arten wurde mittels Varianzanalyse (ANOVA) getestet und Trends innerhalb der Zeiträume durch lineare Regressionsmodelle untersucht. Von den ursprünglich 62 Zug- und Strichvogelarten konnten wir Aussagen für 57 Arten treffen: 48 Arten zeigten zwischen den Zeiträumen eine statistisch signifikante Verfrühung ihrer beobachteten Frühjahrsankunft, während nur eine Art signifikant später eintraf und acht Arten keine Veränderungen zeigten. Innerhalb des historischen Zeitraums zeigte nur eine Art den Trend zu einer früheren Frühjahrsankunft und 14 Arten wiesen einen positiven Trend zur zunehmenden Verspätung ihrer Frühjahrsankunft auf. Im Gegensatz dazu besaß innerhalb der letzten 20 Jahre nur noch eine Art den Trend zur Verspätung ihrer beobachteten Frühjahrsankunft, während elf Arten in der Region signifikant immer früher im Jahr beobachtet wurden. Der historische Frühjahrszug der betrachteten Arten spannte sich im Mittel über eine Zeitspanne von 107 Tage (vom 107. bis zum 140. Tag des Jahres), wohingegen sich dieser gegenwärtig über eine Spanne von 136 Tagen (im Mittel vom 1. bis zum 136. Tag des Jahres) erstreckte. Unsere Ergebnisse bestätigen somit bei den meisten Vogelarten den grundsätzlichen Trend zur phänologischen Verfrühung ihres Frühjahrszugs, wie er bereits durch verschiedene Studien belegt wurde. Jedoch zeigen unsere Ergebnisse, dass diese Verfrühung bei vielen Arten noch einmal ausgeprägter ist als dies Vergleichsstudien aufgrund ihres vielfach kürzeren Vergleichszeitraums festgestellt haben, weshalb somit bisher das wahre Ausmaß der Frühjahrszugverfrühung für einige Arten in Deutschland nicht umfänglich belegt zu sein worden scheint. Dies ist insbesondere bei Strichvögeln der Fall, welche mittlerweile aufgrund des milderen Winter- und Frühjahrsklimas vielfach im Raum Kassel überwintern und somit den Charakter von Standvögeln besitzen. Wir folgern daraus, dass der fortschreitende Klimawandel den Frühjahrszug vieler Arten wesentlicher beeinflusst als dies durch historische Klimaschwankungen in der Vergangenheit der Fall war und zeigen auf, dass nicht nur historische, einzig schriftlich in Archiven festgehaltene und bislang nicht ausgewertete Zugbeobachtungsdaten, sondern auch heutige im Rahmen von „Citizen Science“ erhobene Beobachtungsdaten von großem Wert für der Erforschung von Auswirkungen des globalen Wandels auf die Avifauna Deutschlands und Mitteleuropas sind.

7 Literatur

Barthel PH & Krüger T 2019: Liste der Vögel Deutschlands, Version 3.2, Deutsche Ornithologen-Gesellschaft (Hrsg). Radolfzell.

Baur F 1975: Abweichungen der Monatsmittel der Temperatur Mitteleuropas vom 210-jährigen Mittelwert (1761–1970). Beilage zur Berliner Wetterkarte 76/75.

Berthold P 2012: Vogelzug. Eine aktuelle Gesamtübersicht. 7. Auflage. Wiss. Buchges., Darmstadt.

Bosco L, Xu Y, Deshpande P & Lehikoinen A 2022: Range shifts of overwintering birds depend on habitat type, snow conditions and habitat specialization. Oecologia 199: 725–736. DOI: 10.1007/s00442-022-05209-5

Both C, Bouwhuis S, Lessells C & Visser ME 2006: Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. Nature 441: 81–83. DOI: 10.1038/nature04539

Cotton PA 2003: Avian migration phenology and global climate change. PNAS 100: 12219–12222. DOI: 10.1073/pnas.1930548100

DWD / Climate Data Center 2023: Jährliche Gebietsmittel der Lufttemperatur (Jahresmittel) in °C (2 m Höhe), Version v19.3., URL: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/regional_averages_DE/annual/air_temperature_mean/regional_averages_tm_year.txt, Zugriff: 22. Januar 2023.

Feige K-D 2022: Zum Wert der Erfassung von Sangesbeginns- und Erstbeobachtungs-Daten der Vögel. Acta ornithoecologica 9(4): 251-275.

Fiedler W 2017: Änderungen im Brut- und Zugverhalten bei Vögeln. In: Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hrsg): Rundgespräche Forum Ökologie. Bd. 46: 43–56.

Fischer S 2002: Frühjahrsankunft ziehender Singvogelarten in Berlin über 26 Jahre. Berl. ornithol. Ber. 12: 145–166.

Gebhardt L & Sunkel W 1954: Die Vögel Hessens. Verlag Waldemar Kramer, Frankfurt am Main.

HGON-AK Kassel / Hessische Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz e.V. – Arbeitskreis Kassel & NABU-Kassel / Naturschutzbund Deutschland – Kreisverband Kassel Stadt und Land 2003: Vogelkundliche Mitteilungen aus dem Kasseler Raum 22/2003. Eigenverlag, Habichtswald.

HGON-AK Kassel / Hessische Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz e.V. & NABU-Kassel / Naturschutzbund Deutschland – Kreisverband Kassel Stadt und Land 2005: Vogelkundliche Mitteilungen aus dem Kasseler Raum 23/2005. Eigenverlag, Habichtswald.

HGON-AK Kassel / Hessische Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz e.V. & NABU-Kassel / Naturschutzbund Deutschland — Kreisverband Kassel Stadt und Land 2007: Vogelkundliche Mitteilungen aus dem Kasseler Raum 24/2007. Eigenverlag, Habichtswald.

HGON-AK Kassel / Hessische Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz e.V. & NABU-Kassel / Naturschutzbund Deutschland — Kreisverband Kassel Stadt und Land 2011: Vogelkundliche Mitteilungen aus dem Kasseler Raum 25/2011. Eigenverlag, Habichtswald.

HGON-AK Kassel / Hessische Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz e.V. & NABU-Kassel / Naturschutzbund Deutschland — Kreisverband Kassel Stadt und Land 2013: Vogelkundliche Mitteilungen aus dem Kasseler Raum 26/2013. Eigenverlag, Kassel.

HGON-AK Kassel / Hessische Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz e.V. & NABU-Kassel / Naturschutzbund Deutschland – Kreisverband Kassel Stadt und Land 2015: Vogelkundliche Mitteilungen aus dem Kasseler Raum 27/2015. Eigenverlag, Kassel.

Hölzinger J 2001: *Cuculus canorus* Linnaeus, 1758 – Kuckuck. In: Hölzinger J (Hrsg): Die Vögel Baden-Württembergs, Bd. 2. Nicht-Singvögel, 3. Pteroclidae (Flughühner) – Picidae (Spechte). Stuttgart.

Hüppop K & Hüppop O 2005: Atlas zur Vogelberingung auf Helgoland. Teil 3: Veränderungen von Heim- und Wegzugzeiten von 1960 bis 2001. Vogelwarte 43: 217–248.

IPCC 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Genf.

Junghans K 1890: Phänologische Beobachtungen für Kassel, Frühjahr 1890. In: Ornithologische Monatsschrift 15: 258–261.

Junghans K 1897: Veränderungen in der Vogelfauna der Umgegend von Kassel. In: Ackermann KC (Hrsg): 42. Jahresbericht über die Thätigkeit des Vereins für Naturkunde in Cassel – Abhandlungen und Berichte des Vereins für Naturkunde Cassel 42: 96–102.

Keller V, Herrando S, Voříšek P, Franch M, Kipson M, Milanesi P, Martí D, Anton M, Klvanová A, Kalyakin MV, Bauer HG & Foppen RPB 2020: European breeding bird atlas 2: Distribution, abundance and change. Lynx Edicions/European Bird Census Council (EBCC): Barcelona.

Kersting H & Landgrebe A 1845: Beobachtungen über die Ankunft der Zugvögel bei Kassel im Frühjahre 1844. In: Schwarzenberg A (Hrsg): Neunter Jahresbericht über die Thätigkeit des Vereins für Naturkunde in Cassel – Abhandlungen und Berichte des Vereins für Naturkunde Cassel 9: 11–12.

Kersting H, Landgrebe A, Sezekorn E, Hentze R & Gläsner JG 1843: Über die Ankunft der Zugvögel bei Cassel im Frühjahre 1842 und die gleichzeitig blühenden Pflanzen. In: Philippi RA (Hrsg): Siebenter Jahresbericht über die Thätigkeit des Vereins für Naturkunde in Cassel – Abhandlungen und Berichte des Vereins für Naturkunde Cassel 7: 9.

Kersting H, Landgrebe E & Sezekorn E 1846: Beobachtungen über die Zeit der Ankunft der Zugvögel bei Kassel im Frühjahr 1845. In: Philippi R A (Hrsg): Zehnter Jahresbericht über die Thätigkeit des Vereins für Naturkunde in Cassel – Abhandlungen und Berichte des Vereins für Naturkunde Cassel 10: 10–11.

Kersting OCR 1847: Überzug oder Winteraufenthalt der Vögel und die Witterungsverhältnisse in Rinteln während der Frühjahre 1845 und 1846. In: Philippi R A (Hrsg): Elfter Jahresbericht über die Thätigkeit des Vereins für Naturkunde in Cassel – Abhandlungen und Berichte des Vereins für Naturkunde Cassel 11: 7–11.

Kluen E, Nousiainen R & Lehikoinen A 2017: Breeding phenological response to spring weather conditions in common Finnish birds: resident species respond stronger than migratory species. J Avian Biol 48: 611–619. DOI: 10.1111/jav.01110

Kolářová E & Adamík P 2015: Bird arrival dates in Central Europe based on one of the earliest phenological networks. Clim. Res. 63: 91–98. DOI: 10.3354/cr01290

Koleček J, Adamík P & Reif J 2020: Shifts in migration phenology under climate change: temperature vs. abundance effects in birds. Climatic Change 159: 177–194. DOI: 10.1007/s10584-020-02668-8

König C, Stübing S & Wahl J 2019: Frühjahr 2019: Wie verlief die Ankunft der Zugvögel?. Der Falke 7: 28–33.

Kooiker G 2018: Vögel und Klimaerwärmung: 41-jährige phänologische Beobachtungen in und um Osnabrück von 1976 bis 2017 – neue Ergebnisse 2005 bis 2017. Vogelkdl. Ber. Niedersachs. 46: 227–241.

Landgrebe A & Sezekorn E 1844: Zeit der Ankunft der Zugvögel bei Kassel im Frühjahre 1843. In: Philippi RA (Hrsg): Achter Jahresbericht über die Thätigkeit des Vereins für Naturkunde in Cassel – Abhandlungen und Berichte des Vereins für Naturkunde Cassel 8: 9–11.

Landgrebe E 1847: Beobachtungen über Ankunft der Zugvögel bei Kassel im Frühjahr 1846. In: Philippi RA (Hrsg): Elfter Jahresbericht über die Thätigkeit des Vereins für Naturkunde in Cassel – Abhandlungen und Berichte des Vereins für Naturkunde Cassel 11: 12.

Lehikoinen E, Sparks T H & Zalakevicius M 2004: Arrival and departure dates. Advances in Ecol. Res. 35: 1–31. DOI: 10.1016/S0065-2504(04)35001-4

Nordt B, Hensen I, Bucher SF, Freiberg M, Primack RB, Stevens A-D, Bonn A, Wirth C, Jakubka D, Plos C, Sporbert M, Römermann C 2021: The PhenObs initiative – A standardised protocol for monitoring phenological responses to climate change using herbaceous plant species in botanical gardens. Funct. Ecol. 35: 821–834. DOI: 10.1111/1365-2435.13747

Peintinger M & Schuster S 2005: Veränderungen der Erstankünfte bei häufigen Zugvogelarten in Südwestdeutschland. Vogelwarte 43: 161–169.

Pulido F 2007: Phenotypic changes in spring arrival: evolution, phenotypic plasticity, effects of weather and condition. Clim. Res. 35: 5–23. DOI: 10.3354/cr00711

R Core Team 2022: *R*. A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing. Wien, Austria. https://www.R-project.org/.

Renner K, Fritsch U, Zebisch M, Wolf M, Schmuck A, Ölmez C, Schönthaler K, Porst L, Voß M, Wolff A & Jay M 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Teilbericht 2: Risiken und Anpassung im Cluster Land. Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg). Dessau-Roßlau.

Saino N, Rubolini D, Lehikoinen E, Sokolov LV, Bonisoli-Alquati A, Ambrosini R, Boncoraglio G & Moller AP 2009: Climate change effects on migration phenology may mismatch brood parasitic cuckoos and their hosts. Biol. Lett. 5: 539–541. DOI: 10.1098/rsbl.2009.0312

Schaffrath U 1996: Die Vogellisten des Eduard Sezekorn. Eine erste Bestandsaufnahme der Avifauna Nordhessens aus den Jahren 1836–1839. Philippia 7/5: 355–378.

Schmidt E & Hüppop K 2007: Erstbeobachtung und Sangesbeginn von 97 Vogelarten in den Jahren 1963 bis 2006 in einer Gemeinde im Landkreis Parchim (Mecklenburg-Vorpommern). Vogelwarte 45: 27–58.

Sezekorn E 1864–1866: Beobachtungen über die Ankunft sowie den Durchgang der Zug- und Strichvögel in der Umgegend von Kassel in den Jahren 1845 bis 1865. In: Sezekorn E (Hrsg): Abhandlungen und Berichte des Vereins für Naturkunde Kassel 15: 103–107.

Sezekorn E & Kersting H 1847: Verzeichnis über die Ankunft mehrerer Zugvögel in der Umgebung von Kassel im Frühjahre 1846. In: Philippi RA (Hrsg): Elfter Jahresbericht über die Thätigkeit des Vereins für Naturkunde in Cassel – Abhandlungen und Berichte des Vereins für Naturkunde Cassel 11: 12–13.

Sparks TH, Bairlein F, Bojarinova JG, Hüppop O, Lehikoinen EA, Rainio K, Sokolov LV & Walker D 2005: Examining the total arrival distribution of migratory birds. Glob. Change Biol. 11: 22–30. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2004.00887.x

Sparks TH, Huber K, Bland RL, Crick HQP, Croxton PJ, Flood J, Loxton RG, Mason CF, Newnham JA & Tryjanowski P 2007: How consistent are trends in arrival (and departure) dates of migrant birds in the UK?. J. Ornithol. 148: 503–511. DOI: 10.1007/s10336-007-0193-6

Sparks TH, Roberts DR & Crick HQP 2001: What is the value of first arrival dates of spring migrants in phenology?. Avian Ecol. Behav. 7: 75–85.

VSW / Staatliche Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland & HGON / Hessische Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz 2015: Rote Liste der bestandsgefährdeten Brutvogelarten Hessens, 10 Fassung. Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) (Hrsg). Wiesbaden.

Witt K 2009: Kommt der Kuckuck (*Cuculus canorus*) in Berlin „zu spät“ aus dem Winterquartier zurück?. Berl. ornithol. Ber. 19: 15–20.

Wittig R, Becker U & Nawrath S 2010: Grassland loss in the vicinity of a highly prospering metropolitan area from 1867/68 to 2000—The example of the Taunus (Hesse, Germany) and its Vorland. Landsc Urban Plan 95: 175–180. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2010.01.001

8 Anhang

Tab. 1: Liste der 62 beobachteten Vogelarten, deren Frühjahrsankunft im historischen (1842–1865) Zeitraum dokumentiert wurde im Vergleich mit denen im gegenwärtigen (2002–2022) Zeitraum; n: Anzahl der Beobachtungen, TdJ: Tag des Jahres (Median), *SE*: Standardfehler, *F(df)*: *F*-Wert und Freiheitsgrade der Varianzanalyse (ANOVA), Signifikanz: * $p < 0{,}05$, ** $p < 0{,}01$, *** $p < 0{,}001$. – *List of the 62 species whose spring arrivals were documented in the historic (1842–1865) period, and a comparison to those with spring arrival dates in the current (1991–2010) period; n: number of observations, TdJ: day of the year (median), SE: standard error, F-value and degrees of freedom of the ANOVA, Significance:* * $p < 0{,}05$, ** $p < 0{,}01$, *** $p < 0{,}001$.

Art – *species*	1842–1865			2002–2022			ANOVA F(df)
	n	TdJ	SE	n	TdJ	SE	
Acrocephalus arundinaceus[1]	-	-	-	15	122	3,06	-
Acrocephalus palustris	22	140	1,67	19	130	1,94	$18{,}64_{(1,39)}^{***}$
Acrocephalus scirpaceus	27	126	1,39	21	113	1,01	$53{,}27_{(1,46)}^{***}$
Alauda arvensis	23	54	2,28	21	43	4,56	$16{,}27_{(1,42)}^{***}$
Anthus trivialis	25	109	1,43	21	102	1,56	$9{,}235_{(1,44)}^{**}$
Apus apus	27	115	1,11	21	110	1,25	$11{,}52_{(1,46)}^{***}$
Buteo buteo	21	64	1,28	16	2	3,53	$268{,}5_{(1,26)}^{***}$
Charadrius dubius	21	110	2,39	21	88	1,92	$56{,}24_{(1,40)}^{***}$
Chloris chloris	24	78	2,42	15	1	1,33	$537{,}3_{(1,37)}^{***}$
Ciconia ciconia	25	90	2,69	21	61	5,7	$37{,}29_{(1,44)}^{***}$
Coccothraustes coccothraustes	22	62	3,54	14	8	3,22	$94{,}36_{(1,34)}^{***}$
Coloeus monedula	21	34	1,34	17	2	2,72	$91{,}11_{(1,36)}^{***}$
Columba oenas	23	69	2,2	13	59	7,59	$8{,}608_{(1,34)}^{**}$
Columba palumbus	25	72	2,82	16	1	1,76	$336{,}7_{(1,39)}^{***}$
Coturnix coturnix	22	139	1,65	16	136	3,93	$2{,}062_{(1,36)}^{ns}$
Crex crex[1]	22	150	1,71	-	-	-	-
Cuculus canorus	27	118	1,79	20	110	1,52	$11{,}26_{(1,45)}^{**}$
Delichon urbicum	25	120	1,35	21	93	1,26	$164{,}2_{(1,44)}^{***}$
Emberiza schoeniclus	22	93	3,12	21	61	4,58	$45{,}05_{(1,41)}^{***}$
Erithacus rubecula	23	77	2,42	19	5	6,23	$79{,}35_{(1,40)}^{***}$
Ficedula hypoleuca	25	121	2,14	19	110	1,42	$8{,}932_{(1,42)}^{**}$
Fringilla coelebs	22	59	2,16	19	1	4,07	$111{,}2_{(1,39)}^{***}$
Fulica atra	22	104	1,74	18	1	0,91	$2257_{(1,38)}^{***}$
Gallinula chloropus	21	105	3,76	20	1	1,58	$518{,}3_{(1,39)}^{***}$
Grus grus	23	80	2,47	21	15	3,15	$255{,}7_{(1,42)}^{***}$
Hippolais icterina	25	105	1,03	19	126	1,32	$17{,}04_{(1,42)}^{***}$
Hirundo rustica	27	102	1,29	20	84	1,26	$85{,}24_{(1,45)}^{***}$
Jynx torquilla	27	107	1,02	18	112	1,77	$2{,}797_{(1,43)}^{ns}$
Lanius collurio	22	131	1,06	17	128	1,67	$5{,}457_{(1,37)}^{*}$

Art – *species*	1842–1865			2002–2022			ANOVA F(df)
	n	TdJ	SE	n	TdJ	SE	
Lanius senator[1]	21	123	1,39	-	-	-	-
Lullula arborea	21	67	1,41	10	70	2,84	$1{,}762_{(1,29)}^{ns}$
Luscinia megarhynchos	27	113	1,02	21	106	0,83	$30{,}57_{(1,46)}^{***}$
Luscinia svecica	23	77	2,01	18	85	2,21	$9{,}055_{(1,39)}^{**}$
Milvus milvus	24	68	1,55	20	10	4,57	$121{,}9_{(1,42)}^{***}$
Motacilla alba	25	66	3,38	21	6	3,81	$100{,}1_{(1,44)}^{***}$
Motacilla flava	22	122	1,54	21	93	1,06	$231{,}6_{(1,41)}^{***}$
Muscicapa striata	23	130	1,55	15	125	1,57	$2{,}368_{(1,36)}^{ns}$
Oenanthe oenanthe	22	106	1,08	21	103	2,16	$0{,}85_{(1,41)}^{ns}$
Oriolus oriolus	26	133	1,19	12	135	2,25	$0{,}673_{(1,36)}^{ns}$
Phoenicurus ochruros	27	82	1,65	21	20	5,79	$85{,}82_{(1,46)}^{***}$
Phoenicurus phoenicurus	27	105	1,41	20	99	1,36	$9{,}001_{(1,45)}^{**}$
Phylloscopus collybita	27	87	1,91	20	62	5,66	$35{,}94_{(1,45)}^{***}$
Phylloscopus sibilatrix	27	117	1,31	21	110	1,86	$10{,}85_{(1,46)}^{**}$
Phylloscopus trochilus	27	104	1,3	21	93	1,19	$45{,}43_{(1,46)}^{***}$
Prunella modularis	26	82	2,19	21	11	5,31	$97{,}17_{(1,45)}^{***}$
Riparia riparia	22	123	1,18	20	95	2,21	$108_{(1,40)}^{***}$
Saxicola rubetra	23	122	1,41	21	109	1,42	$46{,}24_{(1,42)}^{***}$
Saxicola rubicola	23	105	2,87	16	73	5,82	$34{,}97_{(1,37)}^{***}$
Scolopax rusticola	24	73	2,91	20	67	6,65	$1{,}759_{(1,42)}^{ns}$
Serinus serinus[1]	-	-	-	21	72	5,31	-
Streptopelia turtur	23	135	1,97	12	128	2,7	$3{,}067_{(1,33)}^{ns}$
Sturnus vulgaris	25	53	3,6	18	3	2	$110{,}4_{(1,41)}^{***}$
Sylvia atricapilla	27	106	1,33	21	86	7,3	$34{,}32_{(1,46)}^{***}$
Sylvia borin	26	133	1,41	21	114	0,97	$111{,}3_{(1,45)}^{***}$
Sylvia communis	25	124	1,23	21	112	0,82	$62{,}41_{(1,44)}^{***}$
Sylvia curruca	27	108	1,51	21	102	0,99	$10{,}88_{(1,46)}^{**}$
Turdus iliacus	23	89	2,6	20	21	4,76	$150_{(1,41)}^{***}$
Turdus philomelos	27	68	1,99	20	54	4,09	$19{,}23_{(1,45)}^{***}$
Turdus pilaris	22	68	3,03	15	1	3,36	$170{,}6_{(1,35)}^{***}$
Turdus viscivorus	21	42	2,95	21	1	1,18	$128{,}1_{(1,40)}^{***}$
Upupa epops[1]	23	109	1,02	-	-	-	-
Vanellus vanellus	23	69	1,68	20	49	4,46	$37{,}01_{(1,41)}^{***}$

ns: nicht-signifikanter Unterschied. – *non-significant difference*.

[1] Vergleiche aufgrund unzureichender Datenbasis entweder im historischen oder gegenwärtigen Zeitraum nicht möglich.

Tab. 2: Trendanalyse über Veränderungen der Frühjahrsankunft zu den 62 beobachteten Vogelarten innerhalb des historischen (1842–1865) und gegenwärtigen (2002–2022) Zeitraums; n: Anzahl der Beobachtungen, R^2: Gütemaß der linearen Regression, β: Steigungskoeffizient des linearen Modells, *F(df)*: *F*-Wert und Freiheitsgrade der linearen Regression, Signifikanz: * $p < 0{,}05$, ** $p < 0{,}01$, *** $p < 0{,}001$. – *Trend analyses for changes of spring arrivals for the 62 species within the historic (1842-1865) and current (2002-2010) period; n: number of observations, R^2: coefficient of determination,* β: regression coefficient, *F-value and degrees of freedom of the linear model, Significance: * $p < 0{,}05$, ** $p < 0{,}01$, *** $p < 0{,}001$.*

Art – *species*	**1842–1865**				**2002–2022**			
	n	**R^2**	**β**	**F(df)**	**n**	**R^2**	**β**	**F(df)**
Acrocephalus arundinaceus	-	-	-	-	15	0,001	$0{,}017^{ns}$	$0{,}014_{(1,13)}^{ns}$
Acrocephalus palustris	22	0,223	0.383*	$5{,}725_{(1,20)}^{*}$	19	0,107	$0{,}242^{ns}$	$2{,}044_{(1,17)}^{ns}$
Acrocephalus scirpaceus	27	0,16	0,393*	$4{,}746_{(1,25)}^{*}$	21	0,039	$-0{,}265^{ns}$	$0{,}775_{(1,19)}^{ns}$
Alauda arvensis	23	0,008	$0{,}057^{ns}$	$0{,}179_{(1,21)}^{ns}$	21	0,036	$-0{,}057^{ns}$	$0{,}72_{(1,19)}^{ns}$
Anthus trivialis	25	0,005	$0{,}071^{ns}$	$0{,}122_{(1,23)}^{ns}$	21	0,302	-0,478**	$8{,}232_{(1,19)}^{**}$
Apus apus	27	0,275	0,644**	$9{,}478_{(1,25)}^{**}$	21	0,195	0,479*	$4{,}591_{(1,19)}^{*}$
Buteo buteo	21	0,042	$0{,}216^{ns}$	$0{,}828_{(1,19)}^{ns}$	16	0,059	$-0{,}107^{ns}$	$0{,}879_{(1,14)}^{ns}$
Charadrius dubius	21	0,141	$-0{,}213^{ns}$	$3{,}113_{(1,19)}^{ns}$	21	0,004	$-0{,}044^{ns}$	$0{,}074_{(1,19)}^{ns}$
Chloris chloris	24	0,006	$0{,}045^{ns}$	$0{,}143_{(1,22)}^{ns}$	15	0,096	$-0{,}409^{ns}$	$1{,}379_{(1,13)}^{ns}$
Ciconia ciconia	25	0,276	-0,27**	$8{,}798_{(1,23)}^{**}$	21	0,579	-0,181***	$26{,}18_{(1,19)}^{***}$
Coccothraustes coccothraustes	22	0,001	$-0{,}013^{ns}$	$0{,}021_{(1,20)}^{ns}$	14	0,643	-0,395***	$21{,}63_{(1,12)}^{***}$
Coloeus monedula	21	0,051	$0{,}228^{ns}$	$1{,}015_{(1,19)}^{ns}$	17	0,003	$-0{,}03^{ns}$	$0{,}042_{(1,15)}^{ns}$
Columba oenas	23	0,009	$0{,}063^{ns}$	$0{,}205_{(1,21)}^{ns}$	13	0,338	-0,142*	$5{,}621_{(1,11)}^{*}$
Columba palumbus	25	0,236	0,238*	$7{,}094_{(1,23)}^{*}$	16	0,148	$-0{,}373^{ns}$	$2{,}43_{(1,14)}^{ns}$
Coturnix coturnix	22	0,012	$-0{,}090^{ns}$	$0{,}235_{(1,20)}^{ns}$	16	0,0002	$-0{,}007^{ns}$	$0{,}004_{(1,14)}^{ns}$
Crex crex	22	0,003	$0{,}044^{ns}$	$0{,}060_{(1,20)}^{ns}$	-	-	-	-
Cuculus canorus	27	0,202	0,343*	$6{,}345_{(1,25)}^{*}$	20	0,064	$0{,}224^{ns}$	$1{,}236_{(1,18)}^{ns}$
Delichon urbicum	25	0,285	0,566**	$9{,}184_{(1,23)}^{**}$	21	0,075	$-0{,}294^{ns}$	$1{,}536_{(1,19)}^{ns}$
Emberiza schoeniclus	22	0,036	$0{,}084^{ns}$	$0{,}750_{(1,20)}^{ns}$	21	0,081	$-0{,}084^{ns}$	$1{,}67_{(1,19)}^{ns}$
Erithacus rubecula	23	0,0008	$-0{,}016^{ns}$	$0{,}017_{(1,21)}^{ns}$	19	0,399	-0,146**	$11{,}28_{(1,17)}^{**}$
Ficedula hypoleuca	25	0,218	0,302*	$6{,}398_{(1,23)}^{*}$	19	0,003	$0{,}056^{ns}$	$0{,}048_{(1,17)}^{ns}$
Fringilla coelebs	22	0,030	$0{,}108^{ns}$	$0{,}615_{(1,20)}^{ns}$	19	0,103	$-0{,}113^{ns}$	$1{,}942_{(1,17)}^{ns}$
Fulica atra	22	0,295	0,433**	$8{,}372_{(1,20)}^{**}$	18	0,001	$-0{,}055^{ns}$	$0{,}018_{(1,16)}^{ns}$
Gallinula chloropus	21	0,090	$0{,}108^{ns}$	$1{,}885_{(1,19)}^{ns}$	20	0,006	$0{,}052^{ns}$	$0{,}12_{(1,18)}^{ns}$
Grus grus	23	0,205	0,269*	$5{,}424_{(1,21)}^{*}$	21	0,001	$-0{,}015^{ns}$	$0{,}024_{(1,19)}^{ns}$
Hippolais icterina	25	0,012	$0{,}145^{ns}$	$0{,}285_{(1,23)}^{ns}$	19	0,068	$0{,}284^{ns}$	$1{,}24_{(1,17)}^{ns}$
Hirundo rustica	27	0,336	0,614**	$12{,}66_{(1,25)}^{**}$	20	0,025	$-0{,}166^{ns}$	$0{,}458_{(1,18)}^{ns}$
Jynx torquilla	27	0,0002	$0{,}020^{ns}$	$0{,}006_{(1,25)}^{ns}$	18	0,17	$-0{,}342^{ns}$	$3{,}268_{(1,16)}^{ns}$
Lanius collurio	22	0,236	0,641*	$6{,}169_{(1,20)}^{*}$	17	0,039	$-0{,}159^{ns}$	$0{,}604_{(1,15)}^{ns}$
Lanius senator	21	0,081	$0{,}278^{ns}$	$1{,}676_{(1,19)}^{ns}$	-	-	-	-

Tab. 2: Fortsetzung.

Art – *species*	1842–1865				2002–2022			
	n	R^2	β	F(df)	n	R^2	β	F(df)
Lullula arborea	21	0,020	$0{,}136^{ns}$	$0{,}393_{(1,19)}^{ns}$	10	0,417	-0,462*	$5{,}719_{(1,8)}^{*}$
Luscinia megarhynchos	27	0,062	$0{,}336^{ns}$	$1{,}673_{(1,25)}^{ns}$	21	0,020	$-0{,}234^{ns}$	$0{,}395_{(1,19)}^{ns}$
Luscinia svecica	23	0,010	$-0{,}070^{ns}$	$0{,}207_{(1,21)}^{ns}$	18	0,191	$-0{,}305^{ns}$	$3{,}765_{(1,16)}^{ns}$
Milvus milvus	24	0,403	0,593***	$14{,}83_{(1,22)}^{***}$	20	0,383	-0,192**	$11{,}15_{(1,18)}^{**}$
Motacilla alba	25	0,020	$0{,}060^{ns}$	$0{,}478_{(1,23)}^{ns}$	21	0,030	$-0{,}062^{ns}$	$0{,}598_{(1,19)}^{ns}$
Motacilla flava	22	0,0003	$-0{,}016^{ns}$	$0{,}006_{(1,20)}^{ns}$	21	0,094	$-0{,}393^{ns}$	$1{,}97_{(1,19)}^{ns}$
Muscicapa striata	23	0,099	$0{,}287^{ns}$	$2{,}315_{(1,21)}^{ns}$	15	0,094	$0{,}347^{ns}$	$1{,}357_{(1,13)}^{ns}$
Oenanthe oenanthe	22	0,142	$0{,}471^{ns}$	$3{,}314_{(1,20)}^{ns}$	21	0,352	-0,371**	$10{,}31_{(1,19)}^{**}$
Oriolus oriolus	26	0,043	$0{,}238^{ns}$	$1{,}081_{(1,24)}^{ns}$	12	0,027	$0{,}143^{ns}$	$0{,}279_{(1,10)}^{ns}$
Phoenicurus ochruros	27	0,117	$0{,}283^{ns}$	$3{,}309_{(1,25)}^{ns}$	21	0,058	$-0{,}056^{ns}$	$1{,}177_{(1,19)}^{ns}$
Phoenicurus phoenicurus	27	0,032	$0{,}173^{ns}$	$0{,}819_{(1,25)}^{ns}$	20	0,058	$0{,}239^{ns}$	$1{,}113_{(1,18)}^{ns}$
Phylloscopus collybita	27	0,064	$0{,}182^{ns}$	$1{,}716_{(1,25)}^{ns}$	20	0,006	$-0{,}018^{ns}$	$0{,}103_{(1,18)}^{ns}$
Phylloscopus sibilatrix	27	0,042	$0{,}215^{ns}$	$1{,}105_{(1,25)}^{ns}$	21	0,005	$0{,}054^{ns}$	$0{,}107_{(1,19)}^{ns}$
Phylloscopus trochilus	27	0,011	$-0{,}112^{ns}$	$0{,}29_{(1,25)}^{ns}$	21	0,064	$0{,}289^{ns}$	$1{,}305_{(1,19)}^{ns}$
Prunella modularis	26	0,019	$0{,}085^{ns}$	$0{,}455_{(1,24)}^{ns}$	21	0,177	$-0{,}107^{ns}$	$4{,}081_{(1,19)}^{ns}$
Riparia riparia	22	0,025	$-0{,}191^{ns}$	$0{,}518_{(1,20)}^{ns}$	20	0,004	$-0{,}038^{ns}$	$0{,}065_{(1,18)}^{ns}$
Saxicola rubetra	23	0,16	$0{,}385^{ns}$	$3{,}999_{(1,21)}^{ns}$	21	0,197	-0,425*	$4{,}673_{(1,19)}^{*}$
Saxicola rubicola	23	0,002	$0{,}02^{ns}$	$0{,}053_{(1,21)}^{ns}$	16	0,329	-0,133*	$6{,}877_{(1,14)}^{*}$
Scolopax rusticola	24	0,029	$0{,}081^{ns}$	$0{,}673_{(1,22)}^{ns}$	20	0,16	$-0{,}081^{ns}$	$3{,}419_{(1,18)}^{ns}$
Serinus serinus	-	-	-	-	21	0,043	$0{,}053^{ns}$	$0{,}854_{(1,19)}^{ns}$
Streptopelia turtur	23	0,127	$0{,}244^{ns}$	$3{,}065_{(1,21)}^{ns}$	12	0,134	$0{,}223^{ns}$	$1{,}544_{(1,10)}^{ns}$
Sturnus vulgaris	25	0,020	$-0{,}056^{ns}$	$0{,}474_{(1,23)}^{ns}$	18	0,0001	$-0{,}007^{ns}$	$0{,}002_{(1,16)}^{ns}$
Sylvia atricapilla	27	0,011	$0{,}109^{ns}$	$0{,}287_{(1,25)}^{ns}$	21	0,0003	$0{,}003^{ns}$	$0{,}006_{(1,19)}^{ns}$
Sylvia borin	26	0,032	$0{,}176^{ns}$	$0{,}784_{(1,24)}^{ns}$	21	0,017	$0{,}181^{ns}$	$0{,}322_{(1,19)}^{ns}$
Sylvia communis	25	0,287	0,592**	$9{,}269_{(1,23)}^{**}$	21	0,134	$-0{,}605^{ns}$	$2{,}949_{(1,19)}^{ns}$
Sylvia curruca	27	0,000	$0{,}0002^{ns}$	$0{,}000_{(1,25)}^{ns}$	21	0,059	$-0{,}334^{ns}$	$1{,}201_{(1,19)}^{ns}$
Turdus iliacus	23	0,252	0,267*	$7{,}083_{(1,21)}^{*}$	20	0,063	$-0{,}075^{ns}$	$1{,}203_{(1,18)}^{ns}$
Turdus philomelos	27	0,000	$-0{,}002^{ns}$	$0{,}0002_{(1,25)}^{ns}$	20	0,275	-0,178*	$6{,}819_{(1,18)}^{*}$
Turdus pilaris	22	0,021	$0{,}065^{ns}$	$0{,}424_{(1,20)}^{ns}$	15	0,226	$-0{,}238^{ns}$	$3{,}792_{(1,13)}^{ns}$
Turdus viscivorus	21	0,017	$0{,}059^{ns}$	$0{,}321_{(1,19)}^{ns}$	21	0,104	$0{,}369^{ns}$	$2{,}195^{(1,19)ns}$
Upupa epops	23	0,083	$0{,}398^{ns}$	$1{,}901_{(1,21)}^{ns}$	-	-	-	-
Vanellus vanellus	23	0,001	$0{,}031^{ns}$	$0{,}031_{(1,21)}^{ns}$	20	0,009	$-0{,}028^{ns}$	$0{,}155_{(1,18)}^{ns}$

ns: nicht-signifikanter Unterschied. – *non-significant difference.*

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Vogelwarte - Zeitschrift für Vogelkunde

Jahr/Year: 2023

Band/Volume: 61_2023

Autor(en)/Author(s): Hirschauer Fabian, Stanik Nils

Artikel/Article: Veränderungen in der Frühjahrszugphänologie von Vogelarten im Raum Kassel (Hessen) über einen Zeitraum von 180 Jahren 179-193