Mögliche Einflüsse von Wetter und Wasserstand auf Brutbestand und Produktivität des Teichrohrsängers (*Acrocephalus scirpaceus*) am Eich-Gimbsheimer Altrhein (Rheinland-Pfalz)

von **Anna Christine KUNZ, Kathrin JÄCKEL, Thilo VOLZ, Eva Maria GRIEBELER und Dieter Thomas TIETZE**

Inhaltsübersicht

Zusammenfassung
Summary
1 Einleitung
2 Material und Methoden
2.1 Untersuchungsgebiet
2.2 Fangmethode und Datenerhebung
2.3 Meteorologische Daten und Grundwasserdaten
2.4 Statistische Datenauswertung
3 Ergebnisse
4 Diskussion
5 Gesamtfazit / Schlussbemerkungen
6 Dank
7 Literatur
Anhang

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BPG	Brutpopulationsgröße
DWD	Deutscher Wetterdienst
EGA	Eich-Gimbsheimer Altrhein
FFH	Flora-Fauna-Habitat
HK	Hauptkomponente
HKA	Hauptkomponentenanalyse
Hrsg.	Herausgeber
IMS	Integriertes Monitoring von Singvogelpopulationen
ISMEGA	Integriertes Singvogelmonitoring am Eich-Gimbsheimer Altrhein
Mittl.	mittlere
NHN	Normalhöhe Null
stdl.	stündlich
Sum.	Summe
Tab.	Tabelle
VG	Verbandsgemeinde

Zusammenfassung

Das Wetter und die Verfügbarkeit von Wasser sind bekannte Einflussfaktoren auf Singvogelpopulationen, die in Zeiten des rezenten Klimawandels an Bedeutung für deren Überleben gewinnen. Insbesondere in Feuchtgebieten wie dem Eich-Gimbsheimer Altrhein, dem Untersuchungsgebiet dieser Studie und in dem der Teichrohrsänger (*Acrocephalus scirpaceus*) als Habitatspezialist und Langstreckenzieher brütet, sollte zudem der Grundwasserstand einen großen Einfluss auf dessen Produktivität haben. Um einen Zusammenhang zwischen den beiden abiotischen Faktoren Wetter und Grundwasserstand und dem Brutbestand und der Produktivität des Teichrohrsängers zu prüfen, haben wir regionale Wetter- und Grundwasserdaten mit Fangdaten aus 18 Jahren Integrierten Singvogelmonitorings am Eich-Gimbsheimer Altrhein (ISMEGA) miteinander korreliert. Das ISMEGA ist Teil des deutschlandweit durchgeführten Langzeitmonitorings Integriertes Monitoring von Singvogelpopulationen (IMS) und findet im Natura-2000-Schutzgebiet Eich-Gimbsheimer Altrhein regelmäßig seit 2005 statt. Wir konnten einen signifikanten Rückgang der Teichrohrsängerpopulation über 18 Jahre zeigen. Im gleichen Zeitraum gelang es uns, neben einer signifikanten Erwärmung, mit milderen Wintern und Temperaturanstieg im Hochsommer, auch eine zunehmende Austrocknung des Gebietes durch abnehmende Niederschläge und eine parallel dazu steigende Verdunstung aufzuzeigen sowie einen signifikanten Anstieg der Globalstrahlung. Diese Witterungsveränderungen könnten das sensible Gleichgewicht zwischen dem Brutbeginn und dem damit einhergehenden Nahrungsbedarf der Nestlinge und der Verfügbarkeit von Nahrung für diese in ausreichender Menge, vor allem bei Zugvögeln, empfindlich stören. Unsere Analysen lieferten signifikante Zusammenhänge zwischen der Höhe des Grundwassers, der Temperatur, dem Niederschlag und einigen anderen Wetterparametern vor allem mit der Produktivität des Teichrohrsängers und weniger mit dessen Brutbestand. Insgesamt haben wir mit unserer Studie einen signifikanten Einfluss von Wetter und Grundwasserstand auf die Produktivität und den Brutbestand des Teichrohrsängers am Eich-Gimbsheimer Altrhein nachgewiesen, die beide vermutlich zum alarmierenden Populationsrückgang dieses dort einst häufigsten Singvogels beigetragen haben. Um ein lokales Aussterben des Teichrohrsängers in naher Zukunft zu verhindern, halten wir die konsequente Umsetzung bzw. eine Ausweitung der Schutz- und Pflegemaßnahmen am Eich-Gimbsheimer Altrhein für dringend erforderlich.

Summary

Weather and water availability are known to influence songbird populations, becoming even more meaningful for their survival in times of the recent climate change. Especially in wetlands such as “Eich-Gimbsheimer Altrhein”, the study area where Eurasian Reed Warbler (*Acrocephalus scirpaceus*) as a habitat specialist and long-distance

migrant breeds, ground-water level is also expected to exhibit a large influence on productivity. In order to test for a relationship between the two abiotic factors weather and ground-water level and breeding population size and productivity of Eurasian Reed Warbler, we correlated regional weather and ground-water data with mist-netting data from 18 years of constant-effort site monitoring at "Eich-Gimbsheimer Altrhein" (ISMEGA). ISMEGA is part of the nationwide constant-effort site monitoring in Germany (IMS) and has taken place in the Natura 2000 reserve "Eich-Gimbsheimer Altrhein" since 2005. We found a significant decrease of the reed-warbler population over 18 years. For the same period, we could show significant warming, milder winters, temperature rise in mid-summer, ongoing exsiccation of the area by lower precipitation and higher evaporation as well as a significant increase of global solar radiation. These weather changes could disrupt the sensitive balance between onset of breeding and the consequent need for food for the nestlings and the availability of food in sufficient amount, especially in migratory birds. We found significant correlations between ground-water level, temperature, precipitation and several other weather parameters and rather reed-warbler productivity than breeding population. In summary, we proofed a significant impact of weather and ground-water level on productivity and breeding population of Eurasian Reed Warbler at "Eich-Gimbsheimer Altrhein", both expected to have contributed to the alarming population shrinking of the formerly most common songbird species there. In order to prevent a local extinction of the reed warbler in the near future, we consider the consequent realisation or even extension of the protection and preservation measures in the reserve.

1 Einleitung

Der Einfluss der rezenten Klimaveränderungen auf die Artenvielfalt ist vielfach Gegenstand aktueller Forschung (Knudsen et al. 2011, Pearce-Higgins et al. 2015). Meteorologische Parameter, wie Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, Windstärke und Verdunstung, bilden die Basis der Klimaforschung. Kurz-, mittel- und langfristige Veränderungen von regionalen und globalen Wettereffekten beeinflussen Vögel in vielfältiger und teils komplexer Weise (Woodworth et al. 2017, Haest, Hüppop & Bairlein 2018). Global beobachtete und dokumentierte Phänomene, wie die Änderungen von Verbreitungsgebieten, Zugphänologien, Zugrouten und Überwinterungsgebieten (Ambrosini et al. 2011, Morganti 2015) oder auch der starke Rückgang bis hin zum Aussterben von Arten, geben Anlass zur Sorge. Vögel, die in Feuchtgebieten leben, sind in besonderer Weise von Habitatverlusten durch abnehmende Niederschlagsmengen, Entwässerungsmaßnahmen und sinkenden Grundwasserstand bedroht (Kingsford, Basset & Jackson 2016, Dudley 2021). Die Entwicklung von Singvogelpopulationen über die Zeit unterliegt verschiedenen Einflüssen. Umweltbedingungen wie das Wetter und auch Ressourcen wie das Grundwasser sind abiotische Faktoren und haben neben biotischen Faktoren wie der Populationsdichte einen Einfluss auf das Wachs-

Abb. 1: Teichrohrsänger (*Acrocephalus scirpaceus*), adult, 8. Juni 2019, Foto: Kathrin JÄCKEL.

Abb. 2: Teichrohrsänger (*Acrocephalus scirpaceus*), diesjährig, 10. August 2019, Foto: Kathrin JÄCKEL.

tum und die Dynamik von Populationen (BAIRLEIN 1996). Das Zusammenwirken verschiedener biotischer und abiotischer Einflussfaktoren auf Singvogelpopulationen ist komplex und stellt eine Herausforderung für die Analyse von Populationsveränderungen dar (KOLEČEK, ADAÍK & REIF 2020). Langfristig erhobene Daten aus Monitoringprojekten können dazu beitragen, den Einfluss des regionalen Wetters auf die Populationsentwicklung von Arten besser zu verstehen und geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Das Integrierte Singvogelmonitoring am Eich-Gimbsheimer Altrhein (ISMEGA), eingebettet in das deutschlandweite Integrierte Singvogelmonitoring (IMS), läuft bereits seit 2005 und untersucht die Vogelpopulation im Feuchtgebiet dieses ausgewiesenen Vogelschutzgebietes (SACCAVINO, JÄCKEL & TIETZE 2017).

Die Brutpopulation des Teichrohrsängers (Abb. 1) findet am Eich-Gimbsheimer Altrhein (EGA) mit ausgedehnten Schilfbeständen einen idealen Lebensraum (DIETZEN et al. 2017). Innerhalb seines Habitats bevorzugt der Teichrohrsänger nach SCHULZE-HAGEN (2001) eher seichte Wasserstände von bis zu 70 cm, die meisten Nester werden über einem durchschnittlichen Wasserstand von etwa 20 cm im Schilf gebaut. Anthropogene Eingriffe in den Wasserhaushalt, wie ein Absinken des Grundwasserspiegels, aber auch sinkende Niederschlagsmengen, können das sensible ökologische Gleichgewicht in Feuchtgebieten mit Schilfbeständen stören (SCHULZE-HAGEN 2001, JIMÉNEZ et al. 2018). Die Brutpopulation des Teichrohrsängers machte bis vor wenigen Jahren einen Großteil der gesamten Vogelpopulation am EGA aus (TIETZE et al. 2020). Der starke Populationsrückgang des Teichrohrsängers verändert Zusammensetzung, Diversität und Abundanz der gesamten Vogelpopulation am EGA in hohem Maße. Der Teichrohrsänger ist als Langstreckenzieher in vielerlei Hinsicht generell von regionalen Wettereinflüssen, aber auch globalen Klimaveränderungen bedroht (BOTH et al. 2010, JIMÉNEZ et al. 2018).

Ob eine Gesamtpopulation wächst oder schrumpft, steht in direktem Zusammenhang mit ihrer Produktivität. Die Produktivität ist der Anteil der Jungvögel (Abb. 2) an der Gesamtpopulation der untersuchten Art. Als Brutpopulationsgröße (nachfolgend mit BPG abgekürzt) wird die Anzahl adulter Vögel in einer Population bezeichnet. Für BPG und Produktivität lassen sich Trends über die Zeit identifizieren und mit möglichen Einflussfaktoren in Verbindung bringen. Ob meteorologisch-klimatische Veränderungen und Veränderungen des Grundwasserspiegels den starken Populationsrückgang des Teichrohrsängers im Untersuchungsgebiet erklären können, ist die Kernfrage dieser Arbeit.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Der EGA ist eines von 172 Natura-2000-Schutzgebieten in Rheinland-Pfalz. NATURA 2000 ist ein EU-weites Netzwerk von Gebieten zum Schutze von Flora, Fauna

und Habitaten (FFH) bzw. Vögeln (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz 2010). Der EGA ist ein Feuchtgebiet in Rheinhessen, das mit ca. 300 ha Schilf das größte zusammenhängende Schilfgebiet in ganz Rheinland-Pfalz aufweist (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz 2010) (Abb. 3). Anthropogene Eingriffe in den Wasserhaushalt in Form eines innerhalb des Naturschutzgebietes errichteten Schließwerks regulieren das Volumen des im Naturschutzgebiet eingestauten Wassers. Die geschlossene Schließe führt zur Anstauung von Wasser im Naturschutzgebiet und verlangsamt damit den Verlandungsprozess des Altrheins. Bei Überschreiten eines gerichtlich festgelegten Grundwasserpegels von 85,50 m NHN wird die Schließe geöffnet, damit das eingestaute Wasser über einen Kanal in den Rhein abfließen kann (Verbandsgemeinde

Abb. 3: Eich-Gimbsheimer Altrhein (rot unterlegt) in der Satellitenansicht. Roter Pfeil: Lage des IMS-Standorts. Roter Kreis: Standort der in dieser Arbeit verwendeten Grundwassermessstelle 2101. Blauer Stern: Lage Wetterstation Eich. Satellitenbild: RGB-Bild Sentinel-2 Mission ESA, bearbeitet von M. Thurein.

EICH 2023) und somit die umliegenden Gemeinden vor Überflutung bei sehr hohen Wasserpegeln geschützt werden können. Im gesetzlich vorgeschriebenen Bewirtschaftungsplan im Rahmen von NATURA 2000 ist die Einhaltung der Grundwasserpegel-Obergrenze als wichtige Maßnahme für die Erreichung wesentlicher ausgeschriebener naturschützerischer Zielvorgaben aufgeführt (INGENIEURBÜRO BRAUNER 2017).

2.2 Fangmethode und Datenerhebung

Seit 2005 findet im Naturschutzgebiet EGA das ISMEGA statt. Die Daten zur dort ansässigen Vogelpopulation haben sowohl ehrenamtliche Teilnehmer und Teilnehmerinnen (Citizen Science) als auch Studenten und Studentinnen und wissenschaftliche Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen im Rahmen universitärer Lehrveranstaltungen innerhalb der jährlichen Brutsaison von Mai bis August nach der Methode der Constant Effort Sites (PEACH, BAILLIE & BALMER 1998) erhoben, die auf präzise festgelegten, konstanten und einheitlichen Fangbedingungen für alle teilnehmenden Standorte in Deutschland basiert (BAIRLEIN, BAUER & DORSCH 2000). Die Vögel werden mit 6 und 12 m langen Japannetzen gefangen. Die Gesamtnetzlänge betrug in den ersten Jahren 260 m, verteilt auf Netzstandorte in den Habitaten Wald, Gebüsch und Schilf. Seit einer Schilfüberflutung im Jahr 2013 haben wir die Gesamtnetzlänge auf 168 m reduziert. Alle gefangenen Vögel haben wir nach Art, Geschlecht und Alter bestimmt (WINKLER & JENNI 2007, SVENSSON 2023) und Erstfänge mit Ringen der zuständigen Beringungszentrale Radolfzell (MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR VERHALTENSBIOLOGIE) beringt (Abb. 1, 2), darüber hinaus die Masse und den Allgemeinzustand (Fettdeposition, Brustmuskulaturausprägung, Mauserstatus, Parasitenbefall usw.) und nach Möglichkeit weitere morphologische Daten der Fänglinge ermittelt. Die Dokumentation von Wiederfängen, also bereits beringter Individuen, ermöglicht die Ermittlung von Überlebensraten und die Untersuchung phänologischer Fragestellungen. Die europaweite Vernetzung von Beringungsprojekten (EURING – THE EUROPEAN UNION FOR BIRD RINGING 2011) kann im Fall von gemeldeten wiedergefangenen Vögeln Aufschlüsse über Zugrichtung und Entfernung oder Ort der Überwinterung geben. Für die Berechnung der BPG und der Produktivität haben wir in dieser Studie jährliche Fangzahlen mit Artbezeichnung, Alter und Ringnummer der gefangenen Individuen der ISMEGA-Projektdaten verwendet.

2.3 Meteorologische Daten und Grundwasserdaten

Um den Einfluss des Wetters auf die BPG und die Produktivität des Teichrohrsänger zu untersuchen, haben wir monatliche und jährliche meteorologische Daten von 2004 bis 2022 der Wetterstation Eich von der Homepage der Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz (DIENSTLEISTUNGSZENTREN LÄNDLICHER RAUM RHEINLAND-PFALZ 2023) genutzt.

Die Wetterstation befindet sich am südlichen Rand des Untersuchungsgebietes (49,75° N, 8,38° E, Abb. 3) auf einer Höhe von 95 m über NHN. Es stehen Wetterdaten zur Verfügung, die der Wetterdienstleister über Stunden-, Tages-, Monats- oder Jahreswerte aggregiert hat und die für individuell einstellbare Zeiträume frei verfügbar sind. Eine detaillierte Aufstellung der von uns verwendeten Variablen, des vom Wetterdienstleister verwendeten Variablen-Codes, ihrer Berechnungsgrundlage, der verwendeten Messgröße und Einheit sowie ihrer Bedeutung befindet sich in Tab. A1. Alle von uns in dieser Studie verwendeten Wettervariablen und deren Messgrößen sind in Tab. 1 gelistet.

Tab. 1: Wettervariablen und deren Messgrößen, die in dieser Studie verwendet wurden.

Variable	**Messgröße**
Lufttemperatur	Minimum, Mittel, Maximum (täglich)
Bodentemperatur	Minimum, Mittel, Maximum (täglich)
Niederschlag	Summe, Maximum (täglich), Maximum (stündlich)
Windgeschwindigkeit	Mittel, Maximum (täglich), Maximum (stündlich)
Verdunstung	Summe (Berechnung nach FAO56)
Luftfeuchte (relativ)	Minimum, Mittel
Globalstrahlung	Minimum, Maximum (täglich), Maximum (stündlich), Summe
Regentage	Anzahl
Hitzetage	Anzahl
Frosttage	Anzahl

Die Wettervariable Globalstrahlung beinhaltet sowohl direkte Solarstrahlung als auch Diffusstrahlung, die z. B. durch Wolken oder Partikel in der Luft gestreut wird. Die Wettervariable Verdunstung (nach FAO56) wird vom Wetterdienstleister mit Hilfe der Penman-Monteith-Gleichung (PM-Gleichung) berechnet, die wiederum die Variablen Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung verrechnet (Calanca et al. 2011).

Variablen, die in der Messgröße des Minimums bzw. Maximums zu identischen Werten führten, haben wir in unserer Analyse nicht berücksichtigt. Dies betrifft die Variablen Niederschlag (Minimum 0 bei Tagen ohne Niederschlag), Windgeschwindigkeit (Minimum bei windstillen Stunden bzw. Tagen) und Luftfeuchte (Maximum bei 100 % erreicht).

Die von uns verwendeten Grundwasserdaten sind frei und online verfügbar. Sie stammen vom Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität Rheinland-Pfalz 2023) und sind i. d. R. wöchentliche bis monatliche Pegelstände, gemessenen an der Messstelle 2101 im EGA auf 85,92 m über NHN (Abb. 3).

2.4 Statistische Datenauswertung

Die statistische Auswertung haben wir mithilfe von R 4.3.1 (R CORE TEAM 2023) und der Benutzeroberfläche R-Studio 2023.06.2+561 (POSIT TEAM, POSIT SOFTWARE, PBC 2023) durchgeführt und dabei die R-Pakete openxlsx (SCHAUBERGER & WALKER 2023), WriteXLS (SCHWARTZ & various authors for Perl modules listed in each .pm file. 2022) und readxl (WICKHAM & BRYAN 2023) genutzt. Korrelationsanalysen haben wir mit zuvor normalisierten Daten gerechnet.

2.4.1 Analysen von Wetter- und Grundwasserveränderungen mit Monats- und Jahreswerten

Für die Darstellung von allgemeinen jährlichen Trends der Wetterentwicklung über den Zeitraum 2004 bis 2022 haben wir die Daten des Wetterdienstleisters zu Jahreswerten aggregiert (Tab. 2), für die Analyse von jährlichen Grundwasserveränderungen zwischen 2004 und 2022 jährliche arithmetische Mittelwerte der monatlichen arithmetischen Mittel für die i. d. R. wöchentlich gemessenen Grundwasserstände berechnet.

Für die Darstellung von Trends haben wir mit dem R-Paket ggplot2 (WICKHAM 2016) Streudiagramme für signifikante Korrelationen erstellt, eine Regressionsgerade berechnet und diese mit ihrem 95%-Konfidenzintervall im entsprechenden Streudiagramm eingezeichnet. Prozentuale Zu- oder Abnahmen bei signifikanten Korrelationen einzelner Wettervariablen und der Zeit in Jahren haben wir auf Basis der Gleichungen der Regressionsgeraden berechnet.

Tab. 2: Wetter- und Grundwasservariablen, deren jährliche Daten für die Korrelation mit der Zeit verwendet wurden. Angegeben sind die Variable und deren verwendete Messgröße.

Variable	**Messgröße**
Mittl. Lufttemperatur	Jährliches Mittel der täglichen Messwerte
Max. Bodentemperatur	Jährliches Maximum der täglichen Messwerte
Max. Niederschlag	Jährliches Maximum der stündlichen Messwerte
Mittl. Windgeschwindigkeit	Jährliches Mittel der täglichen Messwerte
Verdunstung	Jährliche Summe (Berechnung nach FAO56)
Globalstrahlung	Jährliche Summe der Messwerte
Regentage	Jährliche Anzahl
Hitzetage	Jährliche Anzahl
Frosttage	Jährliche Anzahl
Grundwasser	Jährliches Mittel des i. d. R. wöchentlich gemessenen Grundwasserstandes

Um Veränderungen des Wetters der einzelnen Monate über die Zeit feststellen zu können, haben wir die vom Wetterdienstleister zur Verfügung gestellten, über Monatswerte aggregierten Daten (z. B. Daten aller Januare, Februare etc. von 2004 bis 2022) verwendet. Letztere basieren auf stündlich bzw. täglich gemessenen Werten (Tab. 3). Für die monatlichen Analysen des Grundwasserstands haben wir monatliche arithmetische Mittel für die i. d. R. wöchentlich gemessenen Grundwasserstände berechnet.

Tab. 3: Wetter- und Grundwasservariablen, deren monatliche Daten für die Korrelation mit der Zeit verwendet wurden. Angegeben sind die Variable und deren verwendete Messgröße.

Variable	**Messgröße**
Mittl. Lufttemperatur	Monatliches Mittel der täglichen Messwerte
Max. Bodentemperatur	Monatliches Mittel des Maximums der täglichen Messwerte
Max. Niederschlag	Monatliches Mittel des Maximums der stündlichen Messwerte
Mittl. Windgeschwindigkeit	Monatliches Mittel der täglichen Messwerte
Verdunstung	Monatliche Summe (Berechnung nach FAO56)
Globalstrahlung	Monatliches Maximum der stündlichen Messwerte
Regentage	Monatliche Anzahl
Hitzetage	Monatliche Anzahl
Frosttage	Monatliche Anzahl
Grundwasser	Monatliches Mittel des i. d. R. wöchentlich gemessenen Grundwasserstandes

2.4.2 Analyse von Veränderungen der jährlichen BPG und Produktivität des Teichrohrsängers von 2005 bis 2022

In dieser Arbeit haben wir die Rohdatensätze zum Teichrohrsänger (*Acrocephalus scirpaceus*) aus dem Projekt ISMEGA von 2005 bis 2022 verwendet. In unsere Analysen sind keine Wiederfänge innerhalb einer Fangsaison und kaum Vögel ohne Altersbestimmung eingegangen (Tab. A2 bis A4). Der zur Berechnung der BPG verwendete Datensatz enthält alle altersbestimmten, nicht-diesjährigen Vögel (Abb. 1). In die Berechnung der Produktivität sind alle altersbestimmten Vögel inklusive aller Jungvögel (diesjährig) (Abb. 2) eingegangen. Die Produktivität ist in Prozent angegeben und wie folgt berechnet: Anzahl Jungvögel / Anzahl altersbestimmte Gesamtfänge * 100.

Um signifikante Veränderungen in der jährlichen BPG und der Produktivität über die Zeit feststellen zu können, haben wir Korrelationsanalysen der BPG bzw. Produktivität des Teichrohrsängers und der Zeit (in Jahren) durchgeführt.

Um festzustellen, ob die jährlichen BPG des Teichrohrsängers maßgeblich von dessen vorjähriger Produktivität abhängen, haben wir die Produktivität des Teichrohrsängers mit der BPG im Folgejahr korreliert.

2.4.3 Korrelation der BPG und der Produktivität mit Wetter- und Grundwasservariablen

Für die Korrelation der Wetter- und Grundwasserdaten mit der jährlichen Produktivität bzw. BPG des Teichrohrsängers haben wir zunächst monatliche Mittelwerte für die Monate Januar bis August berechnet (Tab. 2) und diese dann über diesen Zeitraum wieder gemittelt, da sich die Umweltbedingungen dieser Monate unmittelbar auf die Brutsaison auswirken. Analog haben wir Wetter- und Grundwasserdaten der Monate September bis Dezember mit der jährlichen BPG und der jährlichen Produktivität des Folgejahres korreliert, da die Fangdaten nur von Mai bis August erhoben werden und sich potenzielle Auswirkungen von Wetter und Grundwasserstand ab September erst im Folgejahr auf die Fangzahlen und die Produktivität des Teichrohrsängers auswirken können.

2.4.4 Hauptkomponentenanalysen (HKAs)

Um den individuellen Beitrag und die Interkorrelation der einzelnen Wettervariablen besser verstehen zu können, haben wir HKAs für alle zwölf Monate (z. B. Monatsmittel für alle Januare, alle Februare etc.) durchgeführt. Ein weiteres Ziel dieser HKAs war die Reduzierung von vielen verschiedenen Variablen auf wenige Hauptkomponenten, die den Einfluss des Wetters auf die BPG und Produktivität des Teichrohrsängers erklären könnten.

Für die HKAs haben wir die Daten aller für die jeweilige Wettervariable verfügbaren Messgrößen (Minimum, Mittelwert, Maximum, Summe) verwendet (Tab. 4).

Daten zu Variablen, die auf stündlich erhobenen Messwerten basieren, konnten wir nicht in unseren HKAs verwenden, da diese erst seit 2007 bzw. 2008 vom Wetterdienstleister erhoben werden und damit diese Datensätze nicht die gleiche Anzahl an Daten haben. Die Daten der Variable Verdunstung existieren ebenfalls erst seit 2008 beim Wetterdienstleister und ließen daher ebenfalls nicht in den HKAs verwenden. Durch die Verwendung der Variable relative Luftfeuchtigkeit in den HKAs sind jedoch die Daten aller zur Berechnung der Verdunstung nach FO56 erforderlichen Variablen indirekt Bestandteil der HKAs.

Die Variablen Regen-, Hitze- und Frosttage haben wir nicht in den HKAs verwendet, da diese mit anderen Variablen (z. B. Regentage mit Niederschlag) stark korrelieren. Die Variable Grundwasserstand haben wir aufgrund eines starken anthropogenen Einflusses auf sie ebenfalls nicht in den HKAs berücksichtigt.

Tab. 4: Wettervariablen, deren Daten in den HKAs verwendet wurden. Angegeben ist die jeweilige Variable und deren verwendete Messgröße.

Variable	**Messgröße**
Mittl. Lufttemperatur	Monatliches Mittel der täglichen Messwerte
Min. Lufttemperatur	Monatliches Minimum der täglichen Messwerte
Max. Lufttemperatur	Monatliches Maximum der täglichen Messwerte
Mittl. Bodentemperatur	Monatliches Mittel der täglichen Messwerte
Min. Bodentemperatur	Monatliches Minimum der täglichen Messwerte
Max. Bodentemperatur	Monatliches Maximum der täglichen Messwerte
Sum. Niederschlag	Monatliche Summe der täglichen Messwerte
Max. Niederschlag	Monatliches Maximum der täglichen Messwerte
Mittl. Windgeschwindigkeit	Monatliches Mittel der täglichen Messwerte
Min. Windgeschwindigkeit	Monatliches Minimum der täglichen Messwerte
Max. Windgeschwindigkeit	Monatliches Maximum der täglichen Messwerte
Min. Globalstrahlung	Monatliches Minimum der täglichen Messwerte
Max. Globalstrahlung	Monatliches Maximum der täglichen Messwerte
Sum. Globalstrahlung	Monatliche Summe der täglichen Messwerte
Mittl. Luftfeuchtigkeit	Monatliches Mittel der täglichen Messwerte
Min. Luftfeuchtigkeit	Monatliches Minimum der täglichen Messwerte

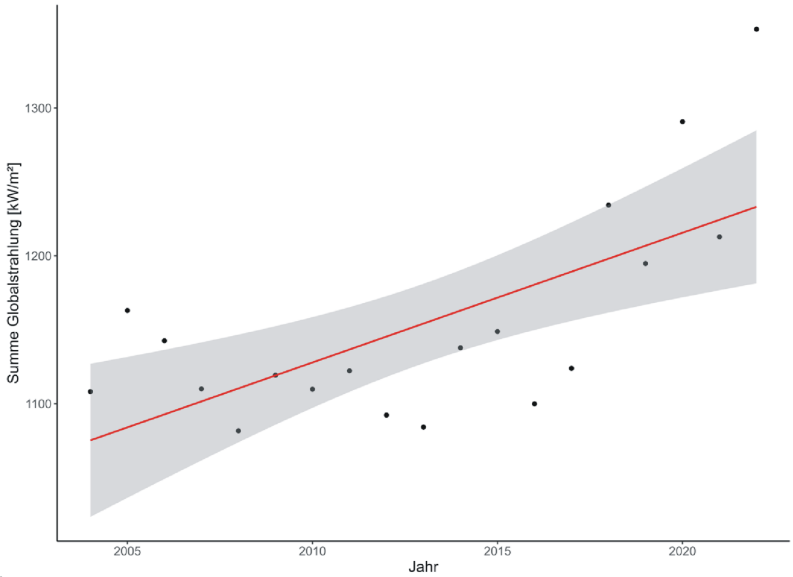
Die zwölf HKAs haben wir mit der R-Funktion prcomp durchgeführt. Der Übergabeparameter scale dieser Funktion wurde auf TRUE gesetzt, sodass die Werte aller Variablen vor der eigentlichen Berechnung der HKA standardisiert wurden. Um die Ladungsanteile der einzelnen Hauptkomponenten (HKs) beurteilen zu können, haben wir Ladungsmatrizen erstellen lassen. Hauptkomponenten mit Eigenwerten ≥ 1,0 haben wir extrahiert und diese mit den Populationsvariablen Produktivität und BPG des Teichrohrsängers korreliert.

3 Ergebnisse

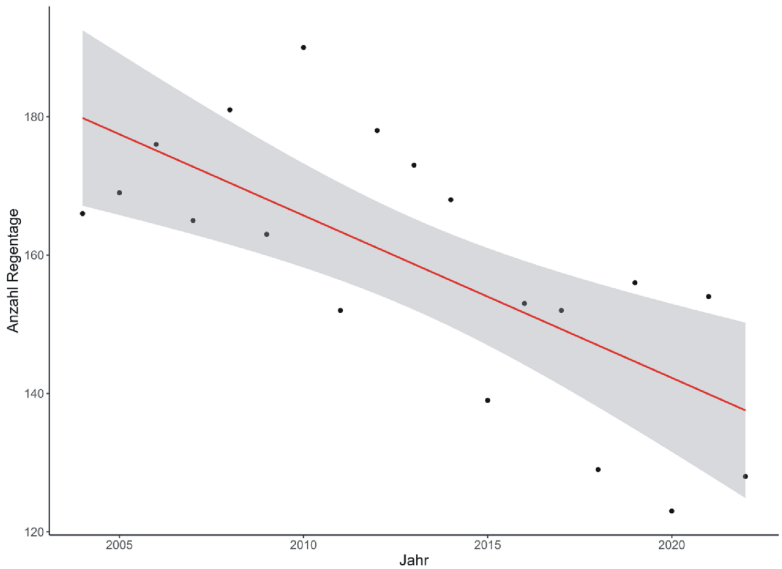
3.1 Veränderungen der Wetter- und Grundwasserwerte von 2004 bis 2022

3.1.1 Veränderungen der jährlichen Wetterdaten von 2004 bis 2022

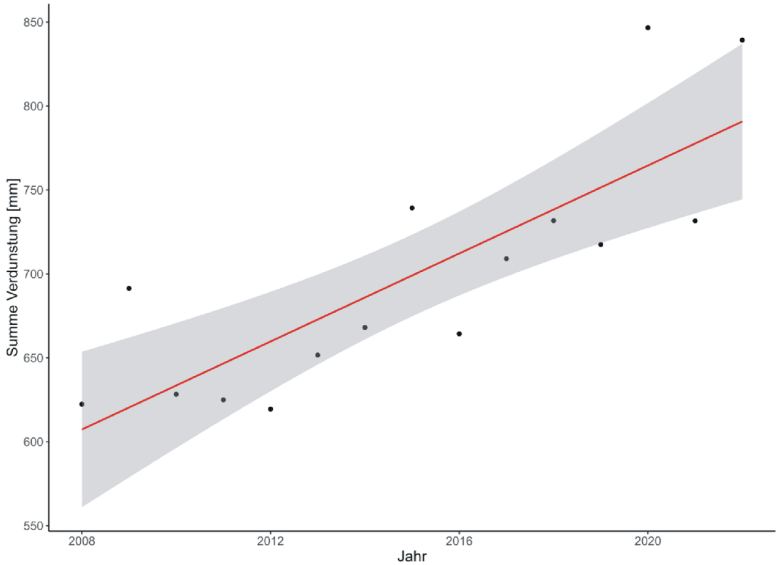
Die auf das Gesamtjahr bezogene Analyse des Wetters am EGA im Zeitraum 2004 bis 2022 zeigte einen signifikanten Anstieg der Globalstrahlung ($r = 0{,}675$; $p = 0{,}002$), der in den letzten fünf Jahren begann (Abb. 4a). Die berechnete Regressionsgerade zeigt einen prozentualen Anstieg der Summe der Globalstrahlung um 14,70 % im Gesamtzeitraum. Für die Anzahl der Regentage konnten wir einen signifikant negativen Trend feststellen ($r = -0{,}706$; $p = 0{,}001$) mit einer Abnahme von 23,40 % im gesamten Zeitraum (Abb. 4b), für die Wettervariable Verdunstung einen signifikant positiven Trend zeigen ($r = 0{,}813$; $p < 0{,}001$). Der Anstieg der Verdunstungssumme betrug 30,18 %


Summe Globalstrahlung [kW/m²]
1300
1200
1100
2005
2010
2015
2020
Jahr

A


Anzahl Regentage
180
160
140
120
2005
2010
2015
2020
Jahr

B



C

Abb. 4a-c: Signifikante Ergebnisse der Pearson-Korrelationstests mit Bezug auf das Gesamtjahr. Auf der x-Achse wurde die Zeit in Jahren aufgetragen. Auf der y-Achse abgebildet: a) Summe Globalstrahlung. b) Anzahl Regentage. c) Summe Verdunstung. Die Regressionsgerade (rot) zeigt den Trend der Korrelation an. Datenpunkte im grau schattierten Bereich liegen innerhalb des gewählten 95%-Konfidenzintervalls.

zwischen 2002 und 2022 (Abb. 4c). Ein negativer, jedoch nicht signifikanter Trend ließ sich für den Maximalen Niederschlag beobachten (Tab. A3). Für die Mittlere Lufttemperatur und die Maximale Bodentemperatur haben wir eine nicht-signifikante Temperaturerhöhung festgestellt (Tab. A3). Die Anzahl der Frosttage nahm geringfügig, aber ebenfalls nicht signifikant ab, die Anzahl der Hitzetage geringfügig, aber nicht signifikant, zu (Tab. A3). Veränderungen in der Mittleren Windgeschwindigkeit waren nicht signifikant (Tab. A3).

3.1.2 Veränderungen der monatlichen Wettervariablen von 2004 bis 2022

Mit den Korrelationsanalysen der monatlichen Wetterdaten und der Zeit (in Jahren) ließen sich insgesamt 26 signifikante Korrelationen für sechs verschiedene Wettervariablen berechnen (Tab. 5). Die Korrelationsanalysen der Variablen Mittlere Windgeschwindigkeit und der Anzahl der Hitzetage lieferten keine signifikanten Trends über den Gesamtzeitraum (Tab. A3). Mit Ausnahme des Februars und Dezembers konnten

wir für alle anderen Monate signifikante positive Trends des Maximums der Globalstrahlung zeigen. Die höchsten Korrelationskoeffizienten berechneten wir für den August (r = 0,643; p = 0,010) und den September (r = 0,710; p = 0,003). Für den Februar (r = 0,748; p = 0,002) und März (r = 0,602; p = 0,018) sowie für die Monate Juni (r = 0,598; p = 0,019), Juli (r = 0,552; p = 0,033), August (r = 0,711; p = 0,003) und September (r = 0,733; p = 0,001) haben wir signifikante Zunahmen der Verdunstungssumme errechnet. Signifikante Abnahmen des Maximalen Niederschlags haben wir für Januar (r = -0,578; p = 0,031), März (r = -0,552; p = 0,041), April (r = -0,629; p = 0,012) und Mai (r = -0,730; p = 0,002) beobachtet. Für den Juli konnten wir eine signifikante Abnahme der Anzahl der Regentage zeigen (r = -0,762; p < 0,001). Für den April beobachteten wir eine signifikante Zunahme (r = 0,532; p = 0,019), für Dezember dagegen eine signifikante Abnahme (r = -0,505; r = 0,027) der Anzahl der Frosttage. Für den August haben wir einen signifikant positiven Trend für die Variable der Mittleren Lufttemperatur berechnet (r = 0,459; p = 0,048), die auf Basis der Regressionsgerade einer Erwärmung von 2,23 °C innerhalb des Untersuchungszeitraums von 18 Jahren entspricht. Die Maximale Bodentemperatur stieg nur im Dezember signifikant an (r = 0,466, p = 0,044).

Tab. 5: Ergebnisse der Korrelationsanalyse der monatlichen Wetterdaten aller verwendeten Wettervariablen in den Jahren 2004 bis 2022. Angegeben sind die jeweiligen Wettervariablen (Zeilen) und die Monate (Spalten mit den Daten aller Januare (1) bis Dezember (12)). Signifikante Korrelationen: positive orange, negative blau gefärbt.

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Max. Bodentemperatur	0,17	0,02	0,04	-0,31	-0,39	-0,25	-0,31	0,27	0,16	-0,26	0,24	0,47
Mittl. Lufttemperatur	0,13	0,24	0,17	-0,32	-0,19	0,35	0,05	0,46	-0,06	0,06	0,00	0,37
Max. Globalstrahlung (stdl.)	0,65	0,46	0,58	0,54	0,56	0,52	0,52	0,64	0,71	0,70	0,65	0,38
Mittl. Windgeschwindigkeit	-0,02	0,29	-0,03	0,12	-0,02	-0,12	-0,12	-0,11	0,15	-0,30	-0,23	0,06
Max. Niederschlag (stdl.)	0,58	-0,09	-0,55	-0,63	-0,73	-0,32	-0,47	-0,45	0,5	-0,21	0,01	-0,26
Verdunstung	0,37	0,75	0,60	0,26	0,34	0,60	0,55	0,71	0,77	0,45	-0,28	0,01
Hitzetage	0,00	0,00	0,00	0,04	-0,17	-0,07	-0,17	0,42	0,26	0,00	0,00	0,00
Frosttage	-0,22	-0,08	-0,08	0,53	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,13	-0,09	-0,50
Regentage	0,19	-0,13	-0,27	-0,34	-0,26	-0,11	-0,76	-0,46	0,01	-0,22	-0,32	-0,07

3.1.3 Veränderung des Grundwasserstands von 2004 bis 2022

Die Höhe des Grundwasserstands (Abb. 5) schwankte von 2004 bis 2022 in einem Bereich von 84,20 m über NHN (2020) bis 85,30 m über NHN (2015). Eine signifikante Veränderung des Grundwasserstands über diesen Zeitraum konnten wir weder in den Korrelationsanalysen mit den Mittelwerten der Monate noch mit den jährlichen Mittelwerten zeigen (Tab. A3). Im Untersuchungszeitraum schwankte der Grundwasserstand mit einer Differenz zwischen Minimum und Maximum von 13,6 cm im Jahr 2014 am geringsten, und im Jahr 2018 war die Differenz mit 59,5 cm am höchsten. Im Durchschnitt war der Grundwasserstand im Monat April mit 84,86 m über NHN am höchsten, im Monat Oktober mit 84,59 m über NHN am niedrigsten. Aufgrund fehlender Messwerte (von Mai bis September wurden keine Pegelstände veröffentlicht) war die Datenlage im Jahr 2022 lückenhaft, und die in die Analysen eingegangenen Jahre unterscheiden sich zwischen den Monaten. Der von der Verbandsgemeinde Eich im Planverfahren festgelegte Pegelstand zur Öffnung der großen Schließe von 85,50 m über NHN wurde im Untersuchungszeitraum nicht erreicht.

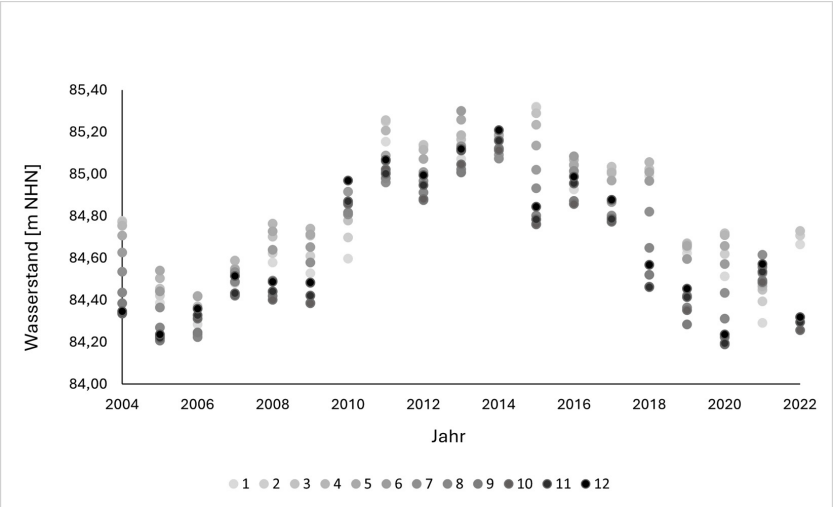


Abb. 5: Veränderungen des Grundwasserstandes am Eich-Gimbsheimer Altrhein in 2004 bis 2022. Auf der x-Achse ist das Jahr, auf der y-Achse der Wasserstand gemessen in m über NHN aufgetragen. Die Legende zeigt die Zuordnung der Monate Januar (1) bis Dezember (12).

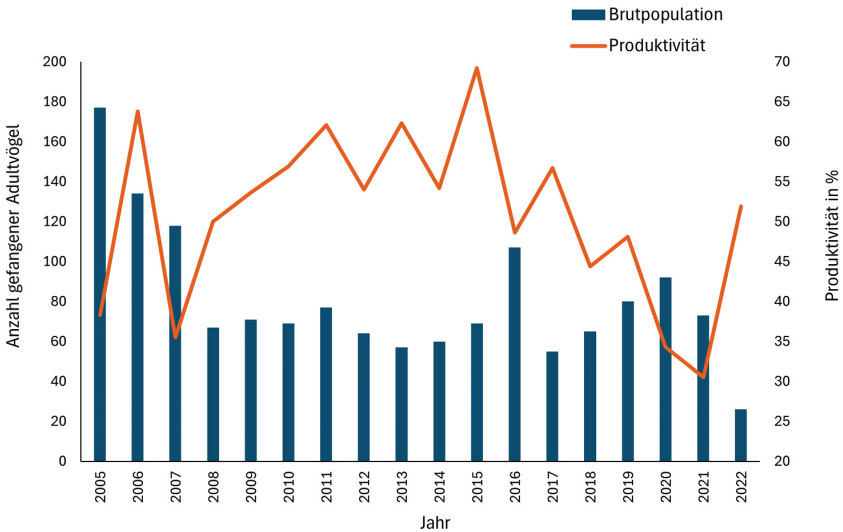


Abb. 6: Brutpopulationsgröße und Produktivität des Teichrohrsängers von 2005 bis 2022. Auf der x-Achse ist das Jahr, auf der linken y-Achse die Brutpopulationsgröße, auf der rechten y-Achse die Produktivität aufgetragen.

3.2 Veränderungen der jährlichen BPG und Produktivität des Teichrohrsängers von 2005 bis 2022

Die Korrelationsanalyse der jährlichen BPG des Teichrohrsängers und der Zeit in Jahren ergab eine signifikante Abnahme ($r = -0{,}586$; $p = 0{,}011$). Die Anzahl der gefangenen adulten Tiere sank von 177 im Jahr 2005 auf 26 gefangene Individuen in 2022 (Abb. 6, Tab. A2), was einem Rückgang von über 85 % über den gesamten Untersuchungszeitraum entspricht. Dieser Rückgang ist jedoch nicht monoton. Nach einem Einbruch der Fangzahlen von 177 auf 134 Individuen im zweiten ISMEGA-Projektjahr 2006 sank die Anzahl gefangener Adultvögel weiter auf 67 Individuen im Jahr 2008. Nach einer stabileren Phase zwischen 2009 und 2015, in der die jährlichen Fangzahlen zwischen 57 und 77 Individuen schwankten, kam es wieder zu Anstiegen in den Fangzahlen in den Jahren 2016 (Anstieg von 69 auf 107 Individuen) und von 2018 bis 2020 (Anstieg von 65 auf 92 Individuen). Ab 2021 sank die BPG erneut und erreichte 2022 mit 26 gefangenen Adultvögeln den bisher kleinsten Wert.

Zwischen der jährlichen Produktivität des Teichrohrsängers und der Zeit (in Jahren) konnten wir keine signifikante Korrelation nachweisen ($r = -0{,}213$; $p = 0{,}396$) (Tab. A4). Die Korrelation der Produktivität des Teichrohrsängers mit der BPG des Folgejahrs lieferte einen schwach positiven, aber nicht-signifikanten Korrelationskoeffizienten von 0,241 (Tab. A4). Die jährliche Produktivität des Teichrohrsängers zeigte deut-

liche Schwankungen im Gesamtzeitraum (Abb. 6 und Tab. A2) mit einem Minimum von 30,5 % im Jahr 2021 und einem Maximum von 69,2 % im Jahr 2015. Die durchschnittliche jährliche Produktivität lag bei 50,8 % (Tab. A2). In den letzten fünf Jahren lag die Produktivität des Teichrohrsängers viermal unter und nur einmal knapp über dem Durchschnitt (Tab. A2).

3.3 Einfluss von monatlichen Wetter- und Grundwasservariablen auf die jährliche BPG des Teichrohrsängers

Für die BPG des Teichrohrsängers konnten wir zehn signifikante Korrelationen mit Wetter- und Grundwasservariablen ermitteln, wobei die Grundwasservariable die meisten Korrelationen zeigt. Eine Tabelle mit den Ergebnissen aller durchgeführten Korrelationsanalysen mit Angabe der Korrelationskoeffizienten und p-Werte findet sich im Anhang (Tab. A5).

Die Korrelationsanalyse des Grundwasserstandes und der BPG des Teichrohrsängers ergab für alle Monate, außer für den September bis November, signifikant negative Korrelationskoeffizienten zwischen -0,486 (im Dezember) und -0,613 (im Juni) (Tab. 6). Für die Maximale Bodentemperatur und die BPG des Teichrohrsängers haben wir nur für den Juni eine signifikante Korrelation gefunden (r = 0,575; p = 0,013).

Tab. 6: Ergebnisse der Korrelationsanalysen der BPG von Teichrohrsänger mit Wetter- und Grundwasservariablen, für die der Korrelationskoeffizient signifikant war. Signifikant negative r-Werte sind blau, positive orangefarben unterlegt. Angegeben sind der Bezugszeitraum mit den Monaten Januar bis Dezember, die getesteten Wettervariablen, die Anzahl der Freiheitsgrade (df) und der Korrelationskoeffizient (r). Unterschiede in der Anzahl der Freiheitsgrade (df) ergeben sich aus unterschiedlichen Zeitpunkten, ab dem die jeweilige Wettervariable von der Wetterstation gemessen wurde, bzw. aus fehlenden Grundwasserwerten im Jahr 2022.

Monat	**Variable**	**Freiheitsgrad (df)**	**Korrelations-koeffizient (r)**
Januar	Grundwasser	16	-0,493
Februar	Grundwasser	16	-0,507
März	Grundwasser	16	-0,522
April	Grundwasser	15	-0,608
Mai	Grundwasser	15	-0,602
Juni	Max. Bodentemperatur	16	0,575
	Grundwasser	15	-0,613
Juli	Grundwasser	15	-0,600
August	Grundwasser	15	-0,586
Dezember	Grundwasser	16	-0,486

3.4 Einfluss von monatlichen Wetter- und Grundwasservariablen auf die jährliche Produktivität des Teichrohrsängers

Für die Produktivität des Teichrohrsängers ließen sich mit einer Anzahl von 29 deutlich mehr signifikante Korrelationen zu Wetter- und Grundwasservariablen als für die BPG berechnen (Tab. 7). Auch die Anzahl der Variablen, für die wir signifikante Korrelationen beobachtet haben, war deutlich größer. Zusätzlich zu den Variablen, die einen signifikanten Zusammenhang mit der BPG zeigten, konnten wir für die Produktivität auch signifikante Zusammenhänge mit der Mittleren Windgeschwindigkeit, der Maximalen Globalstrahlung und der Anzahl der Regen- und Hitzetage berechnen. Eine Tabelle mit den Ergebnissen aller durchgeführten Korrelationsanalysen mit Angabe der Korrelationskoeffizienten und p-Werte befindet sich im Anhang (Tab. A6).

Die Produktivität des Teichrohrsängers zeigte für Juni bis Oktober eine signifikant negative Korrelation mit der Mittleren Windgeschwindigkeit, wobei wir für den August den höchsten Korrelationskoeffizienten ($r = -0{,}629$; $p = 0{,}005$) berechnet haben. Für sieben Monate berechneten wir signifikant positive Korrelationen mit dem Grundwasserstand, die alle sehr ähnliche Korrelationskoeffizienten hatten (0,522 bis 0,592; Tab. 7). Für die Maximale Globalstrahlung ließen sich neun signifikant negative Korrelationen berechnen. Den betragsmäßig höchsten Wert fanden wir für den Monat Juli ($r = -0{,}876$; $p < 0{,}001$). Für den Juli ergab sich darüber hinaus eine signifikant positive Korrelation der Produktivität des Teichrohrsängers mit der Anzahl der Hitzetage ($r = 0{,}534$; $p = 0{,}022$). Einen signifikant negativen Effekt der Maximalen Bodentemperatur auf die Produktivität haben wir für Februar ($r = -0{,}609$; $p = 0{,}007$) nachgewiesen. Die Verdunstung korrelierte für den September signifikant negativ mit der Produktivität des Teichrohrsängers ($r = -0{,}691$; $p = 0{,}006$). Für das Niederschlagsmaximum waren zwar für einzelne Monate Trends zu beobachten, aber keiner von ihnen war signifikant (Tab. A6).

Tab. 7: Signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalysen der Produktivitätsdaten des Teichrohrsängers und der Monatswerte der verwendeten Wetter- und Grundwasservariablen. Signifikante negative r-Werte sind blau, positive orangefarben unterlegt. Angegeben sind der Bezugszeitraum mit den Monaten Januar bis Dezember, die verwendeten Wettervariablen, die Anzahl der Freiheitsgrade (df) und der Korrelationskoeffizient (r). Abweichungen der Anzahl der Freiheitsgrade (df) ergeben sich aus unterschiedlichen Zeitpunkten, ab dem die jeweilige Wettervariable von der Wetterstation gemessen wurde, bzw. fehlenden Grundwasserwerten im Jahr 2022.

Monat	**Variable**	**Freiheits-) grad (df)**	**Korrelations-koeffizient (r)**
Januar	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,544
	Frosttage	16	0,472
	Grundwasser	16	0,592
Februar	Max. Bodentemperatur	16	-0,609
	Grundwasser	16	0,571
März	Grundwasser	16	0,569
	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	12	-0,726

Monat	Variable	Freiheits-) grad (df)	Korrelations-koeffizient (r)
April	Grundwasser	15	0,575
	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	13	-0,796
Mai	Grundwasser	15	0,566
	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	13	-0,584
	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,535
	Grundwasser	15	0,522
	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	13	-0,642
Juli	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,494
	Hitzetage	16	0,534
	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	13	-0,876
August	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,629
	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	13	-0,648
September	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,670
	Grundwasser	16	0,580
	Verdunstung	12	-0,691
	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	12	-0,656
Oktober	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,647
	Grundwasser	16	0,576
	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	12	-0,679
November	Grundwasser	16	0,576
	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	12	-0,649
Dezember	Grundwasser	16	0,578

3.5 Hauptkomponentenanalyse (HKA)

Über alle zwölf monatlichen HKAs hinweg konnten wir je nach Monat drei bis sechs Hauptkomponenten (HK) mit einem Eigenwert ≥ 1,0 extrahieren. Für den August ließ sich mit drei die geringste, für den November mit sechs die höchste Anzahl HKs mit einem Eigenwert ≥ 1,0 berechnen.

Die Ergebnisse der zwölf monatsbezogenen HKAs unterschieden sich deutlich voneinander. Der Vergleich der Ladungsmatrizen der einzelnen HKAs im Anhang (Tab. A8) zeigt, wie unterschiedlich sich die Ladungen der Hauptkomponenten (HKs) in den jeweiligen Monaten zusammensetzen. In den Ladungsmatrizen sind zudem Korrelationen zwischen den Wettervariablen untereinander deutlich. Die Ergebnisse der von uns durchgeführten HKAs für alle zwölf Monate mit Ladungsmatrizen, Angaben zum Varianzanteil und Eigenwerten der jeweiligen HKs sind im Anhang zu finden (Tab. A8).

3.6 Korrelationsanalysen der BPG und der Produktivität mit den extrahierten HKs

Die Korrelationsanalysen zur BPG des Teichrohrsängers und den HKs lieferten für keinen der zwölf Monate einen signifikanten Zusammenhang (Tab. A7). Für die Produktivität des Teichrohrsängers ließen sich jedoch für die Monate Januar, Februar, August, September und Oktober jeweils eine signifikante und für den Juni zwei signifikante Korrelationen mit den extrahierten HKs aus den jeweiligen HKAs berechnen (Tab. 8). Für die Produktivität des Teichrohrsängers haben wir signifikante Korrelationskoeffizienten mit den HKs der HKA für den Juli berechnet (Tab. A7).

Tab. 8: Signifikante Ergebnisse der Korrelationsanalyse zu den Produktivitäts- und Brutpopulations-Daten des Teichrohrsägers mit den extrahierten HKs. Angegeben sind der jeweilige Monat, für den die HKA gerechnet wurde, die Populationsvariable, die getesteten HKs (HK und deren Nummer), die Anzahl der Freiheitsgrade (df), der Korrelationskoeffizient (r), und der p-Wert.

Monat	**Populationsvariable**	**HK**	**df**	**r**	**p**
Januar	Produktivität	3	16	0,523	0,026
Februar	Produktivität	1	16	-0,500	0,035
Juni	Produktivität	2	16	-0,499	0,035
		4	16	0,670	0,002
August	Produktivität	2	16	-0,510	0,031
September	Produktivität	3	16	0,505	0,033
Oktober	Produktivität	3	16	0,533	0,023

4 Diskussion

4.1 Wetter- und Grundwasserveränderungen von 2004 bis 2022

Obwohl unser Untersuchungszeitraum mit 18 Jahren nicht ausreichend lang genug für eine klimarelevante Einordnung ist, die einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren erfordern würde, decken sich die von uns beobachteten regionalen Wetterveränderungen weitestgehend mit allgemein beobachteten und dokumentierten klimatischen Trends in Rheinland-Pfalz (FUCHS 2010, DEUTSCHER WETTERDIENST 2023).

4.1.1 Niederschlag und Verdunstung

Unsere Ergebnisse zeigen eine signifikante Abnahme des Niederschlagsmaximums für vier Monate (Januar, März, April und Mai), eine signifikante Zunahme der Verdunstungssumme für sechs Monate (Februar, März, Juni, Juli, August und September) und das Gesamtjahr sowie eine signifikante Abnahme der Anzahl der Regentage für August und für das Gesamtjahr (Abb. 4b, Tab. A3).

Das signifikant niedrigere Niederschlagsmaximum im Januar, März, April und Mai sowie die signifikante Abnahme der Anzahl der Regentage im Jahr sind durch die in den letzten Jahren im Rahmen des ISMEGA beobachtete zunehmende Austrocknung der Flächen am EGA gestützt. Generell gehört Rheinhessen zu den trockensten Regionen Deutschlands (FUCHS 2010, DEUTSCHER WETTERDIENST 2023). Die in den vergangenen Jahren in den Sommermonaten signifikant abnehmenden Niederschläge in Rheinland-Pfalz werden dem rezenten Klimawandel zugeschrieben (FUCHS 2010). Die signifikante Zunahme der Verdunstungssumme, die wir im Februar, März, Juni bis September und in der jährlichen Korrelation gefunden haben, stellt, in Kombination mit dem signifikant niedriger werdenden Niederschlag, eine Gefahr für das Feuchtgebiet EGA dar. Das Zusammenwirken von hoher Verdunstung und geringen Niederschlägen gilt als wichtige Ursache für das Austrocknen von Feuchtgebieten (KINGSFORD, BASSET & JACKSON 2016, DUDLEY 2021). Das Schilfgebiet innerhalb des EGA wird dominiert vom Schilfrohr (*Phragmites australis*) und ist vor allem für den Teichrohrsänger ein wichtiges Bruthabitat, das durch einen verringerten Niederschlag und eine steigende Verdunstung in seiner Existenz bedroht ist.

4.1.2 Temperatur

Signifikante Anstiege in temperaturabhängigen Variablen haben wir als Abnahme der Anzahl der Frosttage im Dezember, als Zunahme der Maximalen Bodentemperatur im Dezember und als Anstieg der Mittleren Lufttemperatur im August festgestellt. Für den April ließ sich ein signifikanter Anstieg der Anzahl der Frosttage zeigen (Tab. 5).

Die am EGA beobachteten, im Untersuchungszeitraum signifikant angestiegenen Temperaturen im Dezember (Tab. 5) decken sich mit deutschlandweiten Trends hin zu milderen Wintern (Deutscher Wetterdienst 2023). Im Klimastatusbericht von 2022 des Deutschen Wetterdienstes wurde für die Anzahl der Frosttage in Deutschland eine Abnahme von 22,6 Tagen über den Zeitraum 1951 bis 2022 (DEUTSCHER WETTERDIENST 2023) gemeldet. Das entspricht einer durchschnittlichen Abnahme von 0,32 Frosttagen pro Jahr. Die von uns berechnete Abnahme der Anzahl der Frosttage um 8 Tage über 18 Jahre für den EGA aus allen Dezember-Monaten zwischen 2004 bis 2022, entspricht einer durchschnittlichen Abnahme der Frosttage pro Jahr von 0,44. Im Vergleich zum deutschlandweiten Durchschnittwert scheint die Klimaerwärmung am EGA etwas schneller voranzuschreiten. Die Abnahme der Anzahl der Frosttage am EGA begünstigt vermutlich einen verfrühten Vegetationsbeginn und eine Verlängerung der Vegetationsperiode.

Die Mittlere Lufttemperatur im August (Tab. 5) hat sich gemäß unseren Analysen um 2,23 °C am EGA erhöht. Für den August 2022 ließ sich mit einer Abweichung von 3,50 K die höchste Abweichung im Untersuchungszeitraum gegenüber dem vieljährigen Mittel von 18,8 °C berechnen. Laut Klimastatusbericht (DEUTSCHER WETTERDIENST 2023) hat sich die Mittlere Temperatur der Region Rheinland-Pfalz/Saarland im August von 1881 bis 2022 um einen ähnlichen Wert mit 2,4 K erhöht.

Bei der von uns gezeigten signifikanten Zunahme der Anzahl der Frosttage im April (Tab. 5) über den Gesamtzeitraum könnte es sich um ein Artefakt handeln. Kälteeinbrüche und damit Frosttage sind im April in Rheinland-Pfalz generell sehr selten. Von 2004 bis 2022 gab es im April lediglich null bis fünf Frosttage im Jahr, wobei das Jahr 2021 mit einer Anzahl von zehn Frosttagen einen Ausreißer nach oben darstellt. Frosttage im April sind dann problematisch, wenn sie auf eine, durch milde Winter bedingte, früher einsetzende Vegetation treffen; dies kann zu erheblichen Störungen der Flora und Fauna führen (TAFF & SHIPLEY 2023).

4.1.3 Globalstrahlung

Die auffälligste Veränderung von allen untersuchten Wettervariablen war ein signifikanter Anstieg der Maximalen Globalstrahlung in zehn von zwölf Monaten (Tab. 5) und in der jährlichen Summe der Globalstrahlung zwischen 2004 und 2022 (Abb. 4a). Der signifikante Anstieg der Globalstrahlung über den Großteil des Jahres hinweg ist neben einer Veränderung der Wolkenbildung unter anderem auf eine Verringerung der Luftverschmutzung der letzten Jahrzehnte zurückzuführen. Partikel, wie z. B. Feinstaub oder Aerosole in der Luft, lenken Strahlung ab und verringern so die Strahlungsmenge, die auf die Erdoberfläche auftrifft. Die Erhöhung der Globalstrahlung aufgrund sauberer Luft bzw. geringerer Bewölkung bezeichnet man als “brightening effect” (PÜSCHEL, WINZIG & THEEL 2023). Obwohl der massive Anstieg der Globalstrahlung nicht durch den rezenten Klimawandel verursacht ist, trifft, durch klimabedingte, langanhaltende Hochwetterlagen mit geringer Bewölkung, deutlich mehr Globalstrahlung auf die Erdoberfläche (FUCHS 2010).

4.1.4 Windgeschwindigkeit

Die Mittlere Windgeschwindigkeit in Deutschland hat zwischen 1950 und 2021 leicht abgenommen, es gibt deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren, die sich innerhalb der typischen „multi-dekadischen Schwankungen“ bewegten. Über unseren Untersuchungszeitraum von 18 Jahren gab es ebenfalls Schwankungen, aber eine signifikante Abnahme in der Mittleren Windgeschwindigkeit war nicht nachweisbar (Tab. A3).

4.1.5 Grundwasserstand

Wir haben keine Korrelation der Grundwassermesswerte über die Jahre für den Untersuchungszeitraum beobachtet (Tab. A3). Aufgrund der von uns gefundenen signifikanten Abnahme der Niederschläge und der signifikanten Zunahme der Verdunstung

(Abb. 4c, Tab. 5) hätten wir eine signifikante Abnahme des Grundwasserstands erwartet unter der Annahme, dass dieser ausschließlich durch Schwankungen in Niederschlägen und Verdunstung bestimmt ist. Gezielte Wiedervernässungs-Maßnahmen (SCHWARZ et al. 2015) im Jahr 2008 und das in 2007 neu errichtete Schließwerk könnten den unerwarteten Anstieg des Grundwasserstands zwischen 2007 und 2014 erklären. Der seit 2016 sinkende Grundwasserstand am EGA ließe sich mit dem häufigeren Auftreten von trockenen Sommern in den letzten Jahren (DEUTSCHER WETTERDIENST 2023) erklären. Leider sind beide Erklärungen nicht überprüfbar, da die Messwerte der seit 2016 eigens für das Schließwerk eingerichteten Grundwassermessstelle zur Regulierung deren großer Schließe am EGA nicht veröffentlicht werden. Eine zwischenzeitliche Zunahme des Grundwasserstands jedoch steht zudem im Widerspruch dazu, dass seit 1980 der Grundwasserstand der von uns verwendeten Messstelle um 88 cm gesunken ist (MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE UND MOBILITÄT RHEINLAND-PFALZ 2023). Die von uns gezeigte signifikante Abnahme der Niederschläge und die signifikante Abnahme der Anzahl der Regentage im Untersuchungsgebiet (Abb. 4b, Tab. 5) lassen ein noch weiteres Absinken des Grundwasserstands am EGA für die Zukunft erwarten.

4.2 Veränderungen von BPG und Produktivität beim Teichrohrsänger

Unsere Ergebnisse zeigen eine signifikante Abnahme der BPG des Teichrohrsängers im Untersuchungszeitraum; die Anzahl der gefangenen Individuen ist zwischen 2005 und 2022 um mehr als 85 % gesunken (Abb. 6, Tab. A2). Auch die jährliche Produktivität zeigte einen schwach negativen, jedoch nicht signifikanten Trend (Tab. A4). Die Produktivität zeigt starke jährliche Schwankungen mit einem Minimum von 30,5 % und einem Maximum von 69,2 % (Abb. 6, Tab. A2) bei einem Durchschnittswert von 50,8 % (Tab. A2). Im Jahr 2021 sank die Produktivität auf den niedrigsten bisher von uns beobachteten Wert (30,5 %), aus dem die niedrigste BPG im Jahr 2022 mit 26 gefangenen Individuen resultierte. Der Korrelationskoeffizient zur Produktivität und der BPG des Folgejahrs zeigt zwar einen schwach positiven Trend zwischen beiden an, aber dieser ist nicht signifikant (Tab. A4). Wäre die Populationsgröße des Teichrohrsängers im Gleichgewicht, sollte ein positiver Zusammenhang zwischen Produktivität und BPG im Folgejahr bestehen, da es sich bei der Produktivität um einen dichteabhängigen Faktor bei der Regulierung der Populationsdichte handelt.

Neben einer geringen Produktivität, insbesondere in den Jahren 2006, 2018, 2020 und 2021, muss es weitere Ursachen für den signifikanten Rückgang der BPG des Teichrohrsängers am EGA geben.

Eine mögliche Erklärung für die starke Abnahme der BPG des Teichrohrsängers am EGA könnte, neben den von uns analysierten Zusammenhängen mit den Wetterbedingungen am EGA, eine geringe Rate von Wiederkehrern aus dem Winterquartier sein, die durch Verluste auf der Hin- oder Rückreise ins Winterquartier oder durch eine ge-

stiegene Mortalität im Überwinterungsgebiet entstehen könnte. BUCHAN et al. (2022) nennen neben den wachsenden Auswirkungen des Klimawandels weitere direkte und indirekte Ursachen einer erhöhten Mortalität bei Zugvögeln. Vor allem anthropogene Veränderungen von Landschaften durch zunehmende Urbanisierung, Lichtverschmutzung, Ausbau von Stromtrassen, Windkraftanlagen, aber auch Bejagung stellen Risiken in den Winterquartieren und während des Zugs für Vögel dar (BUCHAN et al. 2022). Der Teichrohrsänger ist gemäß der aktuellen Roten Liste aus dem Jahr 2015 in Deutschland nicht gefährdet, jedoch wird für die Art langfristig eine Abnahme in den Individuenanzahlen angenommen (GERLACH et al. 2019). Auch hat man in den letzten Jahren nicht nur am EGA, sondern auch in anderen Regionen Deutschlands deutliche Rückgänge der Individuenanzahlen beobachtet (MULSOW & WIECZOREK 2023).

Als mögliche Ursachen für den Rückgang der Population des Teichrohrsängers am EGA nennen TIETZE et al. (2020) den Einsatz des Larvizids Bti zur Bekämpfung von Stechmücken und negative Einflüsse, hervorgerufen durch direkt angrenzende, intensiv betriebene landwirtschaftliche Flächen, und Wiedervernässungs-Maßnahmen, die zu unmittelbaren und längerfristigen Veränderungen der Vegetation am EGA führen. Das Larvizid Bti tötet unter anderem Stechmücken- und Zuckmückenlarven, die dem Teichrohrsänger dadurch in geringerem Umfang als Nahrungsgrundlage zur Verfügung stehen (POULIN, LEFEBVRE & PAZ 2010, LAND et al. 2019). Die negativen Auswirkungen der Landwirtschaft (RIGAL et al. 2023) auf Vogelpopulationen entstehen durch das Ausbringen von Pestiziden und Herbiziden, die wiederum zum Insektenschwund beitragen. Die im Pflanzendünger enthaltenen Phosphate und Nitrate führen zudem zur Eutrophierung von Gewässern. Das Wachstum von Schilf (*Phragmites australis*), in dem der Teichrohrsänger bevorzugt brütet, profitiert bis zu einem gewissen Grad von Eutrophierung, zu starke Eutrophierung trägt jedoch zu Schilfbruch bei, der zu Nestverlusten beim Teichrohrsänger führen kann (SCHULZE-HAGEN 2001).

Sollte der Brutbestand des Teichrohrsängers am EGA weiter sinken, ist das lokale Aussterben des Teichrohrsängers am EGA sehr wahrscheinlich. Eine zu geringe Populationsgröße erschwert zudem auch das Finden von Brutpartnern, und es kann zu genetischer Verarmung kommen.

4.3 Einfluss von monatlichen Wetter- und Grundwasservariablen auf die jährliche BPG des Teichrohrsängers

4.3.1 Einfluss des Grundwasserstandes

Unsere Ergebnisse der Korrelationsanalyse zur BPG und dem Grundwasserstand lassen auf einen negativen Zusammenhang zwischen beiden schließen (Tab. 6). Mit Ausnahme der Monate September, Oktober und November ließen sich für alle Monate signifikant negative Korrelationen zwischen BPG und dem Grundwasserstand errechnen (Tab. 6). Die Monate April bis August hatten mit Werten um -0,6 die betragsmäßig

höchsten Korrelationskoeffizienten (Tab. 6). Diese Ergebnisse waren hinsichtlich des Habitatanspruchs des Teichrohrsängers für uns unerwartet. Der Teichrohrsänger gilt als Habitatspezialist, der insbesondere in der Brutzeit auf intakte Schilfbestände angewiesen ist (SCHULZE-HAGEN 2001), und höhere Grundwasserstände sind für Feuchtgebiete unerlässlich. Röhrichtgewächse, wie das am EGA dominierende Schilfrohr, das die Teichrohrsänger zum Nestbau nutzen, wachsen in feuchten Lebensräumen, die mindestens zeitweilig überflutet sind (OSTENDORP 1993). Eine mögliche Erklärung für den signifikant negativen Effekt des Grundwasserstands auf die BPG des Teichrohrsängers könnte die von uns gezeigte Zunahme der Produktivität mit steigendem Grundwasserstand sein (Tab. 6). Hohe Produktivitäten resultieren aus hohen Reproduktionsraten, die sich nachteilig auf die Fitness der Altvögel auswirken und deren Mortalität erhöhen (BAIRLEIN 1996); dies kann sich in geringeren Fangzahlen ausdrücken.

Die Arbeit von JIMÉNEZ et al. (2018) kam zum Ergebnis, dass die Austrocknung von Schilf, sofern dies kein andauernder Zustand ist, die BPG des Teichrohrsängers nur gering veränderte, die Produktivität dagegen drastisch sank. In der von JIMÉNEZ et al. (2018) analysierten Region in Spanien kam es nach fünf Jahren zu einer Wiedervernässung des Schilfhabitats und einer Erholung der Produktivität nach vier weiteren Jahren. SCHULZE-HAGEN (2001) beschreibt, dass der Teichrohrsänger nicht nur im Schilf, sondern auch im Weidengebüsch vorkommt, für die Brut jedoch Schilf mit spezifischem Wasserstand bevorzugt. Beide Arbeiten dokumentieren, dass temporäres Austrocknen von Schilf einen geringeren negativen Einfluss auf Teichrohrsänger-Populationen hat als längere Perioden.

4.3.2 Einfluss der Bodentemperatur

Für die Variablen zur Bodentemperatur konnten wir lediglich für die Maximale Bodentemperatur im Juni eine signifikante positive Korrelation mit der jährlichen BPG des Teichrohrsängers berechnen (Tab. 6). Diese Variable war Bestandteil der von uns durchgeführten HKA zum Monat Juni, trug jedoch bei keiner der fünf HKs mit Eigenwert ≥ 1,0 nennenswert zu deren Ladungen bei (Tab. A8). Da wir für keine der extrahierten HKs aus den HKAs für alle Monate eine signifikante Korrelation mit der BPG berechnen konnten (Tab. A7), ist es denkbar, dass es sich bei der signifikant positiven Korrelation der Maximalen Bodentemperatur im Juni mit der BPG um Zufall handeln könnte. Grundsätzlich stellt eine tendenziell wärmere Bodentemperatur, unter physiologischen Aspekten gesehen, keinen Widerspruch zu den Ansprüchen des Teichrohrsängers dar, da dieser im Gegensatz zu bodenbrütenden Vögeln nicht spezifisch von einem warmen Boden profitiert (SCHULZE-HAGEN 2001). Vielmehr wäre eine positive Korrelation der BPG mit der Lufttemperatur zu erwarten gewesen, die jedoch nicht beobachtet wurde.

4.4 Einfluss von monatlichen Wetter- und Grundwasservariablen auf die jährliche Produktivität des Teichrohrsängers

4.4.1 Einfluss des Grundwasserstands

In unseren Ergebnissen konnten wir in allen Monaten, außer Juli und August, signifikant positive Korrelationen des Grundwasserstandes mit der Produktivität des Teichrohrsängers berechnen (Tab. 7). Ein positiver Zusammenhang von Grundwasserstand und Produktivität erklärt sich mit dem bevorzugten Bruthabitat des Teichrohrsängers. Nester werden bevorzugt zwischen dichten, vertikalen Grasstrukturen, wie sie bei Röhricht vorkommen, errichtet, dabei bevorzugen die Vögel Schilfbestände, deren Halme ca. 20 bis 70 cm im Wasser stehen (SCHULZE-HAGEN 2001). Steigende Grundwasserstände ermöglichen den Anstieg von Oberflächenwasser innerhalb des Schilfgürtels am EGA und fördern, sofern der Wasserstand nicht 2 m übersteigt, das Schilfwachstum. Zweiflügler (Diptera), die zur bevorzugten Nahrung des Teichrohrsängers gehören, benötigen zudem stehende Gewässer, in denen sich die Larven entwickeln können (OSTENDORP 1993, SCHULZE-HAGEN 2001). Eine ausreichende Nahrungsverfügbarkeit innerhalb der Brutzeit von Juni bis August erhöht die Überlebens-Wahrscheinlichkeit von Jungvögeln und damit ihren relativen Anteil an der Gesamtpopulation. Dass wir in den Monaten Juli und August keine signifikanten Korrelationen zwischen der Produktivität des Teichrohrsängers und dem Grundwasserstand festgestellt haben, könnte daran liegen, dass sich Veränderungen im Grundwasserstand nicht unmittelbar im gleichen Monat auswirken. Sowohl die Grundwasser-Neubildung als auch das Absinken des Grundwasserstands sind ein Prozess, der je nach Beschaffenheit der Bodenstruktur Wochen, Monate oder Jahre dauern kann (HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE 2023). Bei der Beurteilung des Grundwasserstands und dessen Einfluss auf den Teichrohrsänger könnten daher weitere Korrelationsanalysen mit Grundwasserwerten, die zeitlich vor der jeweiligen Fangsaison des ISMEGA gemessen wurden, informativ sein.

4.4.2 Einfluss der Windgeschwindigkeit

Die Mittlere Windgeschwindigkeit in den Monaten Juni bis Oktober sowie im Januar korrelierte signifikant negativ mit der Produktivität des Teichrohrsängers (Tab. 7). Für Januar (Tab. A8), Juni (Tab. A8), August (Tab. A8), September (Tab. A8) und Oktober (Tab. A8) haben wir in den Ladungsmatrizen der jeweiligen HKAs für die Variablen der Windgeschwindigkeit hohe Ladungsanteile an den Hauptkomponenten festgestellt. In der HKA für den Januar (Tab. A8) trugen drei Wettervariablen, darunter die Variable der Maximalen Windgeschwindigkeit, maßgeblich zur Ladung von HK3 bei, die in der Korrelation mit der Produktivität des Teichrohrsängers zu einer signifikant positiven Korrelation führte (Tab. 8). Die negative Auswirkung von Mittlerer und Maximaler

Windgeschwindigkeit im Januar auf die Produktivität lässt sich nicht unmittelbar erklären, da sich zu diesem Zeitpunkt die Teichrohrsänger weit entfernt von ihrem Brutgebiet in ihrem Winterquartier aufhalten. Da die HK3 für den Januar aber nicht nur von der Windgeschwindigkeit, sondern auch von der Globalstrahlung erklärt wird (Tab. A8), ist eine eindeutige Interpretation nicht möglich.

Die Ladungsmatrices (Tab. A8) der HKA für Juni zeigten einen deutlichen Beitrag der Mittleren Windgeschwindigkeit an der negativen Ladung der HK2. Die HK2 ergab eine signifikant positive Korrelation mit der Produktivität des Teichrohrsängers (Tab. 8). Dieser negative Zusammenhang zwischen Mittlerer Windgeschwindigkeit und Produktivität wurde ebenfalls sichtbar in der monatlichen Korrelation zur Mittleren Windgeschwindigkeit (Tab. 7) und der Korrelation mit der HK2 für den Juni (Tab. 8). Diese Zusammenhänge lassen sich durch Schilfbruch und den infolgedessen steigenden Räuberdruck auf die stärker exponierten Eier oder Jungvögel im Nest und die Auskühlungsgefahr von Jungvögeln durch Wind erklären (Schulze-Hagen 2001). In Rheinland-Pfalz ist die Hauptbrutzeit des Teichrohrsängers im Juni (Dietzen 2017). Daher wirken sich Brutverluste im Juni unmittelbar auf den relativen Anteil an Jungvögeln und somit auf die Produktivität in der betreffenden Fangsaison aus.

Die Mittlere Windgeschwindigkeit im Juli korrelierte eher schwach negativ ($r = -0{,}494$; $p = 0{,}037$) mit der Produktivität des Teichrohrsängers (Tab. 7). In der HKA für den Juli trug die Mittlere Windgeschwindigkeit zwar deutlich zur HK3 (Tab. A8) bei, der Korrelations-Koeffizient der HK3 mit der Produktivität war negativ, aber nicht signifikant (Tab. A7). Dieses Ergebnis spiegelt vermutlich wider, dass Jungvögel aus erfolgreichen Erstbruten aus dem Juni in der Regel bereits flügge im Juli sind und somit den unmittelbaren Gefahren von Wind, der auf Nester einwirkt, nicht mehr ausgesetzt sind. Zweitbruten, die die im Vergleich zu anderen Rohrsängern hohen Brutverluste beim Teichrohrsänger kompensieren können (Schulze-Hagen 2001), sind bis in den August hinein zu beobachten. Jungvögel aus Zweitbruten können noch bis in den Oktober von den regionalen Witterungsbedingungen des Sommerquartiers beeinflusst werden (Dietzen 2017). Der Herbstzug zum Überwinterungsquartier von Teichrohrsängern weist in den letzten Jahren in Rheinland-Pfalz sichtbare Verspätungstendenzen aus der Sicht des Zielgebietes auf. Diese Beobachtungen könnten den signifikanten negativen Zusammenhang der Produktivität mit der Mittleren Windgeschwindigkeit in den Monaten August, September und Oktober erklären (Tab. 7). In den HKAs für den August, September und Oktober erklärten die Variablen der Mittleren und der Maximalen Windgeschwindigkeit zudem mehrere Hauptkomponenten. Für den August war es die HK2, deren Ladung durch die Mittlere und die Maximale Windgeschwindigkeit beeinflusst wurde (Tab. A8), für September wurde die HK3 von der Mittleren Windgeschwindigkeit bestimmt (Tab. A8), für den Oktober erklärte die Mittlere Windgeschwindigkeit einen Teil der negativen Ladung der HK3, es dominierte jedoch der positive Ladungsanteil der Variable Maximale Globalstrahlung (Tab. A8).

Dass für die Größe der Adultpopulation (BPG) keine negativen Korrelationen mit einer der Windvariablen beobachtet wurden, lässt sich dadurch erklären, dass sich adulte Vögel besser vor Windereignissen schützen können als ihr flugunfähiger Nachwuchs. Ungünstige Witterungs-Bedingungen in dieser frühen Lebensphase können sowohl den Schlupferfolg als auch die Überlebensrate der Jungvögel mindern (HALLIWELL et al. 2023) und resultieren in einer geringeren Abundanz in der nachfolgenden Brutsaison.

4.4.3 Einfluss von Niederschlag und Verdunstung

Wir konnten keine Korrelation zwischen den Niederschlagmaxima und der Produktivität des Teichrohrsängers finden (Tab. A6). Für den Monat September berechneten wir eine signifikant negative Korrelation der Verdunstungssumme mit der Produktivität des Teichrohrsängers (Tab. 7).

Für den Juni (Tab. A8) korrelierte die HK2, deren positive Ladung bzgl. des Niederschlagsmaximums am höchsten war, signifikant negativ mit der Produktivität des Teichrohrsängers (Tab. 8). Für den August ließ sich mit der HK2 eine Hauptkomponente identifizieren, deren negative Ladung größtenteils vom Maximalem Niederschlag erklärt wurde (Tab. A8) und die mit der Produktivität des Teichrohrsängers signifikant positiv korrelierte (Tab. 8). Für den September trug die Niederschlagssumme am stärksten zur negativen Ladung der HK3 bei (Tab. A8), die mit der Produktivität des Teichrohrsängers signifikant positiv korrelierte (Tab. 8) und somit auf einen negativen Zusammenhang zwischen der Niederschlagsmenge im September und der Produktivität hindeutet. Die von uns durchgeführte HKA und die Korrelationsanalyse zur Ermittlung eines Zusammenhangs zwischen Niederschlag und der Produktivität des Teichrohrsängers lieferten somit unterschiedliche Ergebnisse. Für den August war das Ergebnis der Korrelation des Niederschlag-Maximums mit der Produktivität des Teichrohrsängers mit einem p-Wert von 0,053 nur marginal signifikant.

Eine Erklärung für den negativen Zusammenhang zwischen Niederschlag im Juni und der Produktivität des Teichrohrsängers könnte sein, dass seine Hauptbrutzeit im Juni ist und damit der Niederschlag in einer vulnerablen Phase für die Produktivität auftritt. Der Energiebedarf der Vögel steigt bei nasskalter Witterung deutlich an, was zu einer verringerten Schlupfrate und niedrigerer Überlebenswahrscheinlichkeit der Jungvögel führen kann (BAIRLEIN 1996). Die Korrelation mit der HK2 aus der HKA für den August (Tab. 8) spricht jedoch für eine positive Wirkung von Niederschlägen im August auf die Produktivität des Teichrohrsängers. Die Mehrheit der Jungvögel ist im August bereits flügge und kann bei starkem Regen geschützte Orte aufsuchen. Vor dem Hintergrund des von uns gezeigten signifikanten Erwärmungstrends der Lufttemperatur im August am EGA, kombiniert mit möglichen längeren Trockenphasen (Tab. 5), könnte der Niederschlag für eine Abkühlung sorgen und insbesondere Jungvögeln bei heißen Temperaturen helfen, nicht zu überhitzen oder auszutrocknen.

Die Korrelation mit der HK3 für den September (Tab. 8) deutet dagegen wieder auf einen negativen Einfluss von Niederschlag hin. Da wir die Daten der Wettervariablen der Monate September bis Dezember mit der Produktivität des folgenden Jahres korreliert haben, bezieht sich dieses Korrelationsergebnis für den September auf die Produktivität des Teichrohrsängers im Folgejahr. Die signifikant negative Korrelation der Verdunstungssumme im September mit der Produktivität des Teichrohrsängers (Tab. 7) stellt für uns einen Widerspruch zum Ergebnis der Korrelation von HK3 im September mit der Produktivität des Teichrohrsängers dar (Tab. 8), da höhere Niederschlagsmengen den Austrocknungseffekt von hoher Verdunstung ausgleichen müssten. Die erhöhte Verdunstungssumme im September (Tab. 5), die in der Korrelation mit der Produktivität des Teichrohrsängers zu einem hochkorrelierten, signifikanten Ergebnis führte ($r = -0{,}691$; $p = 0{,}006$), resultiert vermutlich in eine verstärkte Austrocknung der Vegetation und Böden am EGA, die für den Teichrohrsänger in der folgenden Brutsaison zu schlechteren Brutbedingungen führen und somit die Produktivität verringern könnten.

4.4.4 Einfluss von Globalstrahlung

Die Maximale Globalstrahlung ergab eine signifikante stark negative Korrelation mit der Produktivität des Teichrohrsängers insbesondere für den Juli ($r = -0{,}876$, $p < 0{,}001$). In der HKA für den Juli (Tab. A8) haben wir keinen relevanten Beitrag der Maximalen Globalstrahlung der HK festgestellt, die mit der Produktivität des Teichrohrsängers korrelierte (Tab. A7). Für den Oktober ließ sich die HK3 eindeutig der Maximalen Globalstrahlung zuordnen (Tab. A8). Sie korrelierte signifikant positiv mit der Produktivität des Teichrohrsängers (Tab. 8), während die meisten monatlichen Maximalen Globalstrahlungen mit der Produktivität des Teichrohrsängers alle signifikant negativ korrelierten (Tab. 7, Abschnitt 3.5). Da wir die Wetterdaten der Monate September bis Dezember mit den Produktivitäten im Folgejahr korreliert haben, beziehen sich die Korrelationsergebnisse für den Juli auf eine andere Fangsaison als die für den Oktober und lassen sich somit nicht direkt miteinander vergleichen, da die Fangzahlen noch von anderen Faktoren abhängen, die sich zwischen den Jahren unterscheiden könnten. Ein positiver Effekt der Maximalen Globalstrahlung im Oktober auf die Produktivität des Teichrohrsängers im Folgejahr könnte durch einen Einfluss der Strahlung auf die Vegetation oder auf Insektenpopulationen bedingt sein, der sich in der Brutsaison des nachfolgenden Jahres positiv auf den Biotop oder das Nahrungsangebot des Teichrohrsängers auswirken könnte. Ebenfalls denkbar ist, dass es sich bei der Globalstrahlung um einen Faktor handelt, der sich bis zu einer bestimmten Ausprägung positiv, bei sehr hohen Strahlungswerten, die häufig mit hohen Temperaturen und Trockenheit einhergehen, jedoch negativ auf die Produktivität des Teichrohrsängers auswirkt. Nicht zuletzt könnte die signifikant negative Korrelation zwischen der Maximalen Globalstrahlung und der Produktivität des Teichrohrsängers (Tab. 7) auch eine zufällige Korrelation sein.

Die gefundene Korrelation der Maximalen Globalstrahlung könnte ein Hinweis sein, dass insbesondere Extremwerte für Jungvögel ein Problem darstellen könnten. Zu konkreten Schädigungen von Vögeln durch Globalstrahlung haben wir keine wissenschaftlichen Belege gefunden, bei anderen taxonomischen Gruppen wurde die Auswirkung von UV-Strahlung, die einen Teil der Globalstrahlung ausmacht, bereits untersucht. Bei Fischbrut wurden Verhaltensänderungen, Veränderungen der Schleimhäute und die vermehrte Bildung von Stresshormonen nachgewiesen, die zu einer höheren Mortalität führten (RIEDERER 2004).

4.4.5 Einfluss von Temperatur

Wir konnten drei signifikante Korrelationen von temperaturbezogenen Variablen mit der Produktivität des Teichrohrsängers zeigen (Tab. 7). Für den Januar korrelierte die Anzahl der Frosttage signifikant positiv, für den Februar die Maximale Bodentemperatur signifikant negativ und den Juli die Anzahl der Hitzetage signifikant positiv mit der Produktivität des Teichrohrsängers.

In den Wintermonaten weist die positive Korrelation der Produktivität mit der Anzahl der Frosttage im Januar und die negative Korrelation der Maximalen Bodentemperatur im Februar auf einen negativen Effekt milder Winter im Brutgebiet auf die Produktivität des Teichrohrsängers in der darauffolgenden Brutsaison hin. Im Untersuchungsgebiet hat sich im Monat Dezember die Anzahl der Frosttage signifikant verringert, und die Bodentemperatur stieg signifikant an (Tab. 5). Milde Winter wirken sich unter anderem auf die Vegetationsentwicklung sowie die Überlebens-Wahrscheinlichkeit und die Entwicklungs-Geschwindigkeit von Insekten aus, die die wichtigste Nahrungsquelle für den Teichrohrsänger darstellen. Eine schnellere Entwicklung der Insekten kann zu einem Food-Mismatch führen. Dieser wurde bereits als ein möglicher vom Klimawandel verursachter Grund für Populationsrückgänge, insbesondere von Langstreckenziehern, benannt (BOTH et al. 2010, PEARCE-HIGGINS et al. 2015, FRANKS et al. 2018, ROSAMOND et al. 2020). Bei Langstreckenziehern wie dem Teichrohrsänger ist das Zugverhalten genetisch fixiert, was eine schnelle Anpassung an veränderte klimatische Bedingungen erschwert. Steigende Temperaturen erhöhen zudem das Übertragungsrisiko von Parasiten, wie z. B. von Zecken (BUCZEK et al. 2020). Parasiten können zu Erkrankungen bei Vögeln und damit einer Verringerung ihrer Fitness führen. Sie erhöhen insbesondere auch die Mortalität von Jungvögeln und damit die Produktivität der Brutpopulation.

Die signifikant positive Korrelation der Anzahl der Hitzetage im Monat Juli mit der Produktivität des Teichrohrsängers (Tab. 7) suggeriert einen positiven Effekt heißer Temperaturen auf die Produktivität. Die Anzahl der Hitzetage im Monat Juli hat sich im Untersuchungszeitraum jedoch nicht signifikant erhöht (Tab. A3). Ein positiver Effekt der Anzahl der Hitzetage auf die Produktivität steht im Widerspruch zum ebenfalls für den Juli festgestellten stark negativen Effekt der Maximalen Globalstrahlung auf

die Produktivität des Teichrohrsängers (Tab. 7). Solange die Lufttemperatur unter der Körpertemperatur von ca. 40 °C liegt, stellen heiße Sommertage grundsätzlich kein Problem für Teichrohrsänger dar (SCHULZE-HAGEN 2001), sie können jedoch in Kombination mit Wassermangel zu Problemen bei der Thermoregulierung führen. Da ein Hitzetag als ein Tag definiert ist, an dem das Temperaturminimum von 30 °C überschritten wurde, kann bereits ein geringer Temperaturunterschied darüber entscheiden, ob ein Tag als Hitzetag oder als Sommertag (Temperaturminimum ≥ 25 °C, aber unter 30 °C) eingestuft wird. Dies ist besonders problematisch, wenn mehrere sehr heiße Sommertage aufeinander folgen. Eine signifikant positive Korrelation der Produktivität des Teichrohrsängers mit der mittleren Lufttemperatur für den Juli, die den positiven Effekt einer erhöhten Anzahl von Hitzetagen im Juli auf die Produktivität des Teichrohrsängers stützen könnte, konnten wir jedoch nicht zeigen (Tab. A3). Auch sind unsere Ergebnisse aus der HKA nicht informativ, da in dieser die Variable Anzahl der Hitzetage nicht verwendet wurde; wir konnten aber generell keine signifikanten Korrelationen mit den HKs für den Monat Juli finden (Tab. A7). PEARCE-HIGGINS et al. (2015) haben in ihrer Arbeit einen negativen Effekt von heißen, trockenen Sommern gezeigt, der sich nicht im gleichen Sommer, wie von uns geprüft, auf die Population auswirkte, sondern erst ein Jahr später.

5 Gesamtfazit / Schlussbemerkungen

Die Ergebnisse unserer Arbeit stützen bisherige Untersuchungen hinsichtlich der Auswirkungen von Wettereinflüssen auf die BPG und Produktivität des Teichrohrsängers. Wir konnten Wetterbedingungen identifizieren, die vor allem auf die Produktivität des Teichrohrsängers einen unmittelbaren Effekt haben. Mildere Winter am EGA scheinen nachteilig für den Teichrohrsänger zu sein, da sie zu empfindlichen Störungen in jahreszeitlich abgestimmten Vegetations- und Nahrungszyklen führen können. Wetter- und Grundwasserveränderungen wirkten sich deutlicher auf die Produktivität als auf die BPG des Teichrohrsängers aus. Feuchtigkeitsbestimmende Faktoren, wie der Grundwasserstand und der Niederschlag, beeinflussen sowohl die BPG als auch die Produktivität des Teichrohrsängers. Der beobachtete Trend der zunehmenden Austrocknung des EGA, der durch den Klimawandel verursacht wird, scheint ein wichtiger Faktor für das langfristige Überleben der Teichrohrsänger-Population am EGA zu sein.

Auch wenn die dokumentierten Veränderungen von Wetter und Grundwasser sicher nicht die einzigen Gründe für den starken Populationsrückgang des Teichrohrsängers am EGA darstellen dürften, tragen sie jedoch vermutlich erheblich dazu bei. Damit die Population des Teichrohrsängers am EGA eine Zukunft hat, sind unseres Erachtens große Anstrengungen nötig, um die negativen Auswirkungen des Klimawandels abzufedern. Dazu könnten insbesondere Lebensraum erhaltende Maßnahmen dienen, die einer weiteren Austrocknung des EGA entgegenwirken und den Schutzstatus des EGA weiter rechtfertigen. Auch sollte darüber nachgedacht werden, Freizeitaktivitäten am

EGA zumindest einzuschränken und die schädlichen Auswirkungen der (konventionellen) Landwirtschaft in unmittelbarer Nachbarschaft des EGA zu reduzieren.

6 Dank

Jochen MARTENS, Gerhard EISENBEIS, Katrin BÖHNING-GAESE, Martin PLATH, Sebastian KLAUS und Michael WINK boten Studenten und Studentinnen der Universitäten Mainz, Frankfurt a. M. und Heidelberg die Gelegenheit, im Rahmen ihres Studiums beim ISMEGA mitzuarbeiten. Die Durchführung des ISMEGA haben die zuständigen Behörden gestattet. Finanzielle Unterstützung gewährten neben einigen Privatpersonen das rheinland-pfälzische Umweltministerium sowie die NABU-Gruppen Mainz und Worms-Wonnegau. Fast 200 Menschen haben aktiv zur Erhebung der ISMEGA-Daten beigetragen (www.ismega.de/team.html). Wir danken allen genannten Personen und Behörden sehr herzlich.

7 Literatur

AMBROSINI, R., RUBOLINI, D., MØLLER, A. P., BANI, L., CLARK, J., KARCZA, Z., VANGELUWE, D., DU FEU, C., SPINA, F. & N. SAINO (2011): Climate change and the long-term northward shift in the African wintering range of the barn swallow *Hirundo rustica*. – Climate Research **49**: 131–141. Oldendorf.

BAIRLEIN, F. (1996): Ökologie der Vögel. Physiologische Ökologie, Populationsbiologie, Vogelgemeinschaften, Naturschutz. – 149 S., Stuttgart.

BAIRLEIN, F., BAUER, H.-G. & H. DORSCH (2000): Integriertes Monitoring von Singvogelpopulationen. – Die Vogelwelt **121**: 217–232. Wiebelsheim.

BOTH, C., TURNHOUT, C. A. M. VAN, BIJLSMA, R. G., SIEPEL, H., STRIEN A. J. VAN & R. P. B. FOPPEN (2010): Avian population consequences of climate change are most severe for long-distance migrants in seasonal habitats. – Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences **277**: 1259–1266. London.

BUCHAN, C., FRANCO, A. M. A., CATRY, I., GAMERO, A., KLVAŇOVÁ, A. & J. J. GILROY (2022): Spatially explicit risk mapping reveals direct anthropogenic impacts on migratory birds. – Global Ecology and Biogeography **31**: 1707–1725. – Online-Publikation.

BUCZEK, A. M., BUCZEK, W., BUCZEK, A. & K. BARTOSIK (2020): The potential role of migratory birds in the rapid spread of ticks and tick-borne pathogens in the changing climatic and environmental conditions in Europe. – International Journal of Environmental Research and Public Health **17** (6): 2117. Online-Publikation.

CALANCA, P., SMITH, P., HOLZKÄMPER, A. & C. AMMANN (2011): Die Referenzverdunstung und ihre Anwendung in der Agrarmeteorologie. – Agrarforschung Schweiz **2** (4): 176–183. Posieux.

DEUTSCHER WETTERDIENST (2023): Klimastatusbericht Deutschland Jahr 2022, Geschäftsbereich Klima und Umwelt. – https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2022.html?nn=510076. Letzter Zugriff: 14.01.2024.

DIENSTLEISTUNGSZENTREN LÄNDLICHER RAUM RHEINLAND-PFALZ (2023): Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz. – https://www.wetter.rlp.de/Agrarmeteorologie/Wetterdaten/Rheinhessen. Letzter Zugriff: 01.12.2023.

DIETZEN, C., FOLZ, H.-G., GRUNWALD, T., KELLER, P., KUNZ, A., NIEHUIS, M., SCHÄF, M., SCHMOLZ, M. & M. WAGNER (2017): Die Vogelwelt von Rheinland-Pfalz, Bd. 4.1 – Singvögel (Passeriformes) – 1 Pirole bis Drosseln. – Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz, Beih. **49**: I–XX + S. 1–596. Landau.

DINSBERGS, I., KEIŠS, O. & M. BRIEDIS (2023): Spring phenology is advancing at a faster rate than arrival times of Common Starling. – Journal of Ornithology **164**: 367–375. Wilhelmshaven.

EURING – THE EUROPEAN UNION FOR BIRD RINGING (2011): Vogelberingung für Wissenschaft und Naturschutz. – https://euring.org/files/documents/brochure2007/EURING_brochure_german_2011.pdf

FRANKS, S. E., PEARCE-HIGGINS, J. W., ATKINSON, S., BELL, J. R., BOTHAM, M. S., BRERETON, T. M., HARRINGTON, R. & D. I. LEECH (2018): The sensitivity of breeding songbirds to changes in seasonal timing is linked to population change but cannot be directly attributed to the effects of trophic asynchrony on productivity. – Global Change Biology **24**: 957–971. – Online-Publikation.

FUCHS, H.-J. (2010): Analyse und Prognose des Klimas in Rheinland-Pfalz. – In: HEXEMER, H.-P. (Hrsg.): Die Folgen des Klimawandels für Rheinland-Pfalz. – Aus der Arbeit der Enquete-Kommission „Klimawandel“ des Landtags: 19–28. Präsident des Landtags Rheinland-Pfalz, Mainz.

GERLACH, B., DRÖSCHMEISTER, R., LANGGEMACH, T., BORKENHAGEN, K., BUSCH, M., HAUSWIRTH, M., HEINICKE, T., KAMP, J., KARTHÄUSER, J., KÖNIG, C., MARKONES, N., PRIOR, N., TRAUTMANN, S., WAHL, J. & C. SUDFELDT (2019): Übersichten zur Bestandssituation. – DDA, BfN, LAG VSW, Münster.

HAEST, B., HÜPPOP, O. & F. BAIRLEIN (2018): The influence of weather on avian spring migration phenology: What, where and when? – Global Change Biology **24**: 5769–5788. Oxford.

HALLIWELL, C., KETCHER, M., PROUD, A., WESTERBERG, S., DOUGLAS, D. J. T. & M.D. BURGESS (2023): Early life conditions influence fledging success and subsequent local recruitment rates in a declining migratory songbird, the Whinchat *Saxicola rubetra*. – Ecology and Evolution **13**: e10346. – Online-Publikation.

HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE (2023): Grundwasser. – https://www.hlnug.de/dossiers/duerre/grundwasser. – Letzter Zugriff: 17.12.2023.

INGENIEURBÜRO BRAUNER (2017): Natura 2000. Bewirtschaftungsplan, Land Rheinland-Pfalz. – https://map-final.rlp umwelt.de/docs_kartendienste/BWP_2012_16_S/BWP_2012_16_S_Fachplan_Maßnahmen.pdf

Jiménz, J., Hernández, J. M., Feliú, J., Carrasco, M. & R. Moreno-Opo (2018): Breeding in a dry wetland. Demographic response to drought in the common reed-warbler *Acrocephalus scirpaceus*. – Ardeola **65** (2): 247–259. Madrid.

Kingsford, R. T., Basset, A. & L. Jackson (2016): Wetlands: conservation's poor cousins. – Aquatic Conservation **26**: 892–916. Hoboken.

Knudsen, E., Lindén, A., Both, C., Jonzén, N., Pulido, F., Saino, N., Sutherland, W. J., Bach, L. A., Coppack, T., Ergon, T., Gienapp, P., Gill, J. A., Gordo, O., Hedenström, A., Lehikoinen, E., Marra, P. P., Møller, A. P., Nilsson, A. L. K., Péron, G., Ranta, E., Rubolini, D., Sparks, T. H., Spina, F., Studds, C. E., Saether, S. A., Tryjanowski, P. & N. C. Stenseth (2011): Challenging claims in the study of migratory birds and climate change. – Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society **86**: 928–946. – Online Publikation.

Koleček, J., Adamík, P. & J. Reif (2020): Shifts in migration phenology under climate change: temperature vs. abundance effects in birds. – Climatic Change **159**: 177–194. Berlin.

Land, M., Bundschuh, M., Hopkins, R. J., Poulin B. & B. G. McKie (2019): What are the effects of control of mosquitoes and other nematoceran Diptera using the microbial agent Bacillus thuringiensis israelensis (Bti) on aquatic and terrestrial ecosystems? A systematic review protocol. – Environmental Evidence **8**: 32. – Online-Publikation.

Max-Planck-Institut für Verhaltensbiologie: Vogelzug und Tiermarkierung (2024). – https://www.ab.mpg.de/249462/fiedler. – Letzter Zugriff: 14.01.2024.

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz (2010): Natura 2000. – https://naturschutz.rlp.de/de/fachinformationen/schutzgebiete-und-schutzobjekte/internationale-schutzgebiete/iucn-iv-biotop-artenschutzgebiet/natura-2000/. – Letzter Zugriff: 30.10.2023.

– (2023): Wasserportal Rheinland-Pfalz. – https://wasserportal.rlp-umwelt.de/servlet/is/391/. – Letzter Zugriff: 10.12.2023.

Morganti, M. (2015): Birds facing climate change: a qualitative model for the adaptive potential of migratory behaviour. – Rivista Italiana di Ornitologia **85**-1: 3–13. Pavia.

Mulsow, R. & L. Wieczorek (2023): Veränderungen im Jahresrhythmus ausgewählter Zugvogelarten im Raum Hamburg seit den 1960er Jahren. – Vogelwarte **61**: 1–14. Wilhelmshaven.

Ostendorp, W. (1993): Schilf als Lebensraum. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Abt. 2, 173–280. Karlsruhe.

Peach, W. J., Baillie, S. R. & D. E. Balmer (1998): Long-term changes in the abundance of passerines in Britain and Ireland as measured by constant effort mist-netting. – Bird Study **45**: 257–275. London.

Pearce-Higgins, J. W., Eglington, S. M., Martay, B. & D. E. Chamberlain (2015): Drivers of climate change impacts on bird communities. – The Journal of Animal Ecology **84**: 943–954. London.

POSIT TEAN, POSIT SOFTWARE, PBC (2023): RStudio. – Integrated Development Environment for R. Posit Software. Boston

POULIN, B., LEFEBVRE, G. & L. PAZ (2010): Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. – Journal of Applied Ecology **47**: 884–889. London.

PÜSCHEL, A., WINZIG, W. & M. THEEL (2023): Entwicklung der Globalstrahlung 1983–2020 in Deutschland. – https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/download_dekadenbericht.pdf?blob=publicationFile&v=6#:~:text=Im%20Zeitraum%201983%20%2D%201990%20lag,waren%20es%201.114%20kWh%2Fm%C2%B2. – Letzter Zugriff: 14.01.2024

R CORE TEAM (2023): R: A Language and Environment for Statistical Computing. – R Foundation for Statistical computing. Wien.

RIEDERER, M. (Hrsg.) (2004): Erhöhte UV-Strahlung. Folgen und Maßnahmen; Rundgespräch am 9. Februar 2004 in München. – München.

RIGAL, S., DAKOS, V., ALONSO, H., AUNIŅŠ, A., BENKÖ, Z., BROTONS, L., CHODKIEWICZ, T., CHYLARECKI, P., DE CARLI, E., DEL MORAL, J. C., DOMŞA, C., ESCANDELL, V., FONTAINE, B., FOPPEN, R., GREGORY, R., HARRIS, S., HERRANDO, S., HUSBY, M., IERONYMIDOU, C., JIGUET, F., KENNEDY, J., KLVAŇOVÁ, A., KMECL, P., KUCZYŃSKI, L., KURLAVIČIUS, P., KÅLÅS, J. A., LEHIKOINEN, A., LINDSTRÖM, Å., LORRILLIÈRE, R., MOSHØJ, C., NELLIS, R., NOBLE, D., ESKILDSEN, D. P., PAQUET, J.-Y., PÉLISSIÉ, M., PLADEVALL, C., PORTOLOU, D., REIF, J., SCHMID, H., SEAMAN, B., SZABO, Z. D., SZÉP, T., FLORENZANO, G. T., TEUFELBAUER, N., TRAUTMANN, S., VAN TURNHOUT, C., VERMOUZEK, Z., VIKSTRØM, T., VOŘÍŠEK, P., WEISERBS, A. & V. DEVICTOR (2023): Farmland practices are driving bird population decline across Europe. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **120**-21: e2216573120. – Online Publikation.

ROSAMOND, K. M., GODED, S., SOULTAN, A., KAPLAN, R. H., GLASS, A., KIM, D. H. & N. ARCILLA (2020): Not singing in the rain: Linking migratory songbird declines with increasing precipitation and brood parasitism vulnerability. – Frontiers in Ecology and Evolution **8**: 536769. – Online-Publikation.

SACCAVINO, E., JÄCKEL, K. & D. T. TIETZE (2017): Wie gut repräsentieren die Ergebnisse des Integrierten Monitorings von Singvögelpopulationen die Population des jeweiligen Untersuchungsgebiets? – Vogelwarte **55**: 53–62. Wilhelmshaven.

SCHAUBERGER, P. & A. WALKER (2023): openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files.

SCHULZE-HAGEN, K. (2001): *Acrocephalus scirpaceus* – Teichrohrsänger. – In: GLUTZ VON BLOTZHEIM, U. N. & R. WASSMANN (Hrsg.): Handbuch der Vögel Mitteleuropas auf CD-ROM. Das größte elektronische Nachschlagewerk zur Vogelwelt Mitteleuropas: 433–486. Vogelzug-Verl. im Humanitas-Buchversand. Wiebelsheim.

SCHWARTZ, M. & various authors for Perl modules listed in each .pm file. (2022): WriteXLS: Cross-Platform Perl Based R Function to Create Excel 2003 (XLS) and Excel 2007 (XLSX) Files.

SCHWARZ, L., JÄCKEL, K., TRAUTMANN, S., GRIEBELER, E. M. & D. T. TIETZE (2015): Zehn Jahre Integriertes Singvogelmonitoring am Eich-Gimbsheimer Altrhein. – Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz **13** (1): 173–200. Landau.

SVENSSON, L. (2023): Der Kosmos Vogelführer. Alle Arten Europas, Nordafrikas und Vorderasiens. 3. Aufl. – 430 S., Stuttgart.

TAFF, C. C. & J. R SHIPLEY (2023): Inconsistent shifts in warming and temperature variability are linked to reduced avian fitness. –Nature communications **14**: 7400. – Online-Publikation.

TIETZE, D., KÄSTNER, H., LUDWIGS, J. & E. M. GRIEBELER (2020): Anderthalb Jahrzehnte Integriertes Singvogelmonitoring in und um Rheinland-Pfalz, dem bisherigen IMS-Schwerpunktgebiet in Westdeutschland. – Vogelwarte **58**: 289–311. Wilhelmshaven.

VERBANDSGEMEINDE EICH (2023): VG-Eich. Verwaltung & Politik – Grundwassermessstelle. https://www.vg-eich.de/Verwaltung-Politik/Aktuelles/Grundwassermessstelle-/. – Letzter Zugriff: 12.12.2023.

WICKHAM, H. (2016): ggplot2: Elegant graphics for data analysis. – New York.

WICKHAM, H. & J. BRYAN (2023): readxl: Read Excel Files.

WINKLER, R. & L. JENNI (2007): Alters- und Geschlechtsbestimmung europäischer Singvögel. – Naturhistorisches Museum; Schweizerische Vogelwarte, Basel – Sempach.

WOODWORTH, B. K., WHEELWRIGHT, N. T., NEWMAN, A. E., SCHAUB, M. & D. R. NORRIS (2017): Winter temperatures limit population growth rate of a migratory songbird. – Nature communications **8**: 14812. Online-Publikation.

Manuskript eingereicht am 1. Juli 2024.

Anschriften der Verfasser:
Anna Christine KUNZ, Ulmenstraße 6, D-67585 Dorn-Dürkheim
E-Mail: kunz.christine@gmail.com
Kathrin JÄCKEL, Grünbergstraße 11, D-67471 Elmstein
E-Mail: kathrinjaeckel@posteo.de
Thilo VOLZ (Adresse aus Sicherheitsgründen nicht genannt)
Prof. Dr. Eva Maria GRIEBELER, Institut für Organismische und Molekulare Evolutionsbiologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, D-55099 Mainz
E-Mail: griebel@uni-mainz.de
Dr. Dieter Thomas TIETZE (Adresse aus Sicherheitsgründen nicht genannt, aber der GNOR bekannt)
E-Mail: mail@dieterthomastietze.de

8 Anhang

Tab. A1: Liste der verwendeten Wettervariablen mit Code des Deutschen Wetterdienstes, der für sie verwendete Variablenname, Messgröße, Einheit, Art der zeitlichen Erfassung und Bedeutung.

Code des Wetterdienstes	Variable	Messgröße	Einheit	Zeitliche Erfassung	Bedeutung
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	Mittelwert	°C	Stunde/Tag/Monat/Jahr	Temperatur in 2 m Lufthöhe
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	Mittelwert	°C	Stunde/Tag/Monat/Jahr	Temperatur in 20 cm Bodentiefe
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	Mittelwert	m/s	Stunde/Tag/Monat/Jahr	Windgeschwindigkeit in 2,5 m Höhe
DFROST	Frosttage	Anzahl	Tag	-/Tag/Monat/Jahr	Frosttage = Tag mit Temperaturminimum < 0 °C
DHOT	Hitzetage	Anzahl	Tag	-/Tag/Monat/Jahr	Heiße Tage = Tag mit Tempermaximum ≥ 30 °C
DRAIN	Regentage	Anzahl	Tag	-/Tag/Monat/Jahr	Regentage = Tage mit Niederschlagsminimum von 0,1 mm
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	Maximum	Wh/m^2	-/Tag/Monat/Jahr	Globalstrahlung
MAX_GS200max	Max. Globalstrahlung (stündlich gemessen)	Maximum	W/m^2	Stunde/Tag/Monat/Jahr	Globalstrahlung
MAX_NN050	Max. Niederschlag	Maximum	mm	-/Tag/Monat/Jahr	Niederschlag
MAX_NN050max	Max. Niederschlag (stündlich gemessen)	Maximum	mm	Stunde/Tag/Monat/Jahr	Niederschlag
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	Maximum	°C	-/Tag/Monat/Jahr	Temperatur 2 m Lufthöhe
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	Maximum	°C	-/Tag/Monat/Jahr	Temperatur in 20 cm Bodentiefe
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	Maximum	m/s	-/Tag/Monat/Jahr	Windgeschwindigkeit in 2,5 m Höhe
MAX_WV200max	Max. Windgeschwindigkeit (stündlich gemessen)	Maximum	m/s	Stunde/Tag/Monat/Jahr	Windgeschwindigkeit in 2,5 m Höhe
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	Minimum	Wh/m^2	-/Tag/Monat/Jahr	Globalstrahlung
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	Minimum	°C	-/Tag/Monat/Jahr	Temperatur 2 m Lufthöhe
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	Minimum	°C	-/Tag/Monat/Jahr	Temperatur in 20 cm Bodentiefe
MIN_WV200	Min. Windgeschwindigkeit	Minimum	m/s	-/Tag/Monat/Jahr	Windgeschwindigkeit in 2,5 m Höhe
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	Summe	Wh/m^2	Stunde/Tag/Monat/Jahr	Globalstrahlung
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	Summe	mm	Stunde/Tag/Monat/Jahr	Niederschlag
SUM_PEN	Verdunstung	Summe	mm	-/Tag/Monat/Jahr	Verdunstung (nach FAO56)
AVG_RH200	Rel. Luftfeuchte	Mittelwert	%	-/Tag/Monat/Jahr	Relative Luftfeuchte
Min_RH200	Rel. Luftfeuchte	Minimum	%	-/Tag/Monat/Jahr	Relative Luftfeuchte

Tab. A2: Jährliche sowie kumulierte jährliche Fangzahlen des Teichrohrsängers im Rahmen des ISMEGA im Zeitraum 2005 bis 2022. Angegeben sind die Anzahl altersbestimmter Vögel, die Anzahl adulter Vögel (Brutpopulationsgröße) und die Anzahl der Jungvögel. Die letzte Spalte enthält die berechnete Produktivität in Prozent mit Angabe der durchschnittlichen Produktivität über alle Jahre.

Jahr	**Anzahl altersbestimmter Vögel**	**Anzahl adulter Vögel (Brutpopulation)**	**Anzahl Jungvögel**	**Produktivität [%] (Anteil Jungvögel an Anzahl altersbest. Vögel)**
2005	287	177	110	38,3
2006	370	134	236	63,8
2007	183	118	65	35,5
2008	134	67	67	50,0
2009	153	71	82	53,6
2010	160	69	91	56,9
2011	203	77	126	62,1
2012	139	64	75	54,0
2013	151	57	94	62,3
2014	131	60	71	54,2
2015	224	69	155	69,2
2016	208	107	101	48,6
2017	127	55	72	56,7
2018	117	65	52	44,4
2019	154	80	74	48,1
2020	140	92	48	34,3
2021	105	73	32	30,5
2022	54	26	28	51,9
∑/Ø	∑ 3040	∑ 1461	∑ 1579	Ø 50,8

Tab. A3: Ergebnisse der Korrelationsanalysen der Wetter- und Grundwasservariablen (signifikante Ergebnisse fett gedruckt) mit der Zeit (2005 bis 2022). Unterschiede in den Anzahlen der Freiheitsgrade (df) ergeben sich aus unterschiedlichen Zeitpunkten, ab denen die jeweilige Wettervariable von der Wetterstation gemessen wurde, bzw. fehlenden Grundwasserwerten im Jahr 2022.

Bezugs zeitraum	**Variable**	**df**	**r**	**p-Wert**
Januar	Mittl. Lufttemperatur	17	0,133	0,588
Januar	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	-0,023	0,925
Januar	Frosttage	17	-0,218	0,369
Januar	Regentage	17	0,192	0,431
Januar	Max. Bodentemperatur	17	0,172	0,481
Januar	Grundwasser	17	0,200	0,411
Januar	Verdunstung	12	0,373	0,189
Januar	**Max. Globalstrahlung (stdl.)**	**12**	**0,650**	**0,012**
Januar	**Max. Niederschlag (stdl.)**	**12**	**-0,578**	**0,031**
Februar	Mittl. Lufttemperatur	17	0,241	0,321
Februar	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	0,295	0,221
Februar	Frosttage	17	-0,077	0,753
Februar	Regentage	17	-0,129	0,598
Februar	Max. Bodentemperatur	17	0,023	0,925
Februar	Grundwasser	17	0,221	0,362
Februar	**Verdunstung**	**12**	**0,748**	**0,002**
Februar	Max. Globalstrahlung (stdl.)	12	0,461	0,097
Februar	Max. Niederschlag (stdl.)	12	-0,086	0,769
März	Mittl. Lufttemperatur	17	0,171	0,484
März	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	-0,026	0,917
März	Frosttage	17	-0,082	0,740
März	Regentage	17	-0,273	0,259
März	Max. Bodentemperatur	17	0,044	0,860
März	Grundwasser	17	0,224	0,357
März	**Verdunstung**	**13**	**0,602**	**0,018**
März	**Max. Globalstrahlung (stdl.)**	**12**	**0,584**	**0,028**
März	**Max. Niederschlag (stdl.)**	**12**	**-0,552**	**0,041**
April	Mittl. Lufttemperatur	17	-0,322	0,179
April	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	0,122	0,620
April	**Frosttage**	**17**	**0,532**	**0,019**
April	Hitzetage	17	-0,043	0,861
April	Regentage	17	-0,338	0,157
April	Max. Bodentemperatur	17	-0,309	0,198
April	Grundwasser	16	-0,057	0,816
April	Verdunstung	13	0,259	0,285

Bezugs zeitraum	Variable	df	r	p-Wert
April	**Max. Globalstrahlung (stdl.)**	**13**	**0,537**	**0,039**
April	**Max. Niederschlag (stdl.)**	**13**	**-0,629**	**0,012**
Mai	Mittl. Lufttemperatur	17	-0,186	0,447
Mai	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	-0,017	0,945
Mai	Frosttage	17	0,188	0,441
Mai	Hitzetage	17	-0,170	0,486
Mai	Regentage	17	-0,258	0,287
Mai	Max. Bodentemperatur	17	-0,388	0,101
Mai	Grundwasser	16	0,266	0,287
Mai	Verdunstung	13	0,338	0,217
Mai	**Max. Globalstrahlung (stdl.)**	**13**	**0,560**	**0,030**
Mai	**Max. Niederschlag (stdl.)**	**13**	**-0,730**	**0,002**
Juni	Mittl. Lufttemperatur	17	0,354	0,137
Juni	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	-0,115	0,639
Juni	Hitzetage	17	-0,066	0,789
Juni	Regentage	17	-0,107	0,663
Juni	Max. Bodentemperatur	17	-0,248	0,305
Juni	Grundwasser	16	0,291	0,241
Juni	**Verdunstung**	**13**	**0,598**	**0,019**
Juni	**Max. Globalstrahlung (stdl.)**	**13**	**0,515**	**0,049**
Juni	Max. Niederschlag (stdl.)	13	-0,319	0,247
Juli	Mittl. Lufttemperatur	17	0,052	0,833
Juli	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	-0,119	0,626
Juli	Hitzetage	17	-0,167	0,495
Juli	**Regentage**	**17**	**-0,762**	**0,000**
Juli	Max. Bodentemperatur	17	-0,315	0,190
Juli	Grundwasser	16	0,303	0,221
Juli	**Verdunstung**	**13**	**0,552**	**0,033**
Juli	**Max. Globalstrahlung (stdl.)**	**13**	**0,520**	**0,047**
Juli	Max. Niederschlag (stdl.)	13	-0,473	0,075
August	**Mittl. Lufttemperatur**	**17**	**0,459**	**0,048**
August	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	-0,112	0,647
August	Hitzetage	17	0,424	0,070
August	**Regentage**	**17**	**-0,457**	**0,049**
August	Max. Bodentemperatur	17	0,274	0,257
August	Grundwasser	16	0,256	0,305
August	**Verdunstung**	**13**	**0,711**	**0,003**
August	**Max. Globalstrahlung (stdl.)**	**13**	**0,643**	**0,010**
August	Max. Niederschlag (stdl.)	13	-0,452	0,091

Bezugs zeitraum	Variable	df	r	p-Wert
September	Mittl. Lufttemperatur	17	-0,063	0,798
September	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	0,145	0,553
September	Hitzetage	17	0,259	0,285
September	Regentage	17	0,006	0,980
September	Max. Bodentemperatur	17	0,157	0,520
September	Grundwasser	16	0,179	0,478
September	**Verdunstung**	**13**	**0,773**	**0,001**
September	**Max. Globalstrahlung (stdl.)**	**13**	**0,710**	**0,003**
September	Max. Niederschlag (stdl.)	13	-0,497	0,059
Oktober	Mittl. Lufttemperatur	17	0,064	0,794
Oktober	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	0,303	0,207
Oktober	Frosttage	17	-0,131	0,592
Oktober	Regentage	17	-0,216	0,375
Oktober	Max. Bodentemperatur	17	-0,258	0,286
Oktober	Grundwasser	17	0,053	0,829
Oktober	Verdunstung	13	0,451	0,092
Oktober	**Max. Globalstrahlung (stdl.)**	**13**	**0,703**	**0,004**
Oktober	Max. Niederschlag (stdl.)	13	-0,212	0,448
November	Mittl. Lufttemperatur	17	0,000	0,999
November	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	-0,226	0,353
November	Frosttage	17	-0,085	0,728
November	Regentage	17	-0,317	0,187
November	Max. Bodentemperatur	17	0,244	0,315
November	Grundwasser	17	0,084	0,734
November	Verdunstung	13	-0,281	0,310
November	**Max. Globalstrahlung (stdl.)**	**13**	**0,648**	**0,009**
November	Max. Niederschlag (stdl.)	13	0,012	0,965
Dezember	Mittl. Lufttemperatur	17	0,370	0,119
Dezember	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	0,056	0,821
Dezember	**Frosttage**	**17**	**-0,505**	**0,027**
Dezember	Regentage	17	-0,067	0,786
Dezember	**Max. Bodentemperatur**	**17**	**0,466**	**0,044**
Dezember	Grundwasser	17	0,092	0,710
Dezember	Verdunstung	13	0,007	0,981
Dezember	Max. Globalstrahlung (stdl.)	13	0,379	0,164
Dezember	Max. Niederschlag (stdl.)	13	-0,263	0,343
Jahr	Mittl. Lufttemperatur	17	0,258	0,287
Jahr	Mittl. Windgeschwindigkeit	17	0,050	0,840
Jahr	Frosttage	17	-0,265	0,273

Bezugs zeitraum	Variable	df	r	p-Wert
Jahr	Hitzetage	17	0,178	0,467
Jahr	**Regentage**	**17**	**-0,706**	**0,001**
Jahr	Max. Niederschlag (stdl.)	13	-0,475	0,074
Jahr	Max. Bodentemperatur	17	-0,305	0,205
Jahr	**Verdunstung**	**13**	**0,813**	**0,000**
Jahr	**Sum. Globalstrahlung**	**17**	**0,675**	**0,002**
Jahr	Grundwasser	17	0,124	0,623

Tab. A4: Ergebnisse der Korrelationsanalysen der BPG und der Produktivität des Teichrohrsängers mit der Zeit (2005 bis 2022) und zur Produktivität und der BPG im Folgejahr (signifikante Ergebnisse fett gedruckt).

Variable 1	Variable 2	df	r	p-Wert
Jahr	**BPG Teichrohrsänger**	**16**	**-0,586**	**0,011**
Jahr	Produktivität Teichrohrsänger	16	-0,213	0,396
Produktivität Teichrohrsänger	BPG Teichrohrsänger Folgejahr	15	0,241	0,352

Tab. A5: Ergebnisse der jährlichen Korrelationsanalysen der BPG des Teichrohrsängers mit den Wettervariablen (signifikante Ergebnisse fett gedruckt). Unterschiede in den Anzahlen der Freiheitsgrade (df) ergeben sich aus unterschiedlichen Zeitpunkten, ab denen die jeweilige Wettervariable von der Wetterstation gemessen wurde, bzw. fehlenden Grundwasserwerten im Jahr 2022.

Monat	Variable	df	r	p-Wert
Januar	Mittl. Lufttemperatur	16	0,053	0,834
Januar	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	0,210	0,403
Januar	Frosttage	16	-0,053	0,835
Januar	Regentage	16	-0,196	0,436
Januar	Max. Bodentemperatur	16	-0,075	0,766
Januar	**Grundwasser**	**16**	**-0,493**	**0,037**
Januar	Verdunstung	12	0,015	0,960
Januar	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	12	-0,136	0,643
Januar	Maximum Niederschlag (stdl.)	12	0,008	0,977
Februar	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,119	0,639
Februar	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,029	0,908
Februar	Frosttage	16	0,017	0,946
Februar	Max. Bodentemperatur	16	-0,046	0,855
Februar	**Grundwasser**	**16**	**-0,507**	**0,032**
Februar	Verdunstung	12	-0,033	0,910
Februar	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	12	-0,231	0,428
Februar	Maximum Niederschlag (stdl.)	12	0,492	0,074
Februar	Regentage	16	0,169	0,502

Monat	Variable	df	r	p-Wert
März	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,112	0,659
März	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	0,113	0,656
März	Frosttage	16	-0,017	0,948
März	Max. Bodentemperatur	16	0,191	0,447
März	**Grundwasser**	**16**	**-0,522**	**0,026**
März	Verdunstung	13	-0,048	0,864
März	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	12	0,156	0,595
März	Maximum Niederschlag (stdl.)	12	0,248	0,393
März	Regentage	16	0,244	0,330
April	Mittl. Lufttemperatur	16	0,002	0,993
April	Regentage	16	0,100	0,694
April	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	0,321	0,194
April	Frosttage	16	-0,065	0,797
April	Hitzetage	16	0,270	0,279
April	Max. Bodentemperatur	16	0,288	0,247
April	**Grundwasser**	**15**	**-0,602**	**0,011**
April	Verdunstung	13	-0,238	0,394
April	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	13	0,066	0,815
April	Maximum Niederschlag (stdl.)	13	0,096	0,735
Mai	Mittl. Lufttemperatur	16	0,002	0,993
Mai	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	0,321	0,194
Mai	Frosttage	16	-0,065	0,797
Mai	Hitzetage	16	0,270	0,279
Mai	Max. Bodentemperatur	16	0,288	0,247
Mai	**Grundwasser**	**15**	**-0,602**	**0,011**
Mai	Verdunstung	13	-0,238	0,394
Mai	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	13	0,066	0,815
Mai	Maximum Niederschlag (stdl.)	13	0,096	0,735
Mai	Regentage	16	0,100	0,694
Juni	Mittl. Lufttemperatur	16	0,123	0,626
Juni	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	0,337	0,171
Juni	Hitzetage	16	0,345	0,161
Juni	**Max. Bodentemperatur**	**16**	**0,575**	**0,013**
Juni	**Grundwasser**	**15**	**-0,613**	**0,009**
Juni	Verdunstung	13	-0,422	0,118
Juni	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	13	0,178	0,526
Juni	Maximum Niederschlag (stdl.)	13	-0,159	0,571
Juni	Regentage	16	0,020	0,937
Juli	Mittl. Lufttemperatur	16	0,106	0,675
Juli	Regentage	16	0,463	0,053

Monat	Variable	df	r	p-Wert
Juli	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	0,377	0,123
Juli	Hitzetage	16	0,116	0,646
Juli	Max. Bodentemperatur	16	0,245	0,328
Juli	**Grundwasser**	**15**	**-0,600**	**0,011**
Juli	Verdunstung	13	-0,232	0,405
Juli	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	13	0,120	0,671
Juli	Maximum Niederschlag (stdl.)	13	-0,012	0,967
August	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,418	0,084
August	Regentage	16	0,215	0,391
August	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	0,450	0,061
August	Hitzetage	16	-0,269	0,281
August	Max. Bodentemperatur	16	-0,362	0,140
August	**Grundwasser**	**15**	**-0,586**	**0,013**
August	Verdunstung	13	-0,046	0,871
August	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	13	-0,012	0,967
August	Maximum Niederschlag (stdl.)	13	-0,397	0,142
September	Mittl. Lufttemperatur	16	0,176	0,484
September	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	0,398	0,102
September	Hitzetage	16	-0,005	0,985
September	Max. Bodentemperatur	16	0,349	0,156
September	Grundwasser	16	-0,434	0,072
September	Verdunstung	12	-0,138	0,639
September	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	12	0,030	0,920
September	Maximum Niederschlag (stdl.)	12	0,076	0,797
September	Regentage	16	0,004	0,988
Oktober	Mittl. Lufttemperatur	16	0,380	0,120
Oktober	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	0,010	0,968
Oktober	Frosttage	16	-0,295	0,234
Oktober	Regentage	16	0,193	0,442
Oktober	Max. Bodentemperatur	16	0,185	0,462
Oktober	Grundwasser	16	-0,435	0,071
Oktober	Verdunstung	12	-0,230	0,430
Oktober	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	12	-0,022	0,939
Oktober	Maximum Niederschlag (stdl.)	12	-0,357	0,211
November	Mittl. Lufttemperatur	16	0,143	0,571
November	Regentage	16	0,208	0,407
November	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	0,305	0,219
November	Frosttage	16	0,069	0,786
November	Max. Bodentemperatur	16	0,398	0,102
November	Grundwasser	16	-0,462	0,053

Monat	Variable	df	r	p-Wert
November	Verdunstung	12	0,471	0,090
November	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	12	0,182	0,533
November	Maximum Niederschlag (stdl.)	12	0,040	0,893
Dezember	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,113	0,656
Dezember	Regentage	16	-0,276	0,268
Dezember	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,176	0,485
Dezember	Frosttage	16	0,282	0,257
Dezember	Max. Bodentemperatur	16	-0,186	0,460
Dezember	**Grundwasser**	**16**	**-0,487**	**0,041**
Dezember	Verdunstung	12	-0,074	0,802
Dezember	Maximum Globalstrahlung (stdl.)	12	-0,197	0,499
Dezember	Maximum Niederschlag (stdl.)	12	0,022	0,941

Tab. A6: Ergebnisse der monatlichen Korrelationsanalysen der Produktivität des Teichrohrsängers mit den Wettervariablen (signifikante Ergebnisse fett gedruckt). Unterschiede in den Anzahlen der Freiheitsgrade (df) ergeben sich aus unterschiedlichen Zeitpunkten, ab denen die jeweilige Wettervariable von der Wetterstation gemessen wurde, bzw. fehlenden Grundwasserwerten im Jahr 2022.

Monat	Variable	df	r	p-Wert
Januar	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,411	0,091
Januar	**Mittl. Windgeschwindigkeit**	**16**	**-0,544**	**0,020**
Januar	**Frosttage**	**16**	**0,472**	**0,048**
Januar	Max. Bodentemperatur (20 cm)	16	-0,210	0,404
Januar	**Grundwasser**	**16**	**0,592**	**0,010**
Januar	Verdunstung	12	0,010	0,973
Januar	Abs. Maximum Globalstrahlung	12	-0,468	0,091
Januar	Max. Niederschlag (stdl)	12	0,377	0,184
Februar	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,298	0,230
Februar	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,333	0,177
Februar	Frosttage	16	0,163	0,518
Februar	**Max. Bodentemperatur (20 cm)**	**16**	**-0,609**	**0,007**
Februar	**Grundwasser**	**16**	**0,571**	**0,013**
Februar	Verdunstung	12	-0,511	0,062
Februar	Abs. Maximum Globalstrahlung	12	-0,418	0,137
Februar	Max. Niederschlag (stdl.)	12	-0,031	0,917
März	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,179	0,476
März	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,220	0,380
März	Frosttage	16	0,318	0,198
März	Max. Bodentemperatur (20 cm)	16	-0,322	0,193
März	**Grundwasser**	**16**	**0,569**	**0,014**
März	Verdunstung	13	-0,316	0,252

Monat	Variable	df	r	p-Wert
März	**Abs. Maximum Globalstrahlung**	**12**	**-0,726**	**0,003**
März	Max. Niederschlag (stdl.)	12	0,251	0,387
April	Mittl. Lufttemperatur	16	0,084	0,741
April	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,406	0,095
April	Frosttage	16	-0,151	0,550
April	Hitzetage	16	-0,249	0,320
April	Max. Bodentemperatur (20 cm)	16	-0,315	0,203
April	**Grundwasser**	**15**	**0,566**	**0,018**
April	Verdunstung	13	-0,279	0,314
April	**Abs. Maximum Globalstrahlung**	**13**	**-0,584**	**0,022**
April	Max. Niederschlag (stdl.)	13	0,250	0,369
Mai	Mittl. Lufttemperatur	16	0,084	0,741
Mai	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,406	0,095
Mai	Frosttage	16	-0,151	0,550
Mai	Hitzetage	16	-0,249	0,320
Mai	Max. Bodentemperatur (20 cm)	16	-0,315	0,203
Mai	**Grundwasser**	**15**	**0,566**	**0,018**
Mai	Verdunstung	13	-0,279	0,314
Mai	**Abs. Maximum Globalstrahlung**	**13**	**-0,584**	**0,022**
Mai	Max. Niederschlag (stdl.)	13	0,250	0,369
Juni	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,389	0,111
Juni	**Mittl. Windgeschwindigkeit**	**16**	**-0,535**	**0,022**
Juni	Hitzetage	16	-0,022	0,931
Juni	Max. Bodentemperatur (20 cm)	16	-0,406	0,095
Juni	**Grundwasser**	**15**	**0,522**	**0,031**
Juni	Verdunstung	13	-0,368	0,177
Juni	**Abs. Maximum Globalstrahlung**	**13**	**-0,642**	**0,010**
Juni	Max. Niederschlag (stdl.)	13	0,381	0,162
Juli	Mittl. Lufttemperatur	16	0,368	0,133
Juli	**Mittl. Windgeschwindigkeit**	**16**	**-0,494**	**0,037**
Juli	**Hitzetage**	**16**	**0,534**	**0,022**
Juli	Max. Bodentemperatur (20 cm)	16	0,273	0,273
Juli	Grundwasser	15	0,437	0,079
Juli	Verdunstung	13	-0,138	0,623
Juli	**Abs. Maximum Globalstrahlung**	**13**	**-0,876**	**0,000**
Juli	Max. Niederschlag (stdl.)	13	0,235	0,399
August	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,023	0,927
August	**Mittl. Windgeschwindigkeit**	**16**	**-0,629**	**0,005**
August	Hitzetage	16	-0,033	0,897
August	Max. Bodentemperatur (20 cm)	16	0,115	0,649

Monat	Variable	df	r	p-Wert
August	Grundwasser	15	0,467	0,059
August	Verdunstung	13	-0,385	0,157
August	**Abs. Maximum Globalstrahlung**	**13**	**-0,648**	**0,009**
August	Max. Niederschlag (stdl.)	13	0,508	0,053
September	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,149	0,555
September	**Mittl. Windgeschwindigkeit**	**16**	**-0,670**	**0,002**
September	Hitzetage	16	-0,124	0,624
September	Max. Bodentemperatur (20 cm)	16	-0,337	0,171
September	**Grundwasser**	**16**	**0,580**	**0,012**
September	**Verdunstung**	**12**	**-0,691**	**0,006**
September	**Abs. Maximum Globalstrahlung**	**12**	**-0,656**	**0,011**
September	Max. Niederschlag (stdl.)	12	0,372	0,190
Oktober	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,302	0,224
Oktober	**Mittl. Windgeschwindigkeit**	**16**	**-0,647**	**0,004**
Oktober	Frosttage	16	0,318	0,198
Oktober	Max. Bodentemperatur (20 cm)	16	-0,004	0,987
Oktober	**Grundwasser**	**16**	**0,576**	**0,012**
Oktober	Verdunstung	12	-0,447	0,109
Oktober	**Abs. Maximum Globalstrahlung**	**12**	**-0,679**	**0,008**
Oktober	Max. Niederschlag (stdl.)	12	0,447	0,109
November	Mittl. Lufttemperatur	16	0,020	0,937
November	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,380	0,120
November	Frosttage	16	-0,180	0,475
November	Max. Bodentemperatur (20 cm)	16	-0,294	0,237
November	**Grundwasser**	**16**	**0,576**	**0,012**
November	Verdunstung	12	-0,033	0,911
November	**Abs. Maximum Globalstrahlung**	**12**	**-0,649**	**0,012**
November	Max. Niederschlag (stdl.)	12	0,164	0,575
Dezember	Mittl. Lufttemperatur	16	-0,323	0,191
Dezember	Mittl. Windgeschwindigkeit	16	-0,053	0,835
Dezember	Frosttage	16	0,251	0,315
Dezember	Max. Bodentemperatur (20 cm)	16	-0,459	0,055
Dezember	**Grundwasser**	**16**	**0,578**	**0,012**
Dezember	Verdunstung	12	0,215	0,460
Dezember	Abs. Maximum Globalstrahlung	12	-0,414	0,142
Dezember	Max. Niederschlag (stdl.)	12	0,151	0,605

Tab. A7: Ergebnisse der monatlichen Korrelationsanalysen zur BPG und Produktivität des Teichrohrsängers mit den extrahierten Werten der Hauptkomponenten aus der HKA. Signifikante Werte sind fett gedruckt. Die Freiheitsgrade (df) bei allen Korrelationen betrugen 16.

Monat	Variable	Hauptkomponente	df	r	p
Januar	BTeich	HK1	16	0,017	0,948
Januar	BTeich	HK2	16	-0,146	0,562
Januar	BTeich	HK3	16	0,027	0,915
Januar	BTeich	HK4	16	0,424	0,080
Januar	PTeich	HK1	16	0,272	0,275
Januar	PTeich	HK2	16	-0,077	0,763
Januar	**PTeich**	**HK3**	**16**	**0,524**	**0,026**
Januar	PTeich	HK4	16	-0,390	0,110
Februar	BTeich	HK1	16	-0,101	0,690
Februar	BTeich	HK2	16	-0,414	0,087
Februar	BTeich	HK3	16	-0,018	0,943
Februar	BTeich	HK4	16	0,019	0,941
Februar	BTeich	HK5	16	0,348	0,157
Februar	**PTeich**	**HK1**	**16**	**-0,500**	**0,035**
Februar	PTeich	HK2	16	-0,255	0,307
Februar	PTeich	HK3	16	-0,091	0,719
Februar	PTeich	HK4	16	-0,147	0,561
Februar	PTeich	HK5	16	-0,295	0,235
März	BTeich	HK1	16	0,324	0,189
März	BTeich	HK2	16	0,196	0,436
März	BTeich	HK3	16	0,418	0,084
März	BTeich	HK4	16	0,022	0,930
März	BTeich	HK5	16	0,354	0,150
März	PTeich	HK1	16	0,234	0,351
März	PTeich	HK2	16	-0,204	0,418
März	PTeich	HK3	16	-0,276	0,268
März	PTeich	HK4	16	0,155	0,540
März	PTeich	HK5	16	0,181	0,471
April	BTeich	HK1	16	0,135	0,592
April	BTeich	HK2	16	0,250	0,317
April	BTeich	HK3	16	0,000	0,999
April	BTeich	HK4	16	-0,344	0,162
April	BTeich	HK5	16	0,164	0,515
April	PTeich	HK1	16	-0,207	0,409
April	PTeich	HK2	16	0,161	0,525
April	PTeich	HK3	16	-0,311	0,209
April	PTeich	HK4	16	0,426	0,078
April	PTeich	HK5	16	-0,368	0,133

Monat	Variable	Hauptkomponente	df	r	p
Mai	BTeich	HK1	16	0,007	0,977
Mai	BTeich	HK2	16	-0,056	0,826
Mai	BTeich	HK3	16	-0,368	0,133
Mai	BTeich	HK4	16	-0,351	0,153
Mai	PTeich	HK1	16	-0,017	0,948
Mai	PTeich	HK2	16	0,352	0,152
Mai	PTeich	HK3	16	0,001	0,998
Mai	PTeich	HK4	16	0,391	0,108
Juni	BTeich	HK1	16	0,268	0,282
Juni	BTeich	HK2	16	0,220	0,380
Juni	BTeich	HK3	16	0,315	0,203
Juni	BTeich	HK4	16	-0,093	0,713
Juni	BTeich	HK5	16	-0,172	0,495
Juni	PTeich	HK1	16	-0,170	0,500
Juni	**PTeich**	**HK2**	**16**	**-0,499**	**0,035**
Juni	PTeich	HK3	16	-0,077	0,761
Juni	**PTeich**	**HK4**	**16**	**0,670**	**0,002**
Juni	PTeich	HK5	16	0,129	0,611
Juli	BTeich	HK1	16	0,032	0,901
Juli	BTeich	HK2	16	-0,108	0,671
Juli	BTeich	HK3	16	-0,050	0,844
Juli	BTeich	HK4	16	-0,449	0,062
Juli	BTeich	HK5	16	-0,147	0,562
Juli	PTeich	HK1	16	-0,242	0,333
Juli	PTeich	HK2	16	0,008	0,976
Juli	PTeich	HK3	16	-0,422	0,081
Juli	PTeich	HK4	16	0,110	0,665
Juli	PTeich	HK5	16	-0,184	0,466
August	BTeich	HK1	16	0,380	0,119
August	BTeich	HK2	16	0,379	0,121
August	BTeich	HK3	16	0,090	0,723
August	PTeich	HK1	16	0,046	0,856
August	**PTeich**	**HK2**	**16**	**-0,510**	**0,031**
August	PTeich	HK3	16	0,274	0,272
September	BTeich	HK1	16	0,202	0,421
September	BTeich	HK2	16	-0,002	0,994
September	BTeich	HK3	16	-0,226	0,367
September	BTeich	HK4	16	0,295	0,235
September	PTeich	HK1	16	-0,411	0,091
September	PTeich	HK2	16	0,104	0,683

Monat	Variable	Hauptkomponente	df	r	p
September	**PTeich**	**HK3**	**16**	**0,505**	**0,033**
September	PTeich	HK4	16	0,088	0,729
Oktober	BTeich	HK1	16	0,204	0,417
Oktober	BTeich	HK2	16	0,309	0,213
Oktober	BTeich	HK3	16	-0,343	0,164
Oktober	BTeich	HK4	16	0,402	0,099
Oktober	BTeich	HK5	16	0,242	0,334
Oktober	PTeich	HK1	16	-0,264	0,290
Oktober	PTeich	HK2	16	-0,051	0,839
Oktober	**PTeich**	**HK3**	**16**	**0,533**	**0,023**
Oktober	PTeich	HK4	16	0,151	0,550
Oktober	PTeich	HK5	16	0,261	0,295
November	BTeich	HK1	16	0,007	0,978
November	BTeich	HK2	16	0,087	0,732
November	BTeich	HK3	16	-0,212	0,398
November	BTeich	HK4	16	0,103	0,684
November	BTeich	HK5	16	-0,468	0,050
November	BTeich	HK6	16	0,386	0,113
November	PTeich	HK1	16	-0,287	0,249
November	PTeich	HK2	16	-0,179	0,478
November	PTeich	HK3	16	0,392	0,108
November	PTeich	HK4	16	0,071	0,780
November	PTeich	HK5	16	0,319	0,197
November	PTeich	HK6	16	0,279	0,262
Dezember	BTeich	HK1	16	0,153	0,544
Dezember	BTeich	HK2	16	0,077	0,763
Dezember	BTeich	HK3	16	-0,271	0,276
Dezember	BTeich	HK4	16	-0,342	0,165
Dezember	BTeich	HK5	16	-0,184	0,464
Dezember	PTeich	HK1	16	0,387	0,113
Dezember	PTeich	HK2	16	0,241	0,335
Dezember	PTeich	HK3	16	0,118	0,642
Dezember	PTeich	HK4	16	0,007	0,978
Dezember	PTeich	HK5	16	0,158	0,531

HKA

Tab. A8: Ladungsmatrix zur HKA der Wettervariablen mit Werten der Monate Januar bis Dezember im Zeitraum 2004–2022. Angegeben sind der Code der verwendeten Wettervariable und die Ladungen der HKs mit Eigenwert ≥ 1,0, der Varianzanteil, die kumulierte Varianz und der Eigenwert. Spalten der HKs, die signifikante Korrelationen mit der Produktivität oder BPG lieferten, sind hellblau, für die Erklärung der HK besonders relevante Ladungswerte sind kräftiger blau gefärbt.

Januar					
Wetter Code	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	0,097	0,453	0,175	-0,350
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	-0,350	0,178	-0,173	0,069
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	-0,361	0,149	-0,111	0,015
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	-0,320	-0,214	-0,145	0,141
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	0,253	0,304	-0,095	-0,156
MAX_NN050	Max. Niederschlag	-0,214	-0,357	0,160	-0,241
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	-0,298	0,220	-0,011	0,010
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	-0,355	0,162	-0,068	-0,059
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	-0,089	-0,387	-0,502	-0,067
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	0,026	0,220	-0,601	0,275
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	0,067	0,213	0,175	0,723
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	-0,287	0,298	0,001	-0,162
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	-0,308	0,187	0,057	-0,137
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	0,246	0,092	-0,413	-0,328
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	-0,245	-0,161	0,221	-0,036
Varianzanteil [%]		44,2	17,6	11,8	8,4
kumulierte Varianz [%]		44,2	61,8	73,5	81,9
Eigenwert		6,629	2,639	1,762	1,252

Februar						
Wetter Code	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	-0,066	-0,417	0,169	-0,210	0,273
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	0,370	0,026	-0,107	-0,371	0,005
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	0,378	-0,001	0,014	-0,207	-0,202
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	0,308	-0,041	-0,341	0,434	-0,070
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	0,190	0,320	0,004	0,134	-0,346
MAX_NN050	Max. Niederschlag	0,279	-0,117	0,442	0,206	0,177
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	0,228	0,213	0,043	-0,328	0,284
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	0,342	0,048	0,119	0,013	0,336
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	0,237	-0,166	-0,413	0,216	-0,171
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	-0,182	0,157	-0,551	-0,220	0,353
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	-0,025	-0,504	-0,183	0,084	-0,071
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	-0,282	0,124	0,055	0,486	0,385
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	0,258	0,019	-0,289	0,098	0,458

Februar						
Wetter Code	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	0,100	0,513	0,122	0,185	0,050
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	0,304	-0,275	0,156	0,195	0,129
Varianzanteil [%]		38,3	21,0	9,4	7,4	6,7
kumulierte Varianz [%]		38,3	59,3	68,7	76,1	82,8
Eigenwert		5,747	3,144	1,407	1,116	0,999
März						
Wettercode	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	0,245	0,269	0,358	0,041	0,296
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	-0,348	0,153	-0,044	0,003	0,390
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	-0,354	0,197	-0,067	0,023	0,238
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	0,013	0,471	0,219	-0,045	-0,411
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	-0,179	0,104	-0,106	-0,558	-0,388
MAX_NN050	Max. Niederschlag	0,244	0,085	-0,022	-0,561	0,176
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	-0,334	-0,083	0,301	0,002	-0,078
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	-0,305	0,011	0,312	-0,155	0,338
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	-0,054	0,468	0,133	0,278	-0,291
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	-0,158	-0,173	0,542	0,200	-0,182
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	0,271	0,089	-0,321	0,354	-0,034
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	0,284	-0,243	0,285	-0,097	-0,140
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	-0,248	0,370	-0,276	0,007	-0,039
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	-0,287	-0,270	-0,121	-0,150	-0,287
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	0,270	0,304	0,177	-0,267	0,109
Varianzanteil [%]		41,4	20,2	11,2	9,5	6,9
kumulierte Varianz [%]		41,4	61,6	72,8	82,2	89,2
Eigenwert		6,205	3,029	1,684	1,418	1,038
April						
Wettercode	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	-0,321	0,310	-0,073	0,021	0,217
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	0,333	0,229	-0,115	-0,232	-0,271
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	0,368	0,115	-0,163	-0,275	-0,081
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	-0,155	-0,416	-0,269	-0,174	-0,145
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	0,022	-0,379	0,318	-0,405	0,268
MAX_NN050	Max. Niederschlag	-0,256	0,111	-0,001	-0,534	0,008
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	0,259	0,034	0,066	0,340	-0,168
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	0,251	-0,130	-0,482	-0,141	-0,108
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	-0,009	-0,399	-0,477	-0,037	0,080
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	0,277	0,117	0,270	-0,168	-0,230
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	-0,152	0,373	-0,235	-0,163	-0,392
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	-0,183	-0,324	0,149	0,081	-0,484

April						
Wettercode	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	0,275	0,156	-0,223	-0,020	0,541
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	0,315	-0,123	0,342	-0,299	0,019
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	-0,351	0,188	0,012	-0,322	0,012
Varianzanteil [%]		37,1	21,7	12,5	8,6	6,6
kumulierte Varianz [%]		37,1	58,8	71,3	79,9	86,4
Eigenwert		5,561	3,254	1,879	1,283	0,986
Mai						
Wettercode	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	-0,313	0,175	0,038	-0,365	
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	0,340	0,174	-0,101	-0,037	
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	0,346	0,189	-0,026	-0,074	
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	-0,105	-0,379	-0,485	-0,152	
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	0,030	-0,462	0,338	-0,300	
MAX_NN050	Max. Niederschlag	-0,279	0,327	-0,029	0,072	
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	0,264	0,015	0,044	-0,547	
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	0,239	0,193	0,080	-0,542	
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	-0,082	-0,402	-0,466	-0,148	
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	0,293	-0,064	-0,007	0,098	
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	-0,245	-0,034	0,390	-0,149	
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	0,095	0,263	-0,474	-0,135	
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	0,326	0,168	-0,046	0,171	
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	0,305	-0,222	0,163	0,188	
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	-0,298	0,298	-0,082	-0,110	
Varianzanteil [%]		46,2	18,5	12,0	8,30	
kumulierte Varianz [%]		46,2	64,8	76,7	85,1	
Eigenwert		6.933	2,781	1,796	1,248	
Juni						
Wettercode	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	-0,349	0,175	0,069	-0,216	0,072
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	0,290	0,081	-0,218	-0,352	0,241
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	0,328	0,201	-0,249	-0,195	-0,263
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	0,178	0,047	0,516	-0,361	-0,103
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	0,316	0,180	0,078	-0,110	0,160
MAX_NN050	Max. Niederschlag	-0,001	0,612	0,009	0,246	0,118
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	0,210	-0,294	0,019	-0,012	0,615
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	0,255	0,302	0,155	-0,091	-0,288
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	0,131	-0,159	0,559	-0,236	-0,077
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	0,295	-0,178	0,060	0,109	-0,121
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	-0,321	-0,004	0,007	-0,129	-0,402

Juni						
Wettercode	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	-0,280	-0,013	0,052	-0,406	0,260
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	0,055	-0,067	-0,508	-0,528	-0,133
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	0,365	0,117	-0,066	0,188	-0,009
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	-0,153	0,511	0,088	-0,129	0,298
Varianzanteil [%]		38,3	15,5	12,1	8,2	7,4
kumulierte Varianz [%]		38,3	53,8	65,9	74,1	81,5
Eigenwert		5,744	2,328	1,808	1,23	1,115
Juli						
Wettercode	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	0,346	0,090	-0,085	-0,178	-0,065
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	-0,317	0,099	-0,172	-0,310	-0,039
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	-0,341	0,118	-0,142	-0,185	-0,011
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	0,001	-0,354	0,489	-0,439	0,101
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	-0,268	0,220	0,136	0,012	0,516
MAX_NN050	Max. Niederschlag	0,231	0,065	-0,429	-0,224	0,297
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	-0,276	-0,255	-0,332	0,107	0,175
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	-0,249	-0,134	-0,318	-0,367	-0,323
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	-0,120	-0,496	0,227	-0,338	0,131
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	-0,222	-0,181	-0,043	0,187	-0,577
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	0,285	0,168	0,204	-0,114	-0,104
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	-0,045	0,510	0,237	-0,355	-0,315
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	-0,280	0,332	0,107	-0,071	0,074
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	-0,330	0,172	0,052	0,018	0,156
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	0,260	0,025	-0,354	-0,395	0,071
Varianzanteil [%]		49,3	15,0	11,2	8,0	6,6
kumulierte Varianz [%]		49,3	64,3	75,4	83,4	90,0
Eigenwert		7,387	2,253	1,673	1,2	0,986

August				
Wetter Code	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	0,341	-0,007	-0,077
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	-0,341	-0,044	-0,020
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	-0,342	-0,031	-0,065
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	0,013	0,344	-0,616
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	-0,229	-0,024	-0,203
MAX_NN050	Max. Niederschlag	0,100	-0,568	-0,138
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	-0,311	-0,049	0,270
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	-0,316	0,019	-0,100
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	-0,116	0,383	-0,229
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	-0,185	-0,380	-0,258

August				
Wetter Code	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	0,265	0,233	-0,200
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	-0,082	-0,214	-0,529
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	-0,321	-0,049	-0,045
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	-0,321	0,022	0,053
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	0,249	-0,399	-0,152
Varianzanteil [%]		52,4	15,8	9,9
kumulierte Varianz [%]		52,4	68,2	78,1
Eigenwert		7,855	2,375	1,483

September					
Wetter Code	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	-0,347	0,097	-0,092	-0,086
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	0,304	0,363	0,025	-0,060
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	0,372	0,231	0,077	-0,003
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	0,121	-0,331	-0,411	0,042
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	0,276	-0,252	-0,267	0,009
MAX_NN050	Max. Niederschlag	-0,129	0,280	-0,391	0,239
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	0,355	0,048	0,131	0,222
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	0,294	0,077	0,057	0,326
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	0,220	-0,344	-0,104	-0,192
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	0,088	-0,043	-0,366	-0,538
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	-0,280	0,258	-0,031	-0,419
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	0,066	0,426	-0,259	0,085
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	0,184	0,416	-0,212	-0,162
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	0,355	-0,050	-0,138	-0,271
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	-0,171	-0,047	-0,543	0,406
Varianzanteil [%]		35,4	22,4	12,1	9,3
kumulierte Varianz [%]		35,4	57,7	69,8	79,1
Eigenwert		5,304	3,354	1,815	1,394

Oktober						
Wetter Code	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	0,232	-0,238	0,133	0,408	-0,147
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	0,393	0,275	-0,075	0,077	-0,159
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	0,393	0,274	0,015	0,075	-0,175
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	0,243	-0,118	-0,394	-0,464	-0,202
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	0,015	0,088	0,629	-0,138	-0,080
MAX_NN050	Max. Niederschlag	0,310	-0,052	0,072	0,014	0,520
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	-0,006	0,517	-0,222	0,082	-0,053
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	0,149	0,369	0,010	0,104	0,121
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	0,249	-0,154	0,041	-0,510	-0,130

Oktober						
Wetter Code	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	-0,151	0,386	-0,218	-0,318	0,024
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	0,292	-0,305	0,060	-0,128	-0,279
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	0,061	0,134	0,331	-0,320	0,430
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	0,376	0,127	0,085	0,218	-0,147
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	-0,082	0,252	0,445	-0,196	-0,329
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	0,371	-0,049	-0,061	-0,059	0,421
Varianzanteil		29,6	18,5	12,1	8,7	7,7
kumulierte Varianz		29,6	48,1	60,1	68,8	76,5
Eigenwert		4,433	2,775	1,808	1,303	1,150

November							
Wetter Code	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**	**HK6**
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	0,217	-0,110	0,439	0,314	-0,200	-0,167
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	-0,199	0,452	-0,081	-0,153	-0,170	0,185
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	0,006	0,512	0,116	0,005	-0,055	0,171
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	-0,263	0,105	-0,369	0,207	-0,338	-0,291
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	0,188	0,186	-0,140	0,100	0,398	-0,630
MAX_NN050	Max. Niederschlag	-0,345	0,071	-0,165	0,435	0,243	0,141
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	0,271	0,315	-0,246	0,175	0,043	0,284
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	0,292	0,314	-0,054	0,297	-0,095	0,210
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	-0,234	-0,125	-0,340	0,219	-0,434	-0,179
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	0,333	-0,033	-0,137	0,091	-0,381	-0,095
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	0,059	-0,038	0,383	0,592	-0,035	0,054
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	0,228	-0,236	-0,352	0,056	0,261	0,288
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	-0,196	0,367	0,328	-0,184	-0,073	-0,211
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	0,382	0,240	-0,168	-0,037	0,115	-0,324
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	-0,356	0,089	0,014	0,269	0,405	-0,080
Varianzanteil [%]		25,7	21,7	15,7	10,2	9,4	7,4
kumulierte Varianz [%]		25,7	47,4	63,1	73,4	82,7	90,1
Eigenwert		3,855	3,252	2,360	1,535	1,404	1,114

Dezember						
Wetter Code	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
AVG_RH200	Mittl. Luftfeuchtigkeit	0,064	-0,176	-0,492	0,153	-0,027
AVG_TA200	Mittl. Lufttemperatur	-0,454	-0,050	-0,027	-0,026	-0,036
AVG_TB020	Mittl. Bodentemperatur	-0,442	-0,073	-0,046	0,095	-0,026
AVG_WV200	Mittl. Windgeschwindigkeit	-0,226	0,241	0,318	-0,264	-0,103
MAX_GS200	Max. Globalstrahlung	-0,013	-0,376	-0,179	0,168	-0,419
MAX_NN050	Max. Niederschlag	-0,057	0,426	-0,055	0,500	-0,162
MAX_TA200	Max. Lufttemperatur	-0,352	-0,229	0,186	-0,076	0,195
MAX_TB020	Max. Bodentemperatur	-0,404	-0,148	0,159	0,045	0,194

Dezember						
Wetter Code	**Wettervariable**	**HK1**	**HK2**	**HK3**	**HK4**	**HK5**
MAX_WV200	Max. Windgeschwindigkeit	-0,144	0,222	0,141	-0,395	-0,572
MIN_GS200	Min. Globalstrahlung	-0,022	-0,265	0,361	0,393	0,130
MIN_RH200	Min. Luftfeuchtigkeit	0,001	0,260	-0,348	-0,231	0,103
MIN_TA200	Min. Lufttemperatur	-0,331	0,042	-0,336	-0,033	0,013
MIN_TB020	Min. Bodentemperatur	-0,344	0,118	-0,327	0,196	-0,097
SUM_GS200	Sum. Globalstrahlung	0,052	-0,360	0,104	0,062	-0,570
SUM_NN050	Sum. Niederschlag	-0,026	0,416	0,238	0,452	-0,139
Varianzanteil [%]		30,4	17,6	13,5	10,0	9,0
kumulierte Varianz [%]		30,4	48,0	61,5	71,5	80,2
Eigenwert		4,484	2,626	2,031	1,529	1,332