



Elbstörche im Klimawandel

Eine Langzeitanalyse des Bruterfolges der Weißstorchpopulation (*Ciconia ciconia*) in der Prignitz von 1970 bis 2022 in Abhängigkeit von Umweltfaktoren und im Kontext des Klimawandels



Zusammenfassung

Der Weißstorch (*Ciconia ciconia*) ist aufgrund seiner Bekanntheit in der Bevölkerung eine bedeutsame Art für den Naturschutz. Als charakteristischer Brutvogel der Feuchtgebiete und Kulturlandschaften fasziniert dieser Zugvogel Menschen seit Jahrhunderten und ist deswegen einer der am meisten beobachteten Vogelarten. Doch aktuell verändern sich durch den Klimawandel die Umweltbedingungen in den Brutgebieten des Weißstorchs. Trotz flächendeckender, jahrzehntelanger Beobachtungen in Deutschland gibt es wenige Langzeitstudien über die Beziehung zwischen Umweltfaktoren und dem Bruterfolg des Weißstorchs, die uns Aufschluss geben können, wie stark dieser durch den Klimawandel betroffen sein könnte. Der Landkreis Prignitz im Nordwesten Brandenburgs hat eine der höchsten Siedlungsdichten an Weißstörchen in ganz Deutschland, besonders entlang der Auen im UNESCO-Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe. Anhand der lückenlosen Aufnahme aller Weißstorchhorste und des Bruterfolges in der Prignitz von 1970 bis 2022 analysieren wir in dieser Studie den Zusammenhang zwischen dem Bruterfolg und sechs Umweltfaktoren (Temperatur, Niederschlagsmenge, Starkregentage, Oberbodenfeuchte, Gesamtbodenfeuchte und Elbwasserstand) und setzen diese Ergebnisse in den Kontext des Klimawandels.

In den letzten 53 Jahren hat sich die Anzahl der Weißstorchbrutpaare (HPa) in der Prignitz von circa 100 auf circa 200 verdoppelt. Der Gesamtbruterfolg (JZa)¹ und der Teilbruterfolg (JZm)² haben durchschnittlich über 53 Jahre leicht abgenommen, um jeweils circa $-0,36$ Jungen (95%-KI: $-0,69$ bis $-0,02$) und $-0,47$ Jungen (95%-KI: $-0,73$ bis $-0,21$). Der durchschnittliche Gesamtbruterfolg für den gesamten Zeitraum liegt bei $1,88 \pm \text{SD } 0,37$ und der Teilbruterfolg bei circa $2,59 \pm \text{SD } 0,31$ flüggen Jungstörchen pro Weißstorchpaar. Der Bruterfolg variiert von Jahr zu Jahr stark, mit zwischenjährigen Schwankungen von bis zu $1,5$ (JZa) und $0,8$ (JZm) Jungen. Beeinflusst wird der Bruterfolg von Faktoren im Überwinterungsgebiet, während des Zuges und schlussendlich den lokalen Faktoren im Brutgebiet. Dort beeinflussen unter anderem Faktoren wie Nahrungsverfügbarkeit, Wetter, Landschaftswasserhaushalt,

Landnutzung und Zufallsfaktoren den Bruterfolg. Wir analysieren in dieser Studie mit linearen Regressionsmodellen den Zusammenhang der beiden Populationsparameter – Anteil der erfolgreichen Paare (HPm%)³ und Teilbruterfolg (JZm) – mit den folgenden lokalen Umweltfaktoren im Brutgebiet während der Brutsaison: Temperatur, Niederschlagsmenge, Starkregentage, Oberbodenfeuchte, Gesamtbodenfeuchte und Elbwasserstand. Da diese Umweltfaktoren untereinander und mit der Zeit (Beobachtungszeitraum) stark korrelieren, was eine zuverlässige Interpretation erschwert, haben wir die statistische Methode der Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis) angewendet.

Die Hauptkomponenten-Regressionsanalyse zeigt, dass der Anteil der erfolgreich brütenden Weißstorchpaare (HPm%) in Jahren mit weniger Starkregentagen und einer geringeren Niederschlagsmenge leicht zunimmt, um bis zu $12,4\%$ (95%-KI = $1,2$ bis $23,6\%$, $p < 0,036$). Ansonsten korrelieren die Umweltfaktoren und die Zeit nicht mit dem Anteil der erfolgreichen Paare. Dies entspricht bisherigen Erkenntnissen aus der Literatur, dass der Anteil der erfolgreichen Paare weniger von lokalen Umweltbedingungen abhängt als von Bedingungen im Winterquartier und während des Zuges sowie Populationsparametern (zum Beispiel dem Alter der Störche). Der Teilbruterfolg (JZm) hingegen korreliert mit fast allen hier betrachteten Umweltfaktoren: negativ mit den Parametern Temperatur und Zeit und positiv mit den Parametern Oberbodenfeuchte, Elbwasserstand und Niederschlagsmenge. Diese Kombination von Faktoren führt durchschnittlich zu einem reduzierten Teilbruterfolg von $-0,57$ Jungtieren (95%-KI = $-0,30$ bis $-0,84$, $p < 0,001$) in den Jahren mit den ungünstigsten Bedingungen im Vergleich zu den günstigsten Jahren. In elbnahen Horsten (< 4 km Entfernung zur Elbe) war der Teilbruterfolg in Brutsaisons mit Hochwasser um $0,15$ Jungtiere (95%-KI = $0,07$ bis $0,23$, $p < 0,001$) beziehungsweise $5,7 \pm 2,7\%$ höher als in elbfernen Horsten. Wohingegen in Brutsaisons ohne Hochwasser der Teilbruterfolg in den Gruppen gleich groß war. Das lineare Regressionsmodell mit allen Hauptkomponenten erklärt 24% der Varianz im Teilbruterfolg (angepasster

1 JZa = durchschnittliche Jungenzahl pro Paar aller Paare (HPa).

2 JZm = durchschnittliche Jungenzahl pro Paar aller erfolgreichen (mindestens ein flügger Jungvogel) Paare.

3 HPm% = prozentualer Anteil der erfolgreich brütenden Paare in Bezug auf die Gesamtzahl aller Paare (HPa).

R^2 -Wert). Das heißt es sind also noch andere, nicht in dieser Studie betrachtete Faktoren oder Zufallsprozesse für die zwischenjährlichen Schwankungen im Teilbruterfolg verantwortlich.

Die prognostizierten und bereits messbaren Folgen des Klimawandels in der Prignitz sind höhere Temperaturen, mehr Starkniederschläge, geringere Bodenfeuchte und Zunahme von Niedrigwasserereignissen in der Elbe. In dieser Studie haben wir nachgewiesen, dass genau diese Veränderungen der Umweltfaktoren mit einem niedrigeren Bruterfolg (HPm% und JZm) korrelieren. Die Veränderungen durch den Klimawandel werden voraussichtlich die Gesamtkapazität der Region, Weißstörche mit ausreichend Nahrung zu versorgen, weiter senken. Eine gute Verfügbarkeit von Beutetieren (vor allem Regenwürmer, Amphibien, Kleinsäuger und Insekten)

im Brutgebiet ist jedoch die wichtigste Grundvoraussetzung für einen ausreichend hohen Bruterfolg, um den langfristigen Bestand der Population zu sichern. Somit ist davon auszugehen, dass der Klimawandel den Bruterfolg in zukünftigen Jahren negativ beeinflussen wird. Um die Population resilienter gegenüber den Klimawandelfolgen zu machen und der negativen Entwicklung des Teilbruterfolges der letzten Jahrzehnte entgegenzuwirken, ist es wichtig im Lebensraum des Weißstorchs adäquate Schutzmaßnahmen umzusetzen, welche die Nahrungsverfügbarkeit im Brutgebiet sichern und verbessern. Ein Schwerpunkt sollte auf Maßnahmen zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts, Grünlandschutz und Umsetzung von asynchroner, kleinteiliger Grünlandmahd liegen. Dadurch würde gleichzeitig die Biodiversität in Feuchtgebietsökosystemen insgesamt gefördert werden.

Abstract (English)

The White Stork (*Ciconia ciconia*) is an important species for nature conservation due to its popularity among the general population. As a characteristic breeding bird of wetlands and cultivated landscapes, this migratory bird has fascinated people for centuries and is therefore one of the most observed bird species. However, climate change is currently altering the environmental conditions in the breeding grounds of the White Stork. Despite decades of comprehensive monitoring in Germany, there are few long-term studies on the relationship between environmental factors and the breeding success of the White Stork that can tell us how strongly it might be affected by climate change. The rural district of Prignitz in north-western Brandenburg has one of the highest densities of White Storks in Germany, especially along the floodplains in the Elbe River Landscape UNESCO Biosphere Reserve. In this study, using a comprehensive account of all White Stork nests and breeding success in the Prignitz from 1970 to 2020, we analyse the relationship between breeding success and six environmental factors (temperature, precipitation amount, heavy rain days, topsoil moisture, total

soil moisture and Elbe water level) and put these results into the context of climate change.

In the last 53 years, the number of White Stork breeding pairs (HPa) in the Prignitz region has doubled from about 100 to about 200. The total breeding success (JZa)⁴ and the partial breeding success (JZm)⁵ have slightly decreased on average over 53 years, by about -0.36 young (95 % CI: -0.69 to -0.02) and -0.47 young (95 % CI: -0.73 to -0.21), respectively. The average total breeding success for the entire period is $1.88 \pm \text{SD } 0.37$ fledged young storks per pair of White Storks and the partial breeding success is approximately $2.59 \pm \text{SD } 0.31$ fledged young storks per reproductively successful pair. Breeding success varies greatly from year to year, with interannual fluctuations of up to 1.5 (JZa) and 0.8 (JZm) young. Breeding success is influenced by factors in the wintering area, during migration and finally by local factors in the breeding area. There, factors such as food availability, weather, landscape water regime, land use and random factors influence breeding success. In this study, we use linear regression models to analyse the relationship between the two population

4 JZa = average number of young per pair of all pairs (HPa).

5 JZm = average number of young per pair of all successful (at least one fledged young bird) pairs.

parameters—proportion of successful pairs (HPm%)⁶ and partial breeding success (JZm)—and the following local environmental factors in the breeding area during the breeding season: temperature, rainfall, heavy rainfall days, topsoil moisture, total soil moisture and Elbe water level. As these environmental factors correlate strongly with each other and with time (observation period), which makes a reliable interpretation difficult, we used the statistical method of principal component analysis.

The principal component regression shows that the proportion of successfully breeding White Stork pairs (HPm%) increases slightly in years with fewer heavy rainfall days and lower rainfall, by up to 12.4% (95% CI = 1.2 to 23.6%, $p < 0.036$). Otherwise, environmental factors and time do not correlate with the proportion of successful pairs. This is in line with previous findings in the literature that the proportion of successful pairs depends less on local environmental conditions than on conditions in the wintering grounds and during migration, as well as population parameters (for example the age of the storks). In contrast, the partial breeding success (JZm) correlates with almost all environmental factors considered here: negatively with the parameters of temperature and time and positively with the parameters of topsoil moisture, Elbe water level and precipitation amount. This combination of factors leads on average to a reduced partial breeding success of -0.57 juveniles (95% CI = -0.30 to -0.84 , $p < 0.001$) in the years with the most unfavourable conditions compared to the most favourable years. In nests close to the Elbe (< 4 km distance to the Elbe), partial breeding success in breeding seasons with floods was 0.15 juveniles (95% CI = 0.07 to 0.23 , $p < 0.001$) or $5.7 \pm 2.7\%$ higher than in nests far from the Elbe. In breeding seasons without

floods, however, the partial breeding success was the same in the groups. The linear regression model with all principal components explains 24% of the variance in partial breeding success (adjusted R^2 value). This means that also other factors or random processes not considered in this study are responsible for the interannual fluctuations in partial breeding success.

The predicted and already measurable consequences of climate change in the Prignitz are higher temperatures, more heavy precipitation days, lower soil moisture and increase of low water events in the Elbe. In this study we demonstrate that exactly these changes in environmental factors correlate with lower breeding success (HPm% and JZm). Changes due to climate change are expected to further reduce the overall capacity of the region to provide White Storks with sufficient food. However, sufficient availability of prey (mainly earthworms, amphibians, small mammals, and insects) in the breeding area is the most important basic requirement for sufficiently high breeding success to ensure the long-term survival of the population. Thus, we can assume that climate change will have a negative impact on breeding success in future years. To counteract the negative development of partial breeding success in recent decades and to make the population more resilient to climate change impacts, it is important to implement adequate protection measures in the habitat of the White Stork that secure and improve food availability in the breeding area. There should be a focus on measures to improve the landscape water balance, preserve grassland and to implement asynchronous, small-scale grassland mowing to increase the abundance of prey animals. This will simultaneously benefit biodiversity and the wetland ecosystem as a whole.

6 HPm% = percentage of successful breeding pairs in relation to the total number of all pairs (HPa).

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Die Bedeutung des Weißstorchs für den Naturschutz	8
1.2 Verbreitung und Bestand innerhalb Deutschlands	9
1.3 Der Landkreis Prignitz	10
2 Weißstorchzählungen in der Prignitz	12
2.1 Methodik der Weißstorchzählungen in der Prignitz	12
2.2 Auswertung der Bestandsparameter der Weißstörche in der Prignitz (1970–2022)	13
2.3 Auswertung des Bruterfolges der Weißstörche in der Prignitz (1970–2022)	14
3 Populationsdynamik und Brutbiologie des Weißstorchs	16
4 Statistische Analyse des Bruterfolges in Abhängigkeit von Umweltfaktoren	18
4.1 Methodik	18
4.1.1 Auswahl der Umweltfaktoren sowie Vor- und Aufbereitung der Daten	18
4.1.2 Erklärende Variablen	20
4.1.3 Datensätze	20
4.1.4 Statistische Analysen der Daten	21
4.1.5 Limitationen von Korrelationsstudien in der Ökologie	21
4.2 Korrelation von Wetterfaktoren, Bodenfeuchte und Elbwasserständen mit dem Bruterfolg	22
4.2.1 Einfluss von Umweltfaktoren auf den Anteil der erfolgreichen Brutpaare	22
4.2.2 Einfluss der Umweltfaktoren auf den Teilbruterfolg (JZm)	24
4.2.3 Einfluss des Elbwasserstands auf den Bruterfolg	26
4.3 Zukünftiger Forschungsbedarf	28
5 Die weitere Entwicklung des Bruterfolges im Kontext des Klimawandels	29
5.1 Klimavorhersagen für Brandenburg	29
5.2 Ausblick auf den Bestand in der Prignitz	29
6 Maßnahmenvorschläge für eine Verbesserung des Bruterfolges	31
7 Fazit	32
Danksagung	33
Literaturverzeichnis	33
Datenursprungsverzeichnis	37
Abbildungsverzeichnis	38
Tabellenverzeichnis	38
Ergänzendes Material	39

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
95-%-KI	95-Prozent-Konfidenzintervall, statistisches Maß zum Einschätzen des Bereichs in dem der tatsächliche Mittelwert mit 95 % Wahrscheinlichkeit liegt (Standardfehler * 1,96)
e.V.	Eingetragener Verein
HPa	Horstpaare (= Brutpaare): Paar, das ein Nest während der ersten Hälfte der Brutzeit mindestens 4 Wochen lang besetzt hat (HPm + HPo)
HPm	Erfolgreiche Paare: Paare mit ausgeflogenen Jungvögeln (HPa – HPo)
HPm%	Anteil von erfolgreichen Paaren (HPm) an der Gesamtzahl der Paare (HPa) in Prozent
HPo	Erfolgreiche Paare: Paare ohne ausgeflogene Jungvögel, die ein Nest während der ersten Hälfte der Brutzeit mindestens 4 Wochen lang besetzt haben (HPa – HPm)
HPo%	Anteil von nicht erfolgreichen Paaren (HPo) an der Gesamtzahl der Paare (HPa) in Prozent
JZa	Gesamtbruterfolg: durchschnittliche Jungenzahl pro Paar aller Paare (HPa)
JZG	Gesamtjungenzahl: Gesamtzahl aller ausgeflogenen Jungen eines definierten Gebietes pro Jahr
JZm	Teilbruterfolg: durchschnittliche Jungenzahl pro Paar aller erfolgreichen Paare (HPm)
LfU	Landesamt für Umwelt Brandenburg
PC	Hauptkomponente einer Hauptkomponentenanalyse (englisch: Principal Component)
SD	Standardabweichung

1 Einleitung

1.1 Die Bedeutung des Weißstorchs für den Naturschutz

Der Weißstorch (*Ciconia ciconia*) ist als Kulturfolger seit Jahrhunderten ein Begleiter des Menschen und brütet in den Dörfern grundlandgeprägter Kulturlandschaften. Durch das charismatische Aussehen des Zugvogels und seiner Ankunft im Frühling hat er in vielen Mythen und Sagen einen Platz gefunden und wird oft als Glücksbringer in der Bevölkerung gesehen. Doch der Weißstorch ist nicht nur kulturell bedeutsam, sondern fungiert auch als Leitart im Naturschutz. Denn Schutzmaßnahmen für den Weißstorch schützen auch generell seine Lebensräume wie Flussauen, Feuchtgrünland und Kleingewässer. Somit werden auch viele weitere Tier- und Pflanzenarten wie zum Beispiel die gefährdete Rotbauchunke oder stark bedrohte Wiesenvögel mitgeschützt. Des Weiteren zeigt die Weißstorchpopulation die „Gesundheit“ seiner Lebensräume auf. Somit ist die

kontinuierliche Überwachung (= Monitoring) der Weißstorchpopulation ein bedeutender Bestandteil im Natur- und Umweltschutz (Goldsmith 2012). Kontinuierliches Monitoring ist auch für den Erkenntnisgewinn über den Weißstorch und für die Bewertung der Effektivität von Managementmaßnahmen zum Schutz der Vögel und seiner Lebensräume unerlässlich (Robinson et al. 2018). Der Weißstorch ist dabei einer der am intensivsten überwachten Vogelarten. Seit 1934 werden international Weißstorchzählungen flächendeckend durchgeführt, die inzwischen vom Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) in einem zehnjährigen Abstand organisiert werden. Für die Zählung werden Populationsdaten in fast allen Ländern des Brutareals in Europa, Nordafrika und Westasien aufgenommen. Seit Ende der 1960er Jahre finden jährliche Zählungen in vielen Regionen Deutschlands statt und seit 1983 flächendeckend in ganz Deutschland.



Foto 2: Ein Weißstorch stolziert auf Nahrungssuche über eine geflutete Wiese.

1.2 Verbreitung und Bestand innerhalb Deutschlands

Insgesamt wurden in dem Gebiet der heutigen Bundesrepublik im Jahr 1934 rund 9.000 Brutpaare gezählt. Der Bestand ging dann bis 1988 auf den niedrigsten Stand von 2.949 Brutpaaren zurück (Abbildung 2). Anfang der 1990er-Jahre setzte jedoch ein positiver Trend ein, der bis heute anhält. So wurden 2020 wieder 8.347 Storchpaare in Deutschland gezählt (Ergänzendes Material: Tabelle I). Deutschlands Weißstorchpaare machen nur circa 3% der gesamten europäischen Population aus (224.000 – 247.000 Weißstorchpaare, (BirdLife International 2015)). Doch Deutschland stellt innerhalb des internationalen Verbreitungsareals eine Besonderheit dar, da hier die ost- und westziehenden Populationen des Weißstorchs aufeinandertreffen (Thomsen et al. 2017). Entlang der ungefähr an der ehemaligen innerdeutschen Grenze verlaufenden Zugscheide brüten Weißstörche beiderlei Zugrichtungen in einem breiten Zugscheidenmischgebiet (Abbildung 1).

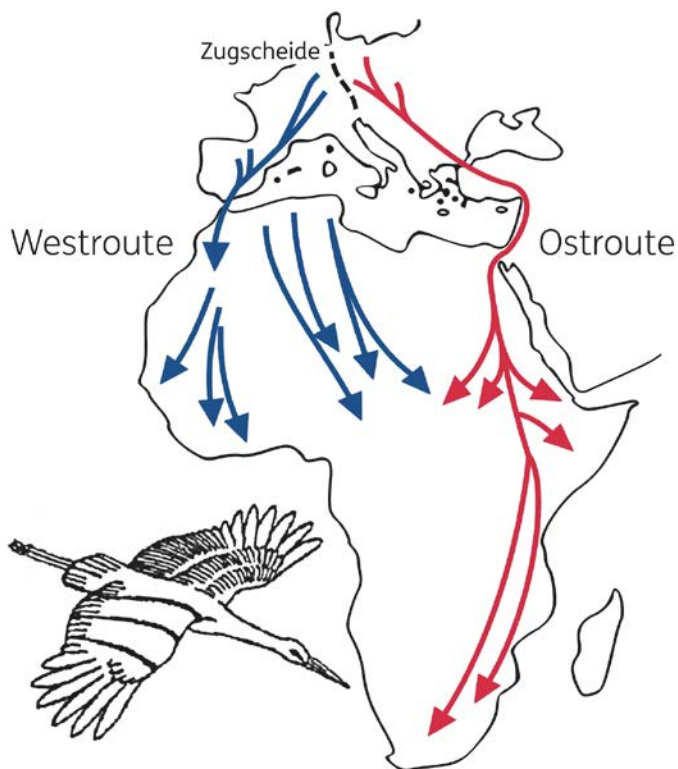


Abbildung 1: Die wichtigsten Zugrouten des Weißstorchs in Europa. Westroute in Blau; Ostroute in Rot (angepasst von Trommer et al. 1999).

Der Weißstorch ist ein Zugvogel, der Ende August sein Brutgebiet verlässt, um in zum Teil sehr weit südlich gelegenen Regionen zu überwintern. Auf dieser kraftaufwändigen Reise stellt das Mittelmeer eine Barriere

dar, die umflogen werden muss. Denn dem Segelflieger würde die Überquerung aufgrund der über dem Meer fehlenden aufsteigenden warmen Luftmassen zu viel Kraft kosten. Weißstörche umfliegen daher das Mittelmeer über zwei Routen (Abbildung 1). Die östlich des Zugscheidenmischgebietes brütenden Störche fliegen über den Bosphorus ins Winterquartier nach Ost- und Südafrika, während die westlich der Zugscheide brütenden Störche über Gibraltar nach Westafrika ziehen. Seit Mitte der 1980er-Jahre überwintert eine zunehmende Zahl von den „Westziehern“ auch auf der Iberischen Halbinsel.

Die verschiedenen Überwinterungsgebiete und Zugstrategien haben sich regional sehr unterschiedlich auf die Bestandstrends des Weißstorchs ausgewirkt. Die Bestandsentwicklung unterscheidet sich entlang der Zugscheide und der ehemaligen innerdeutschen Grenze teilweise sehr stark (Abbildung 2). Bis 1974 brüteten circa jeweils die Hälfte der Weißstorchpaare in Westdeutschland und die andere Hälfte in Ostdeutschland (Abbildung 2). Ab 1974 bis circa 2005 brüteten nur noch circa 20–25% der Weißstörche in Westdeutschland und die Gesamtpopulation hielt sich bei circa 3.000 Paaren beziehungsweise ab 1993 bei circa 4.000 Paaren. Für den dramatischen Rückgang der Westpopulation in den 1980er-Jahren wird vor allem die langanhaltende Dürrephase in der Sahelzone in Afrika verantwortlich gemacht (Thomsen et al. 2017). Seit 2005 nahm die Zahl der Brutpaare in Westdeutschland um mehr als 500% zu, während im gleichen Zeitraum in Ostdeutschland die Paare um circa 15% abnahmen (Abbildung 2). Im Jahr 2016 überholte die Population in Westdeutschland die ostdeutsche und ist inzwischen fast doppelt so groß (Abbildung 2). Für diesen starken Anstieg ist wahrscheinlich vornehmlich die zunehmende Überwinterung der Vögel auf der Iberischen Halbinsel verantwortlich, aufgrund der dort verbesserten Nahrungssituation. Dort sind durch den vermehrten bewässerten Reisanbau Krebse und in den offenen Mülldeponien Nahrungsreste reichlich verfügbar (Dahms, Eggers 2008; Schulz 2003). Zusätzlich sparen sich die auf der Iberischen Halbinsel überwinternden Störche einen kräftezehrenden und gefährlichen Zug und vermeiden die Überwinterung im klimatisch instabilen Westafrika (Thomsen et al. 2017). Die Entwicklung der Ostpopulation hängt ebenfalls stark von den Bedingungen im Winterquartier ab, vor allem von den niederschlagsabhängigen Heuschreckenvorkommen im östlichen Sahel und den Bedingungen während des Zuges (Schaub et al. 2006).

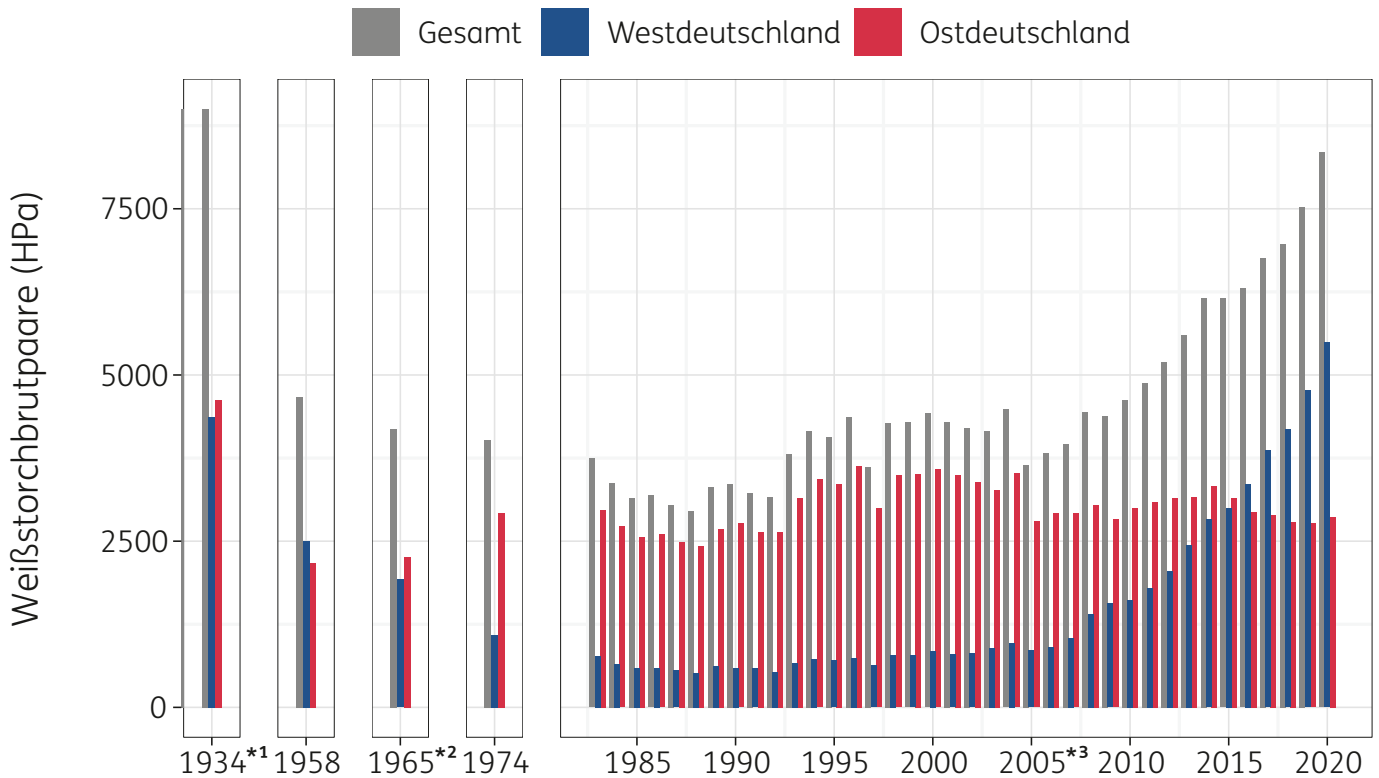


Abbildung 2: Weißstorchbrutpaare (HPa) in Ostdeutschland (rot), Westdeutschland (blau) und insgesamt (grau) für die Jahre 1934, 1958, 1965, 1974 und 1983 bis 2020. Weißstorchpaare, die zugefüttert werden, sind hier nicht enthalten (maximal circa 500 Paare in Gesamtdeutschland). Für 1958, 1965 (in Brandenburg 1966 erfasst) und 1974 sind die Zahlen für Brandenburg (Ostdeutschland) nur die Mindestzahlen, da Brandenburg nicht komplett erfasst wurde. Datenzusammenstellung: 1934, 1974–1995 aus Kaatz (1996); 1958–1965 aus Thomson et al. (2017); 1996–2020 aus den Mitteilungsblättern der Bundesarbeitsgruppe Weißstorchschutz (2004–2021). *1 Ost-West Verteilung ist geschätzt nach Dornbusch (1987); *2 Daten für Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern (Ostdeutschland) nicht erhoben und deswegen interpoliert aus den Jahren 1958 und 1974; *3 Daten für Baden-Württemberg (Westdeutschland) wurden im Jahr 2006 nicht erhoben und im Jahr 2007 nicht vollständig erhoben, somit ist der tatsächliche HPA-Wert wahrscheinlich zwischen 90–300 höher. Unterliegende Daten: Ergänzendes Material, Tabelle I.

1.3 Der Landkreis Prignitz

In Deutschland liegt einer der größten Verbreitungsschwerpunkte des Weißstorchs in der mittleren Elbtalaue, die sich entlang der Landesgrenzen der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Brandenburg und Sachsen-Anhalt erstreckt. Die Prignitz im Nordwesten Brandenburgs, der Landkreis mit der geringsten Bevölkerungsdichte Deutschlands, ist im Gegenzug einer der am dichtesten von Störchen besiedelten Gebiete mit durchschnittlich $9,5 \pm 0,5$ Weißstorchpaaren pro 100 km^2 in den letzten 10 Jahren. Die Prignitz ist eine flache, offene Kulturlandschaft geprägt von landwirtschaftlicher Nutzung (68 % der Fläche) und Waldgebieten (23 % der Fläche). Ein Viertel der landwirtschaftlichen Nutzfläche besteht aus Dauergrünland, der Rest ist Ackerland. Der Anteil der Schutzgebiete umfasst 44 % der Gesamtfläche der Prignitz. Der im Westen an der Elbe liegende brandenburgische Teil des länderübergreifenden UNESCO-Biosphärenreservates

Flusslandschaft Elbe macht rund ein Viertel der Prignitz aus. Das Elbtal ist eine der letzten großflächigen, noch vergleichsweise naturnahen Flusslandschaften Mitteleuropas. Zahlreiche Feuchtgebiete unterschiedlicher Ausprägung wie Überschwemmungsgebiete, Qualmwasserbereiche, Altarme oder Bracks stehen in engem Kontakt zu angrenzenden Trockenbiotopen wie Binnendünen, Elbuferhängen und Resten natürlicher Auen- und Bruchwälder (Neuschulz et al. 1994). Die Feuchtgebiete sind ein optimaler Lebensraum für den Weißstorch. Knapp über die Hälfte der Weißstorchhorste in der Prignitz befinden sich im elbnahen Raum des Biosphärenreservates (Abbildung 3). Die Prignitz beinhaltet auch das, aufgrund seiner hohen Weißstorchdichte als europäisches Storchendorf ausgezeichnete, Dorf Rühstädt (seit 1995 durchschnittlich circa 33 besetzte Horste pro Jahr).

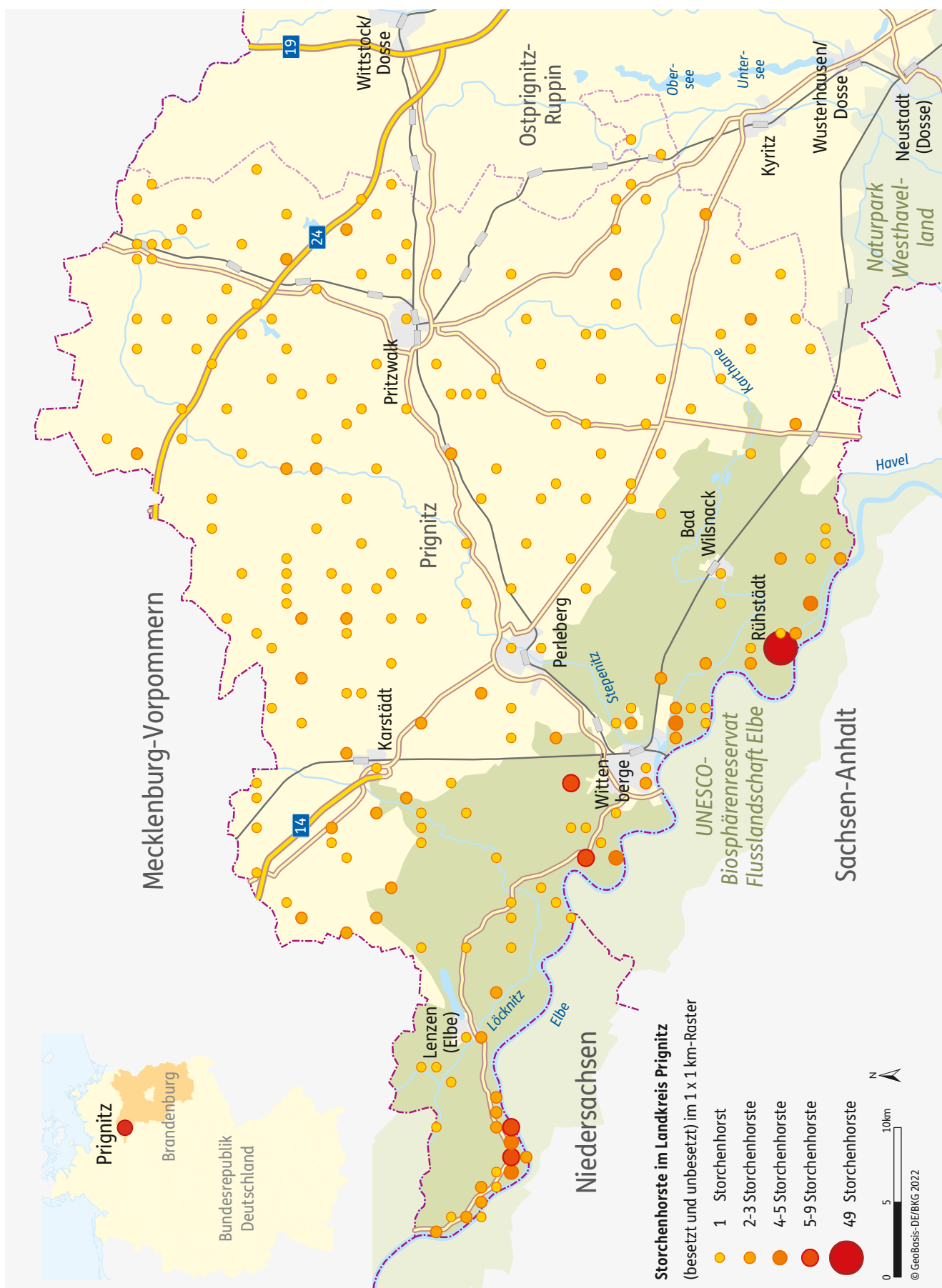


Abbildung 3: Lage der besetzten und unbesetzten Storchenhorste im Landkreis Prignitz im Jahre 2020 (Raster: 1 mal 1 Kilometer). Fast die Hälfte aller Weißstorchpaare in der Prignitz in den letzten 53 Jahren haben im elbnahen Bereich genistet, der Rest relativ gleichmäßig in der Prignitz. Das europäische Storchendorf Rühstätt hat jedes Jahr mit Abstand die meisten besetzten Horste.

2 Weißstorchzählungen in der Prignitz



Foto 3: Verleihung des Brandenburger Naturschutzpreises 2020 an die Fachgruppe Ornithologie des NABU-Kreisverbandes Prignitz.

Eine flächendeckende Bestandserfassung wird in der Prignitz seit 1970 von der Fachgruppe Ornithologie des NABU-Kreisverbandes Prignitz koordiniert. Die Auswertung dieses wertvollen und einzigartigen Datensatzes war einer der Anlässe für diese Studie. Für den herausragenden, konsequenten und ehrenamtlichen Einsatz über ein halbes Jahrhundert wurde dem Kreisverband im Jahre 2020 der Brandenburger Naturschutzpreis verliehen (Foto 3).

2.1 Methodik der Weißstorchzählungen in der Prignitz

Die Fachgruppe Ornithologie des NABU Kreisverbandes Prignitz ermittelt jährlich seit 1970 für jeden Horst, ob eine Besetzung durch ein Weißstorchpaar in der ersten Hälfte der Brutsaison für mindestens 4 Wochen stattfand. Ende Juni beringen und zählen die Mitglieder der NABU-Gruppe den Großteil der Storchenjungen mit Hilfe von Hebebühnen (Foto 4 & Foto 5). Der Rest der Storchenjungen wird durch Beobachtung durch Fernrohre gezählt. Dadurch sind für jedes Jahr die Anzahl der Storchenpaare und ihr Bruterfolg (Anzahl der Jungstörche) für den Zeitpunkt Ende Juni bekannt. Diese Zahl an Jungtieren kann mit der Zahl flügger Jungtiere gleichgesetzt werden, da die Sterblichkeitsrate innerhalb der ersten 30 Tage nach Schlupf am größten ist (Jovani, Tella 2004; Kosicki 2012). Somit ist von keiner bedeut-

samen Veränderung der Jungtierzahl von Ende Juni bis zum Ausflug auszugehen und die Zahl fließt als solche in die internationale Weißstorchzählung ein.



Foto 4: Freiwillige des NABU-Kreisverbandes nutzen eine Hebebühne, um für die Beringung der Jungstörche Zugang zu einem Horst im europäischen Storchendorf Rühstädt zu bekommen.



Foto 5: Ein Weißstorchhorst mit drei Jungen, die beringt werden.

Aus diesen Daten lassen sich weitere Parameter berechnen, mit denen sich die Weißstorchpopulation beschreiben lässt. Zusätzlich zu der Gesamtzahl an Weißstorchpaaren (HPa) und der Gesamtzahl an Jungen (JZG), wird die Anzahl der Storchpaare mit Bruterfolg als HPm und die Anzahl der Storchpaare ohne Bruterfolg als HPo beschrieben. Der durchschnittliche Bruterfolg wird entweder als JZa (Gesamtbruterfolg, durchschnittliche Anzahl an Jungen für jedes Paar) oder als JZm (Teilbruterfolg, durchschnittliche Anzahl an Jungen pro erfolgreichem Paar) angegeben.

Mit Hilfe der errechneten Werte des Gesamt- und Teilbruterfolges (JZa und JZm) sind Aussagen zum Reproduktionserfolg einer Population möglich. Allgemein wird davon ausgegangen, dass mindestens zwei Jungvögel je Storchpaar und Jahr für einen stabilen, von Einwanderung unabhängigen Bestand nötig sind (Burnhauser 1983). Schimkat (2017b) hat für den Zeitraum von 1985 bis 2004 für die ostziehende Population einen notwendigen Gesamtbruterfolg (JZa) von 2,1 Jungen je Brutpaar errechnet, und für den Teilbruterfolg (JZm-Wert) sind nach seinen Berechnungen mindestens 2,4 ausfliegende Jungvögel je begonnener Brut erforderlich.

2.2 Auswertung der Bestandsparameter der Weißstörche in der Prignitz (1970–2022)

Die ersten flächendeckenden Weißstorchzählungen im Gebiet der Prignitz fanden bei der 1. Internationalen Weißstorchzählung 1934 statt. Jedoch sind die erhobenen Daten durch die vielen seitdem erfolgten Kreisreformen nicht mit dem heutigen Gebiet der Prignitz

vergleichbar. Bis 1958, dem Jahr der 2. Internationalen Bestandserfassung, nahm die Zahl der Weißstörche in Brandenburg, ähnlich wie in Ostdeutschland, vermutlich um etwa 50 % ab. Die Entwicklung in der Prignitz verlief wahrscheinlich parallel zu der Entwicklung im gesamten Land Brandenburg. Daher kann davon ausgegangen werden, dass der Storchbestand 1934 etwa doppelt so hoch war wie 1970, also bei etwa 270 Weißstorchpaaren lag (vgl. Ludwig 2008). Seit 1970 ist die ostdeutsche Weißstorchpopulation auf einem relativ konstanten Niveau geblieben (Abbildung 2). Im Kontrast dazu hat sich die Anzahl der Weißstorchbrutpaare (HPa), die Anzahl der erfolgreichen Brutpaare (HPm) und ihre Jungenanzahl (JZG) in der Prignitz in dem Zeitraum von 1970–2022 durchschnittlich ungefähr verdoppelt, bei einem gleichbleibenden HPo%-Wert (Abbildung 4). Während es in den 1970er Jahren circa 100 nistende Weißstorchpaare gab, sind es in den 2010er Jahren circa 200 Weißstorchpaare. Zwischenjährlich schwankt die Anzahl an Weißstorchpaaren um bis zu circa 30 Störche um den Durchschnitt. Die Anzahl der erfolgreichen Brutpaare (HPm; mindestens ein flüggel Jungtier) hat sich von circa 75 auf 150 erhöht, während der Anteil der erfolglosen Paare durchschnittlich bei circa 28 % (SD = 8,2) gleichgeblieben ist. Die Gesamtzahl aller flüggeligen Jungen (JZG) des Weißstorchbestands in der Prignitz stieg von circa 200 in den 1970er Jahren auf circa 400 Jungen zwischen 1995 und 2015, wobei hier zwischenjährliche Abweichungen von bis zu über 100 Jungen vorkommen. Seit 2015 beträgt die Gesamtzahl der Jungen jedoch nur noch etwa 300 mit jährlichen Schwankungen. Auch Hpa und HPm sind seit 2015 niedriger.

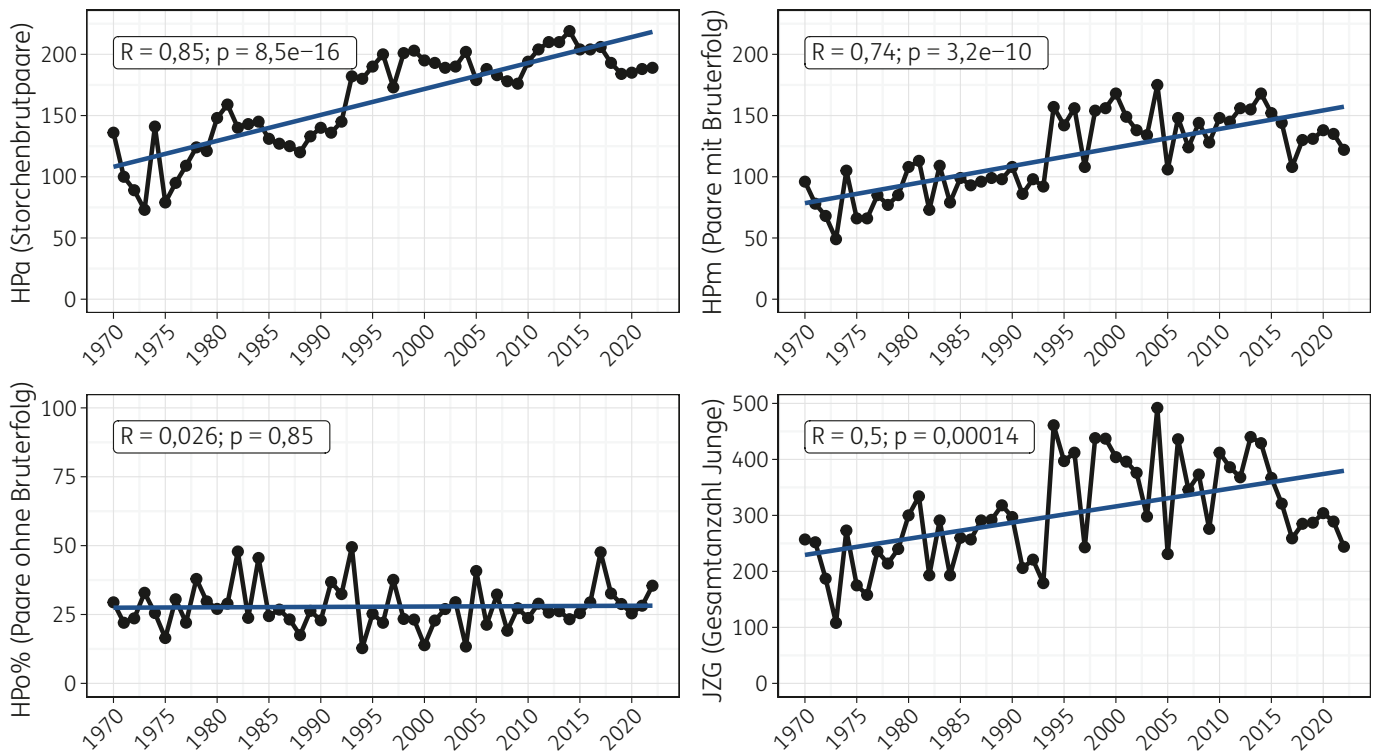


Abbildung 4: Die Bestandsparameter Weißstorchbrutpaare (HPa), erfolgreiche Weißstorchbrutpaare (HPm), Anteil der nicht erfolgreichen Weißstorchbrutpaare (HPo%) und die Gesamtjungenzahl (JZG) der Weißstorchpopulation in der Prignitz zwischen 1970 und 2022. Die blaue Linie zeigt die beste Passgenauigkeit für die Daten unter der Annahme, dass es sich um eine lineare Beziehung handelt. Der R- und p-Wert wurden mit dem Pearson-Korrelations-Test berechnet.

2.3 Auswertung des Bruterfolgs der Weißstörche in der Prignitz (1970–2022)

Um den Bruterfolg zwischen verschiedenen Jahren oder Regionen zu vergleichen, wird nicht die Gesamtjungenzahl (JZG) genutzt, da sie stark von der Anzahl der Weißstorchbrutpaare abhängt. Deswegen nutzt man die durchschnittliche Anzahl an Jungen pro Paar, die unabhängig von der Anzahl der Paare ist. Hier wird noch zwischen dem Gesamtbruterfolg JZa (durchschnittliche Anzahl der flüggen Jungen pro nistendem Weißstorchpaar, $JZG \div HPa$) und dem Teilbruterfolg JZm (durchschnittliche Anzahl der flüggen Jungen pro erfolgreichem Weißstorchpaar, $JZG \div HPm$) unterschieden.

schnittliche Anzahl der flüggen Jungen pro erfolgreichem Weißstorchpaar, $JZG \div HPm$) unterschieden. Denn dem Bruterfolgsergebnis liegen zwei unterschiedliche Prozesse zugrunde. Dies ist ersichtlich anhand der hohen Anzahl an Weißstorchpaaren mit keinen Jungen („zero-inflated distribution“) in der Verteilung von der Anzahl an Jungen pro Horst im gesamten Beobachtungszeitraum (Abbildung 5). Der eine Prozess entscheidet, ob ein Brutpaar beziehungsweise Horst überhaupt erfolgreich ist oder nicht (mindestens ein flügges Jungtier). Und falls es erfolgreich ist, entscheidet ein weiterer Prozess wie hoch die Anzahl an Jungen pro Horst ist.

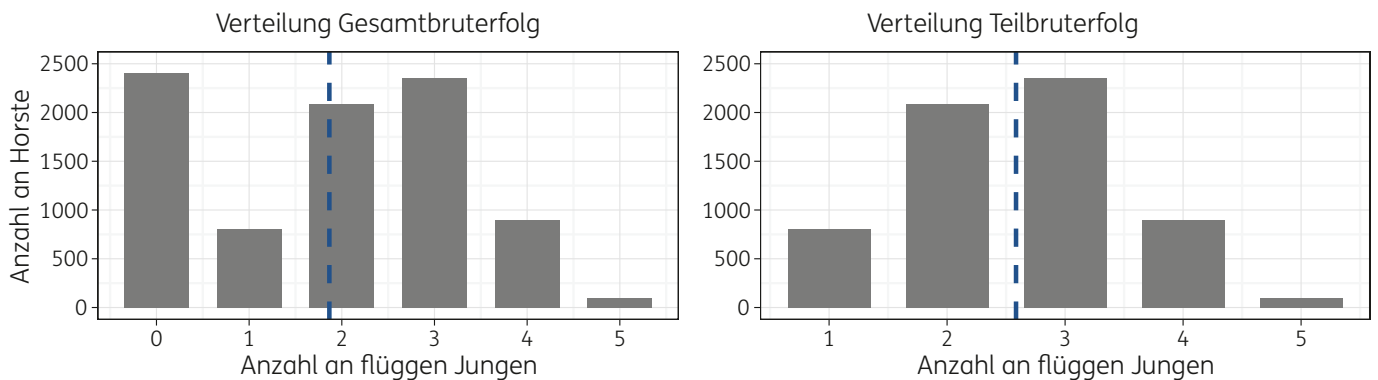


Abbildung 5: Die dem Bruterfolg zugrundeliegende Verteilung der Anzahl an gezählten flüggen Jungen in Weißstorchhorsten in der Prignitz im Zeitraum 1970–2022 (n = 8.651 Beobachtungen in 690 Horsten). Der blaue Strich zeigt den Mittelwert aller aufgenommenen Daten über den Betrachtungszeitraum von 53 Jahren (Gesamtbruterfolg JZa = 1,87; Teilbruterfolg JZm = 2,58).

Für eine hohe Anzahl an nicht erfolgreichen Weißstorchpaaren (erster Prozess) sind unter anderem verantwortlich: eine verspätete Ankunft in den Brutgebieten durch Störungen in den Überwinterungsregionen und/oder während des Zuges, unerfahrene Storcheltern, neue Nester, innerartliche Kämpfe um Horste und andere starke Störungen (zum Beispiel: Starkregen oder extreme Kälteperioden), die einen Verlust des ganzen Geleges bedeuten (Profus 1986). Somit sind die Gründe für einen kompletten Misserfolg weniger von den lokalen Umweltbedingungen im Brutgebiet abhängig. Im Gegensatz dazu hängt die Anzahl an flüggen Jungen, die ein erfolgreiches Weißstorchpaar aufzieht (zweiter Prozess), stark von der Nahrungsverfügbarkeit und somit von lokalen Umweltbedingungen ab (siehe Kapitel 3). Die Aufteilung des Bruterfolges in Gesamtbruterfolg (beinhaltet Misserfolge) und Teilbruterfolg (beinhaltet keine Misserfolge) erlaubt es, diese beiden Prozesse in Auswertungen unabhängig voneinander zu analysieren, je nachdem worauf der Fokus liegen soll. Da der Gesamtbruterfolg (JZa) die erfolglosen Paare mit beinhaltet, die hauptsächlich aufgrund von nicht-lokalen Umweltbedingung erfolglos sind, ist der Teilbruter

folg (JZm) besser für die Einschätzung der Qualität der Nahrungshabitate geeignet.

In der Prignitz betrug der jährliche Gesamtbruterfolg (JZa) über die letzten 53 Jahre durchschnittlich $1,88 \pm \text{SD } 0,37^7$ Jungen pro Weißstorchpaar (Abbildung 6). Zwischenjährlich schwankt der Gesamtbruterfolg zwischen 1,4 und 2,5 Jungen mit einem Ausreißer in 1993 (JZa = 1,0). Es ist ein schwacher Abwärtstrend von $-0,36$ Jungen (95%-KI: $-0,69$ bis $-0,02$, lineares Modell) über den gesamten Zeitraum erkennbar. Der durchschnittliche jährliche Teilbruterfolg (JZm) lag bei $2,59 \pm \text{SD } 0,31$. Der Teilbruterfolg schwankt zwischenjährlich bis auf ein paar Ausreißer (3,2 Jungen, 3,3 Jungen und zweimal 2,0 Jungen) nur zwischen 2,2 und 3,0 Jungen und damit weniger als der Gesamtbruterfolg. Ein lineares Modell bestätigt einen Abwärtstrend von $-0,47$ Jungen (95%-KI: $-0,73$ bis $-0,21$, lineares Modell) über die 53 Jahre. Besonders die letzten sieben Jahre seit 2015 sind auffällig mit einem durchschnittlichen JZm von nur 2,22 Jungen. So ein konsequent niedriger Bruterfolg über mehrere Jahre hinweg ist im Beobachtungszeitraum einmalig.

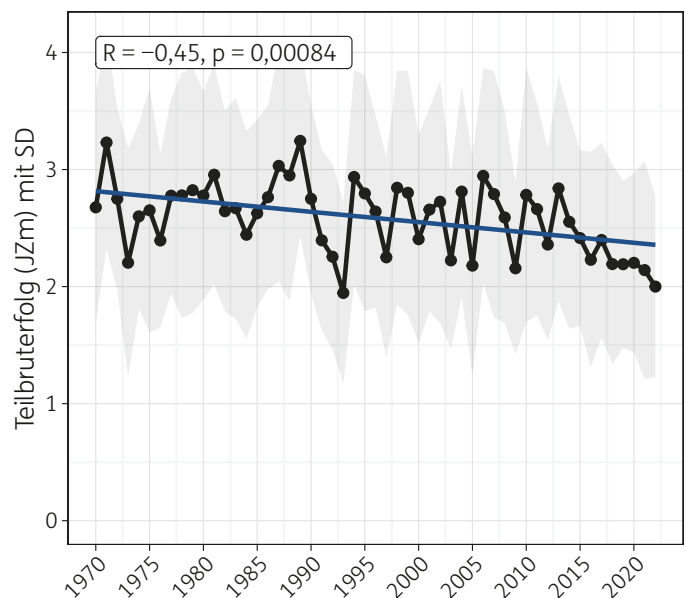
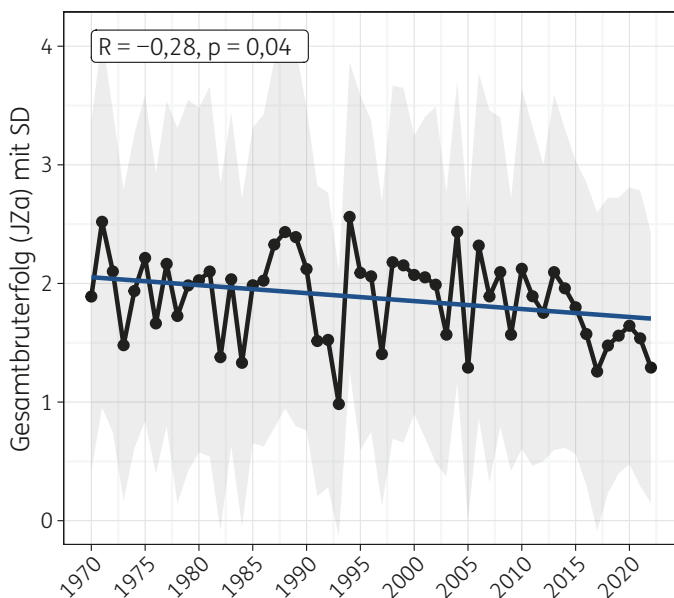


Abbildung 6: Gesamtbruterfolg (JZa) und Teilbruterfolg (JZm) der Weißstorchpaare in der Prignitz zwischen 1970–2022. Der Bruterfolg ist die durchschnittliche Anzahl der flüggen Jungen pro Weißstorchpaar, beim Gesamtbruterfolg jeweils aller Weißstorchpaare (HPa) und beim Teilbruterfolg jeweils aller erfolgreichen Weißstorchpaare (HPm; mindestens ein Junges). Das graue Band zeigt die Standardabweichung der jährlichen Mittelwerte, das heißt wie variabel die Anzahl der Jungen zwischen den einzelnen Weißstorchhorsten waren. Die blaue Linie zeigt die beste Passgenauigkeit für die Daten unter der Annahme, dass es sich um eine lineare Beziehung handelt. Der R- und p-Wert wurden mit dem Pearson-Korrelations-Test berechnet.

7 Der Unterschied von 0,01 Jungen zum durchschnittlichen JZa- beziehungsweise JZm-Wert in Abbildung 5 besteht, da dies der Mittelwert der jährlichen JZa- beziehungsweise JZm-Werte ist und nicht des Gesamtzeitraumes.

3 Populationsdynamik und Brutbiologie des Weißstorchs

Die Bestandsentwicklung einer Weißstorchpopulation wird hauptsächlich durch die Überlebensraten im Winterquartier und während des Zuges, Migration in und aus anderen Populationen und den Bruterfolg bestimmt (Schimkat, Eggers 2017b). Die Nahrungsverfügbarkeit im Winterquartier und die Bedingungen während des Zuges sind maßgeblich für die Überlebensrate der Vögel verantwortlich. Die Überlebensrate korreliert positiv mit der Niederschlagsmenge in der östlichen Sahelzone in Afrika (dem Rast- und zum Teil auch Winterquartier der ostziehenden Störche), da die dortige Nahrungsverfügbarkeit maßgeblich vom Niederschlag abhängt (Kanyamibwa et al. 1990; Kanyamibwa et al. 1993; Schaub et al. 2005). Ein gutes Nahrungsangebot in diesem geografischen Raum beeinflusst damit wesentlich die Bestandsentwicklung der gesamten überregionalen ostziehenden Population. Das Betrachtungsgebiet dieser Studie liegt am westlichen Rand des Verbreitungsgebietes dieser überregionalen Weißstorchpopulation, die ihr Hauptgebiet in Osteuropa hat. Aus der Kernpopulation erfolgt Migration in die Randpopulationen, ohne die sich die Prignitzer Population in den letzten 53 Jahren wahrscheinlich nicht vergrößert hätte (Schimkat, Eggers 2017b).

Der Bruterfolg ist ein weiterer wichtiger Faktor in der Bestandsentwicklung. Ihn beeinflussen die Zeit der Ankunft und die Konstitution der Vögel, die Altersstruktur der Population und die lokalen Bedingungen im Brutgebiet – wie Siedlungsdichte (intraspezifische Konkurrenz), Wetter und Nahrungsverfügbarkeit (Kosicki 2012; Jovani, Tella 2004; Johst et al. 2001; Massemin-Challet et al. 2006; Vergara et al. 2007; Schimkat, Eggers 2017b). Die Altersstruktur der Population und die Anzahl an Brutsaisons, die ein Storch im Laufe seines Lebens

absolviert, beeinflussen ebenfalls den Bruterfolg. Denn die Jungstörche verbringen ihre ersten Jahre ganzjährig im Winterquartier und brüten zum ersten Mal in einem Alter zwischen 4 und 7 Jahren. Dabei sind die ersten Brutjahre meist weniger erfolgreich. Danach steigt der Bruterfolg mit zunehmender Erfahrung der Störche an (Meybohm, Dahms 1975; Vergara et al. 2007). Im Brutgebiet liegen die häufigsten Altersklassen zwischen 4 und 14 Jahren, wobei weniger als 2 % der Weißstörche in der Natur älter als 20 Jahre werden (Schimkat, Eggers 2017a).

Der Zeitpunkt der Ankunft und die dann vorliegende Kondition der einzelnen Weißstörche hat einen großen Effekt auf den Bruterfolg. Störche die früher im Brutgebiet ankommen, haben auch einen höheren Bruterfolg (Tryjanowski et al. 2004; Kosicki et al. 2004). In einer Ostpopulation in Oberschlesien (Polen) führte eine verspätete Ankunftszeit von mehr als drei Wochen zu Abnahmen von circa 26 % beim Anteil der erfolgreichen Brutpaare (Profus 2006). In der Prignitz treffen die Weißstörche etwa ab Ende März bis Anfang April im Brutgebiet ein (Abbildung 7).

Weißstörche sind nicht partnertreu, sondern besetzen oftmals die bereits in den Vorjahren genutzten Horste (Horsttreue). Die zuerst besetzten Horste in einem Gebiet sind oft die, die über Jahre hinweg einen sehr guten Bruterfolg aufweisen (Dziewiaty 2005). Neu gebaute Horste hingegen haben in den ersten Jahren einen bis zu 50 % reduzierten Bruterfolg (Profus 2006). So kommt es auch regelmäßig zu Kämpfen um die Horste, die teilweise sehr heftig sind und zu Verletzungen der Altvögel sowie zum Verlust von Eiern oder Küken führen können (Blüml 2017).

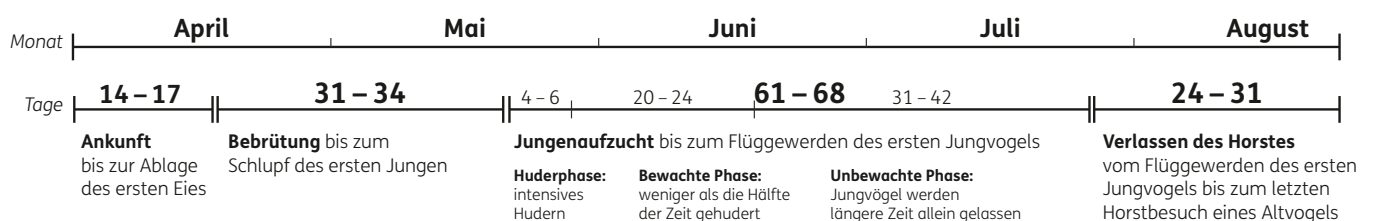


Abbildung 7: Einteilung der Brutsaison in Ostdeutschland in vier Phasen (adaptiert von Hofmüller 2001). Die abgebildeten Monate sind nur eine Annäherung. Die Ankunftszeiten variieren zum Teil stark zwischen individuellen Störchen und zwischen den Jahren.

Mit der Wahl des Horsts wird ebenfalls der Nahrungsraum ausgewählt. Für eine erfolgreiche Jungenaufzucht ist es von großem Vorteil, wenn sich gute Nahrungsflächen möglichst dicht am Horststandort befinden. Je weiter die Strecken sind, die die Weißstörche zu den Nahrungsflächen zurücklegen müssen, umso höher sind auch der Energieverbrauch der Vögel und ihr Zeitaufwand für die Nahrungssuche (Lakeberg 1995; Zurell et al. 2015). Außerdem entfernen sich brütende Störche nach Möglichkeit nicht weit vom Neststandort, um das Nest bei Bedarf gegen Artgenossen, die sich noch auf der Suche nach einem Nest und/oder Partner befinden, verteidigen zu können. Bis die Nestlinge ein Alter von mindestens 3 Wochen erreicht haben, bleibt immer einer der Altvögel am Nest. Angaben zur Größe des Nahbereichs wurden von Dziewiaty (2017) zusammengestellt; sie variieren zwischen 1 und 3 km Entfernung vom Nest. Dziewiaty (2005) identifizierte im Bereich der mittleren Elbe einen 2-km-Radius als wichtigste Nahrungsflächen. Gerade in den ersten Wochen spielt ein ausreichendes Vorkommen geeigneter Beutetiere im Nahbereich eine wesentliche Rolle, da der Storchennachwuchs kleine, leicht verdauliche Nahrung benötigt – vor allem Regenwürmer oder auch Insekten. Die Storchenküken können die Beutetiere nur im Ganzen schlucken, daher gewinnen Amphibien und Kleinsäuger erst mit dem zunehmenden Alter der Storchenküken an Bedeutung (Creutz 1988). Das Vorkommen der oben genannten Beutetiere des Weißstorchs ist vor allem von folgenden Umweltfaktoren abhängig: Temperatur und Bodenfeuchtigkeit für Regenwürmer (Edwards, Arancon 2022), Temperatur und Feuchtigkeit für Insekten (Savopoulou-Soultani et al. 2012; Welti et al. 2022), Gewässerverfügbarkeit als Laichmöglichkeiten für Amphibien (Griffiths 1997; Dalbeck 2020) sowie Niederschlag und Temperatur für Kleinsäuger (Wróbel, Bogdziewicz 2015). Diese Umweltfaktoren beeinflussen somit auch indirekt den Bruterfolg, da ausreichende Nahrungsverfügbarkeit eine Grundvoraussetzung für den Bruterfolg ist.

Die Jungvögel nehmen in der intensivsten Wachstumszeit durchschnittlich fast 100 g pro Tag zu und erreichen ihr Endgewicht von circa 3 kg nach 45 Tagen (Tsachalidis et al. 2005). Dabei muss ein Storchennachwuchs mit drei Jungen circa 4–6 kg Nahrung am Tag erbeuten, um sich selbst und seine Storchenjungen zu ernähren (Dziewiaty 2017). Weißstörche suchen diese Nahrung in Deutschland vor allem im Grünland (60–90%), auf Äckern (5–30%) und in beziehungsweise an Gewässern (0–14%) (Dziewiaty 2017). An der Mittel- und Oberelbe sind Grünland mit 77% (68–87%) und Gewässer mit 14%

(5–21%) vor dem Acker mit 10% (7–13%) die wichtigsten Nahrungshabitate (Dziewiaty 2005). Besonders frisch gemähtes Grünland ist eine wichtige Nahrungsfläche, da dort aufgeschreckte Kleintiere auf den kurzgrasigen Flächen sehr leichte Beute darstellen (Golawski, Kasprzykowski 2021). Die Weißstörche werden durch den Geruch von frisch gemähtem Grünland aus bis zu 16 km angelockt (Wikelski et al. 2021).



Foto 6: Weißstorch mit erbeutetem Frosch im Nest.



Foto 7: Weißstorch mit erbeutetem Kleinsäuger im Grünland.



Foto 8: Weißstorch mit erbeutetem Regenwurm im Grünland.



Foto 9: Weißstörche bei der Nahrungssuche auf frisch gemähtem Grünland.

4 Statistische Analyse des Bruterfolges in Abhängigkeit von Umweltfaktoren

Im Folgenden untersuchen wir, ob wir anhand von Wetter- und Elbwasserstandsdaten die zwischenjährige Varianz des Bruterfolges erklären und so mit diesen Umweltfaktoren Rückschlüsse auf den Bruterfolg in einem Jahr treffen können. Um diese Fragen zu beantworten, haben wir die Wetter- und Elbwasserstandsdaten mit den Bruterfolgsdaten zwischen 1970 und 2020 korreliert und statistisch analysiert (Bodenfeuchtedaten für 2021 und 2022 fehlen). Mit dieser Analyse wollen wir zudem Erkenntnisse über mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die regionale Weißstorchpopulation erlangen. Denn regionale Klimaprognosen sagen eine deutliche Zunahme der Durchschnittstemperatur sowie ein häufigeres Auftreten von Dürreperioden und extremen Wetterereignissen voraus. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Effekte negativ auf die Feuchtgebiete im Betrachtungsgebiet auswirken.

4.1 Methodik

4.1.1 Auswahl der Umweltfaktoren sowie Vor- und Aufbereitung der Daten

Im Folgenden sind die Umweltfaktoren aufgelistet, die wir in dieser Studie analysiert haben. Wir beschreiben die Herkunft der Daten (siehe Datenursprungverzeichnis) und begründen, warum wir erwarten, dass der Faktor einen Effekt auf den Bruterfolg haben könnte. Generell unterteilen sich die potenziellen Effekte der Umweltfaktoren auf direkte und indirekte Effekte. Die direkten Effekte sind Faktoren, die die Überlebensrate der Jungen direkt beeinflussen – zum Beispiel, wenn Starkregenereignisse zur Unterkühlung und Tod von Jungen führen. Indirekte Effekte sind Faktoren, die einen Einfluss auf das Ökosystem haben und damit zum Beispiel die Nahrungsvfügbarkeit für Störche verändern. Zum Beispiel führt Dürre zu einer geringeren Produktivität von Pflanzen und somit zu verringerten Nahrungsgrundlagen für manche Beutetiere von Störchen.

4.1.1.1 Temperatur

Die Temperaturdaten basieren auf Messungen von zwei Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes in Weisen

(Stations-ID: 5431) im Zeitraum vom 1. Januar 1970 bis 30. September 1976 und in Seehausen (Stations-ID: 4642) im Zeitraum vom 1. Oktober 1976 bis 31. Dezember 2022, abgerufen vom DWD Climate Data Center (2021a). Die Rohdaten sind der Mittelwert der täglichen Temperatur in °Celsius gemessen in 2 Meter Höhe (TMK-Wert). Für Seehausen sind Temperaturdaten erst ab Oktober 1976 vorhanden, daher wurden die Daten der Station Weisen (Entfernung: 15 km Luftlinie) benutzt, die nur bis Ende September 1976 aufgenommen wurden.

Die Temperatur ist einer der grundlegendsten Umweltfaktoren, die viele physikalische, chemische und auch biologische Prozesse beeinflusst, zum Beispiel die Vegetationsperioden von Pflanzen und die Aktivität von Tieren.

4.1.1.2 Niederschlag

Die Niederschlagsdaten basieren auf Messungen der Wetterstation Seehausen (Stations-ID: 4642) des Deutschen Wetterdienstes in dem Zeitraum 1970–2022, abgerufen vom DWD Climate Data Center (2021b). Die Rohdaten sind tägliche Stationsmessungen der Niederschlagshöhe in mm/m² (RSK-Wert).

Grundsätzlich erhöht sich mit steigender Niederschlagsmenge die Produktivität eines Ökosystems, das heißt mehr Pflanzenwachstum und Nahrungsvfügbarkeit für Pflanzenfresser, was sich wiederum in der Nahrungskette bis zum Weißstorch auswirkt. Jedoch können Starkregentage Horste fluten und Weißstorchjunge so unterkühlen, dass sie keine Nahrung mehr zu sich nehmen und sterben.

4.1.1.3 Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchtedaten stammen vom Dürremonitor des Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (Zink et al. 2016), bei dem die Gesamtbodenfeuchte und Oberbodenfeuchte aus Niederschlag, Temperatur, Winddaten, Topografie und anderen relevanten Faktoren für Rasterzellen (4 × 4 km) in ganz Deutschland modelliert werden. Die Bodenfeuchte wird als Soil Moisture Index

(SMI) angegeben. Der SMI ist ein relativer Wert von 0 bis 1, der die Bodenfeuchte im Vergleich zu dem Referenzzeitraum 1951 bis 2015 anzeigt (zum Beispiel bedeutet ein SMI kleiner als 0,1, dass nur 10% der Jahre im Vergleichszeitraum genauso trocken oder trockener waren). Für diese Studie nutzen wir den Mittelwert der SMI-Werte von allen 153 Rasterzellen der Prignitz für den Zeitraum 1970 bis 2020 (Daten für die Jahre 2021 und 2022 standen zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht zur Verfügung).

Höhere Bodenfeuchte geht – wie der Niederschlag – mit höherer Produktivität von Pflanzen und somit des gesamten Ökosystems einher. Die Bodenfeuchte hat auch einen Einfluss auf die Anzahl an Regenwürmern, einem sehr wichtigen Bestandteil des Weißstorchnahrungsspektrums, speziell für die Fütterung der Jungtiere in ihren ersten Lebenswochen (Dziewiaty 2005).

4.1.1.4 Wasserstand der Elbe

Die Tageswerte für den Wasserstand der Elbe wurden aus der „Auskunftsplattform Wasser“ des Landesamtes

für Umwelt Brandenburg (LfU APW, 2022) entnommen und stammen vom Pegel bei Wittenberge (Nr: 5030500) für den Zeitraum 1970–2022. Die Rohdaten sind Tagesmittelwerte in Zentimetern. Ab einem Pegelstand von etwa 4 Metern beginnt die Elbe das Deichvorland zunehmend zu überfluten. Für die Elbe sind neben den Winterhochwassern, die bis zum März für Überschwemmungen sorgen können, noch die sogenannten Frühjahrs- und Sommerhochwasser charakteristisch. Sie können durch Regenfälle im Quellgebiet ausgelöst werden und noch im April, Mai und Juni auftreten.

Höhere Elbwasserstände wirken sich direkt auf den Landschaftswasserhaushalt der Elbtalau und die Elbnebenflüsse aus. Dies führt zu zusätzlichem Lebensraum für Amphibien, einer wichtigen Nahrungsquelle für die Weißstörche (Neuschulz et al. 1994). Hochwasserereignisse verstärken diesen Effekt und bilden neue Nahrungsgebiete für Weißstörche durch Überflutung des Deichvorlands und Qualmwasserbildung⁸.



Foto 10: Weißstörche bei der Nahrungssuche im Qualmwasserbereich bei Bälow während des Elbehochwassers 2013.

⁸ Qualmwasserbereiche entstehen durch Grundwasser, welches durch den höheren Flusswasserstand während eines Hochwassers vom Deichvorland unter den Deichen in das Deichhinterland strömt.

4.1.1.5 Distanz zur Elbe

Um zu kategorisieren, ob Weißstorchpaare von den Wasserständen der Elbe beeinflusst wurden, haben wir die Horste in elbnahe und elbferne Horste aufgeteilt. Jeder Horst ist einer Ortschaft zugewiesen, für die die Distanz vom Ortsmittelpunkt zum nächstgelegenen Punkt der Elbe gemessen wurde. Anhand dieser Distanz wurden die Horste in elbnah (näher als 4 km) oder elbfern (weiter entfernt als 4 km) kategorisiert. In der Realität ist der Einflussbereich der Elbe ein fließender Übergang. Die 4 km als Trenndistanz haben wir aus den folgenden Gründen gewählt: Die Hauptnahrungsflächen eines Storchs befinden sich meist innerhalb eines Radius von 2 km des Horsts. Jedoch kann es aufgrund von lokalen Bedingungen Abweichungen geben. Elbehochwasser wirken sich auch auf den Landschaftswasserhaushalt im Deichhinterland und die Nebenflüsse aus. Somit ist der Abstand zum Elbmittelpunkt nicht ausreichend, um den Einflussbereich des Hochwassers zu beschreiben. Dies deckt sich mit den Beobachtungen, dass im Abstand von bis zu 4 km zur Elbe eine erhöhte Siedlungsdichte des Weißstorchs existiert (Abbildung 3 und Ergänzendes Material: Abbildung III).

Obwohl Standorte in der Nähe der Elbe vorteilhaftere Bedingungen für Weißstörche bieten, erwarten wir grundsätzlich keinen großen Unterschied im Bruterfolg zwischen elbnahen und elbfernen Weißstörchen. Standortvorteile in elbnahen Gebieten gleichen sich mit der erhöhten Siedlungsdichte und somit erhöhten innerartlichen Konkurrenz in diesen Gebieten aus (Konzept der idealen freien Verteilung, Fretwell, Lucas 1969). Jedoch erwarten wir sehr wohl einen Unterschied in Jahren mit Elbhochwassern, da diese nur die elbnahen Störche beeinflussen sollten.

4.1.2 Erklärende Variablen

Aus den oben genannten Wetter-, Bodenfeuchte- und Elbwasserstandsdaten haben wir folgende Umweltfaktorenvariablen für jedes Jahr berechnet, jeweils nur für den Brutzeitraum vom 1. April bis 31. Juni (Ausnahme Starkregentage):

- Durchschnittliche tägliche Temperatur in °Celsius [kontinuierlich]
- Niederschlag:
 - Durchschnittlicher täglicher Niederschlag in mm [kontinuierlich]
 - Starkregentage: Anzahl der Tage mit einem Niederschlagswert über 10 mm im Mai

und Juni (da die meisten Jungtiere im April noch nicht geschlüpft sind, wird dieser Monat nicht berücksichtigt) [diskret]

- Bodenfeuchte
 - Durchschnittliche monatliche Gesamtbodenfeuchte [kontinuierlich]
 - Durchschnittliche monatliche Oberbodenfeuchte [kontinuierlich]
- Elbwasserstand
 - Durchschnittlicher täglicher Wasserstand in cm [kontinuierlich]
 - Brutsaison mit oder ohne Hochwasser (mindestens 1 Tag über 400 cm) [kategorisch]
- Distanz zur Elbe in zwei Kategorien (elbnah: unter 4 km Elbabstand; elbfern: über 4 km Elbabstand) [kategorisch]

Die Mittelwerte der Variablen wurden über die gesamte Brutsaison berechnet, da wir die genaue Ankunftszeit der Störche nicht kennen. Ansonsten wäre eine Analyse wie bei Eggers et al. (2015) sinnvoller, bei der die Autoren Umweltfaktoren für jeden Horst in Wochen nach der Ankunft aufgeteilt haben, was zu einem besseren Verständnis von der Wirkung der Umweltfaktoren in verschiedenen Entwicklungsstadien der Weißstorchjungen führt. Da die Umweltfaktoren untereinander und mit der Zeit stark korrelieren (Ergänzendes Material: Abbildung II), haben wir eine Hauptkomponentenanalyse (PCA) durchgeführt und die Hauptkomponenten als erklärende Variablen genutzt, um eine Multikollinearität der linearen Regressionsmodelle zu verhindern.

4.1.3 Datensätze

Der ursprüngliche Datensatz enthält 8.651 Beobachtungen zum Bruterfolg in besetzten Weißstorchhorsten in der Prignitz im Zeitraum 1970–2022. Unbesetzte Horste, Horste mit nur einem Storch oder Horste, für die in einem Jahr keine Daten aufgenommen wurden (sehr selten) sind in diesem Datensatz nicht enthalten. Eine Beobachtung umfasst das Jahr, die Ortschaft, die Horst-ID, die Anzahl der Jungen, die in dem Jahr Ende Juni im Nest gezählt wurden und auch, ob es generell einen Bruterfolg gab oder nicht.

Aus diesem Datensatz wurden für jedes Jahr die Bestandsparameter berechnet. Der daraus resultierende Datensatz besteht aus den jährlichen Bestandsparametern HPa, JZG, HPm, HPo, HPm%, HPo%, JZa und JZm. Des Weiteren enthält dieser Datensatz alle oben genannten Umweltfaktoren und die aus den Umweltfaktoren berechneten Hauptkomponenten (PC). Dieser

Datensatz existiert auch in der gleichen Form mit einer Auftrennung der unter 4.1.2 genannten Bestandsparameter für jeweils die elbnahen und elbfernen Horststandorte. Mit diesen über jedes einzelne Jahr des Betrachtungszeitraum zusammengefassten Datensätzen wurden alle statistischen Analysen und Visualisierungen erstellt (mit Ausnahme der Abbildung 5).

4.1.4 Statistische Analysen der Daten

Für einen besseren Lesefluss sind die Begründungen für die unterschiedlichen Analysen in den Ergebnissen erläutert, während hier vor allem die statistischen Details beschrieben werden.

Den Einfluss der Umweltfaktoren auf den Bruterfolg haben wir mithilfe einer multiplen linearen Regression modelliert für den Zeitraum 1970–2020 (da Bodenfeuchtedaten für die Jahre 2021 und 2022 fehlen). Wir haben eine Hauptkomponentenanalyse (Englisch: Principal Components Analyse) verwendet (Faktoren wurden vorher skaliert und zentriert), um eine Multikollinearität (Korrelationen zwischen erklärenden Variablen) der linearen Modelle zu verhindern. Die Hauptkomponenten wurden als erklärende Variablen für zwei lineare Modelle genutzt, mit jeweils dem Anteil der erfolgreicher Paare und dem Teilbruterfolg als abhängige Variable. Die statistischen Annahmen der Modelle haben wir visuell überprüft. Für die Berechnung der Signifikanz des Unterschieds zwischen elbnahen und elbfernen Horststandorten in Brutsaisons mit Hochwasser haben wir Welch-t-Tests verwendet (gepaart für den Vergleich von elbnah und elbfern und ungepaart für den Vergleich innerhalb der Entfernungsgruppe zwischen Brutsaisons mit und ohne Hochwasser). Alle Fehlerbalken oder -bänder zeigen das 95-%-Konfidenzintervall (95-%-KI) sofern nicht anders angegeben. Die Standardabweichung ist mit „SD“ abgekürzt.

Alle statistischen Analysen und Datenvisualisierungen wurden mit den Open Source Softwares R und RStudio vollzogen (R Core Team 2021; RStudio Team 2021). Für die statistische Analyse wurde die „package“ stats benutzt, mit der Funktion „prcomp“ (center = T, scale = T) für die Hauptkomponentenanalyse und der Funktion „lm“ für die linearen Modelle. Insbesondere wurden die „packages“ dplyr für Datenaufbereitung und ggplot2 und sjPlot für Datenvisualisierung verwendet (Lüdecke 2022; Wickham 2016; Wickham et al. 2021). Jeder einzelne Datenpunkt ist der Anteil erfolgreicher Störche/ Teilbruterfolg in einem Jahr. Alle blauen Trendlinien in

Visualisierungen basieren auf linearen Regressionen und wurden mit der „geom_smooth“ Funktion gezeichnet (package = ggplot2). Sie dienen als Beihilfe zur visuellen Interpretation der Ergebnisse. Alle Korrelationswerte in den Abbildungen sind Pearson-Korrelationswerte, die mit der Funktion „stat_cor“ hinzugefügt wurden (package = ggplot2). Je näher die Datenpunkte an der blauen Trendlinie sind, desto genauer korreliert der Bruterfolg mit einem Umweltfaktor (beziehungsweise einer Hauptkomponente) und desto besser kann man mit diesem Umweltfaktor den Bruterfolg vorhersagen (auch beschrieben durch den R-Wert des Pearson-Korrelationsindex). Die Steigung der Linie zeigt, ob der Bruterfolg positiv oder negativ mit dem Umweltfaktor korreliert und wie stark.

4.1.5 Limitationen von Korrelationsstudien in der Ökologie

Bei dieser Studie handelt es sich um eine langfristige ökologische Beobachtungsstudie. Das heißt, es wurden im Gegensatz zu einem klassischen biologischen Experiment keine Faktoren experimentell verändert und es gibt auch keine echten Kontrollgruppen. Anhand von Beobachtungsstudien ist es generell nicht möglich die Ursachen für eine Veränderung in der beobachteten Population mithilfe der beobachteten Faktoren eindeutig zu erklären. Korrelationen zwischen den Faktoren (zum Beispiel Umweltfaktoren) und der beobachteten Variabel (zum Beispiel Bruterfolg) bedeuten nicht zwangsläufig, dass diese Faktoren auch die Ursachen für die Veränderung sind. Dies ist ein grundlegendes Problem bei dem Versuch einen Organismus in seiner natürlichen Umwelt besser zu verstehen. Experimente können zwar klar die Ursachen belegen, aber sind entweder aufgrund ihrer Komplexität undurchführbar (ethische, logistische oder finanzielle Probleme) oder so vereinfacht, dass die experimentellen Bedingungen weit entfernt von denen in der natürlichen Umwelt sind (Tilman 1989). In der Ökologie wird deswegen eine Kombination von Beobachtungsstudien, Experimenten und theoretischen Modellen benötigt, um die Wechselwirkungen zwischen Organismen untereinander und ihrer Umwelt zu verstehen (Tilman 1989). Beobachtungsstudien sind jedoch der erste Schritt, um diese Beziehungen besser zu verstehen und dienen als Basis für zukünftige Experimente sowie theoretische Modelle. Dabei tragen langfristige Beobachtungsstudien überproportional viel zu unserem Verständnis einer Art bei (Hughes et al. 2017).

4.2 Korrelation von Wetterfaktoren, Bodenfeuchte und Elbwasserständen mit dem Bruterfolg

Wie in Abbildung 5 dargestellt, unterliegen dem Bruterfolg (Anzahl an Jungen) zwei fundamental unterschiedliche Prozesse. Einmal, ob ein Weißstorchpaar überhaupt Bruterfolg in einem Jahr hat (> 0 Jungen) und wenn es Erfolg hat, wie hoch die Anzahl an Jungen ist. Die Faktoren, die diese beiden Prozesse beeinflussen, sind unterschiedlich (vergleiche Kapitel 2.3). Daher überprüfen wir den Effekt der Umweltfaktoren auf den Anteil der erfolgreichen Paare und dem Teilbruterfolg (JZm) separat.

Da die Umweltfaktoren miteinander und mit der Zeit (Jahr) korrelieren und somit zum Teil die gleiche Varianz im Bruterfolg erklären, würde ein lineares Regressionsmodell unter Multikollinearität leiden. Zum Beispiel nimmt die Durchschnittstemperatur im Zeitraum April bis Juni über die 51 Jahre um circa 2° Celsius zu (Ergänzendes Material: Abbildung II). Somit ist bei der Veränderung des Teilbruterfolges über diesen Zeitraum nicht eindeutig klar, ob es an der Temperatur oder einer anderen Veränderung über die Zeit liegt. Ohne eine experimentelle Kontrolle der Variablen ist es auch unmöglich, diese Korrelationen im Nachgang mit einer statistischen Methode zu verhindern oder aufzulösen (Graham 2003). Jedoch kann mit einer Hauptkomponentenanalyse das Problem Multikollinearität für eine lineare Regression umgangen werden. Die Hauptkomponentenanalyse (Englisch: Principal Component Analysis, kurz PCA) fasst die Umweltfaktoren und die Zeit zu neu konstruierten Hauptkomponenten (Englisch: Principal Components, kurz PC) zusammen. Diese neuen Hauptkomponenten korrelieren nicht miteinander und können somit als neue erklärende Variablen für die lineare Regression verwendet werden. Die PCA wurde mit den Variablen Jahr, Temperatur [$^\circ$ Celsius], Niederschlagsmenge pro Tag [mm], Starkregentage > 10 mm (Mai und Juni) [Anzahl], Elbepegel [cm], Oberbodenfeuchte [dimensionslos] und Gesamtbodenfeuchte [dimensionslos] durchgeführt. In einer PCA beschreibt jede Hauptkomponente einen Anteil der Varianz in den Faktoren. In der Reihe der Hauptkomponenten (in dieser Studie 7) ist die erste Hauptkomponente die bedeutendste, da sie am meisten Varianz beschreibt. Mit jeder darauffolgenden Hauptkomponente nimmt der Anteil an erklärter Varianz und somit die Bedeutung ab (Ergänzendes Material: Tabelle II). Die Hauptkomponenten setzen sich aus allen oben genannten Umweltfaktoren

zusammen, die mit einer unterschiedlichen Gewichtung in diese Hauptkomponenten einfließen (Ergänzendes Material: Tabelle III). Zum Beispiel korreliert die Hauptkomponente 1 (PC1) positiv mit Temperatur und Jahr, und negativ mit Niederschlag, Elbepegel und Oberbodenfeuchte (Ergänzendes Material: Abbildung I). Hauptkomponenten haben keine Einheit, sie sind dimensionslos. Wenn der Bruterfolg zum Beispiel zunimmt, wenn die PC1 zunimmt, dann steht die PC1 als Stellvertreter für zunehmende Temperatur und abgelaufene Zeit im Beobachtungszeitraum und abnehmenden Niederschlag, Elbepegel und Bodenfeuchte.

4.2.1 Einfluss von Umweltfaktoren auf den Anteil der erfolgreichen Brutpaare

Wir gehen davon aus, dass der Anteil an erfolgreichen Paaren (HPm%) nicht maßgeblich von lokalen Umweltfaktoren beeinflusst wird. Denn Veränderungen der hier untersuchten Faktoren wie Temperatur, Elbwasserstand, Niederschläge und Bodenfeuchte führen selten zu einem kompletten Ausfall eines Geleges, sondern eher zu Veränderungen der Anzahl an Jungen bei erfolgreichen Paaren. Wir gehen allerdings davon aus, dass eventuell durch Starkniederschläge alle Jungstörche eines Horsts durch Unterkühlung verloren gehen können. Abbildung 8 zeigt den Anteil der erfolgreichen Paare in Abhängigkeit zu ausgewählten Umweltfaktoren. Keiner der Faktoren korreliert signifikant mit dem Anteil erfolgreicher Paare. Die Anzahl an Tagen mit Starkregen (> 10 mm) korreliert als einziger Faktor fast signifikant mit dem Anteil an erfolgreichen Paaren.

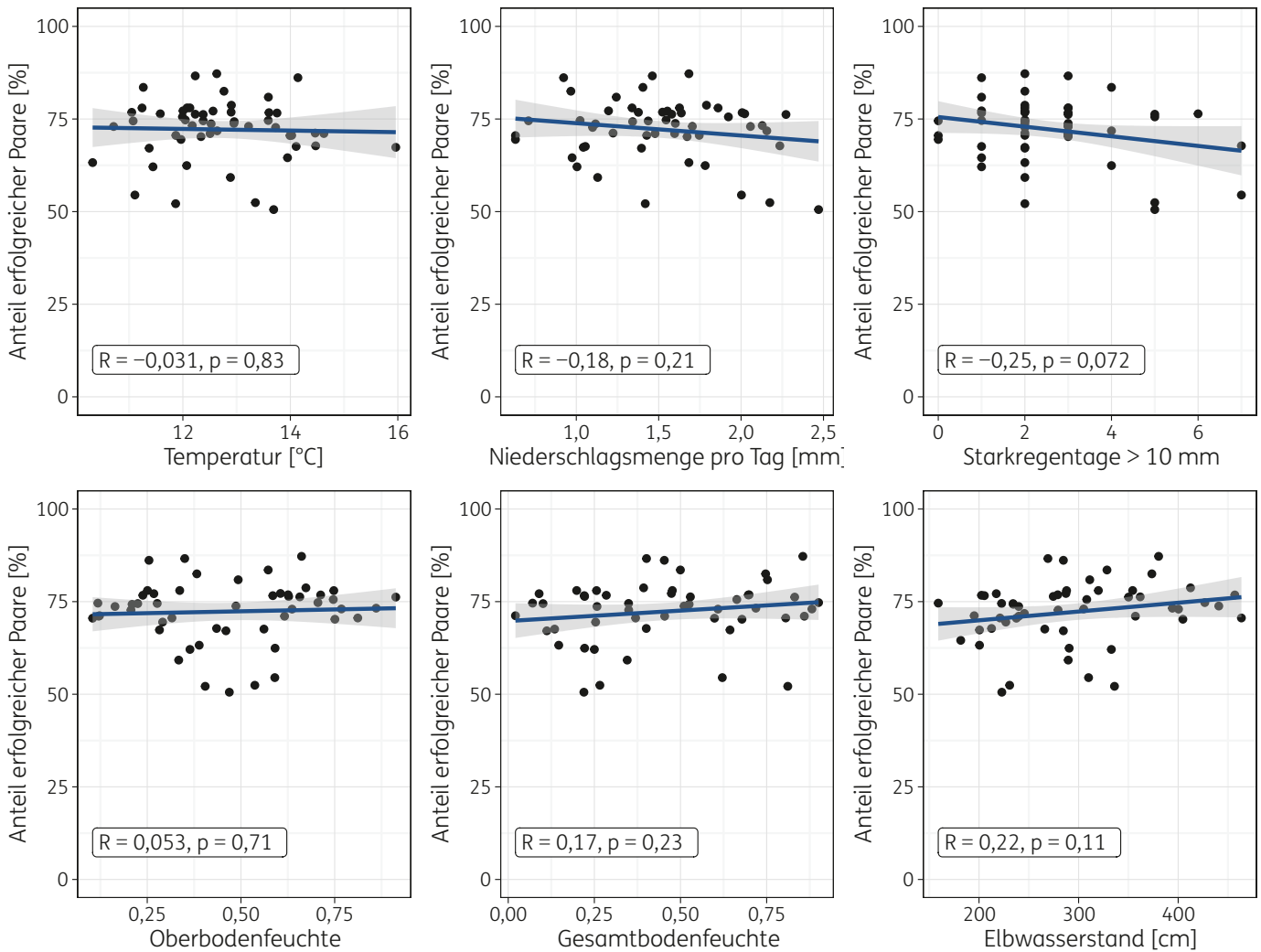


Abbildung 8: Korrelation zwischen dem Anteil der erfolgreicher Paare (HPM%) und Umweltfaktoren (Temperatur [°Celsius], durchschnittliche Niederschlagsmenge pro Tag [mm], Starkregentage im Mai und Juni (> 10 mm) [Anzahl], Elbwasserstand [cm], Oberbodenfeuchte [dimensionslos] und Gesamtbodenfeuchte [dimensionslos]) in der Brutsaison vom 1. April bis 31. Juni ($n = 53$ außer für die Bodenfeuchtefaktoren mit $n = 51$).

Im linearen Modell korreliert die zweite Hauptkomponente (PC2) als einzige signifikant mit dem Anteil der erfolgreichen Paare (Tabelle 1). PC2 besteht vor allem aus den Starkregentagen und der Niederschlagsmenge pro Tag (Abbildung 9b). Über die Reichweite von PC2 nimmt der Anteil der erfolgreichen Paare um 12,4% (95%-KI = 1,2–23,6%, $p < 0,001$) zu. Dieses quantifizierte Ergebnis ist kritisch zu betrachten, da nur sehr wenige Jahre mehr als drei Starkregentage haben ($n = 6$) und da allein diese Jahre den Effekt statistisch generieren. Insgesamt erklärt das Modell nur sehr wenig der zwischenjährlichen Varianz (angepasstes $R^2 = -0,005$). Dies bestätigt die Vermutung, dass die lokalen Umweltfaktoren nur einen sehr geringen Einfluss auf den Anteil der erfolgreichen Weißstorchpaare haben.

Der negative Einfluss von Regen auf den Bruterfolg ist auch in anderen europäischen Ländern erforscht. Carrascal et al. (1993) zeigte für Störche in Spanien, dass die Anzahl der flüggen Jungen pro Paar in Jahren mit mehr als 10 Tagen mit Regen im Mai geringer war. In der Schweiz stellten Moritzi et al. (2001) ebenfalls einen negativen Effekt in Jahren mit mehr Regen und kälteren Temperaturen im Mai fest. Interessanterweise scheinen also die Weißstörche in verschiedenen europäischen Breitengraden gleichermaßen von Regenereignissen in der Brutzeit betroffen zu sein, nicht aber von hohen Temperaturen (Jovani, Tella 2004; Kosicki 2012).

Tabelle 1: Ergebnisübersicht des linearen Modells vom Anteil erfolgreicher Paare in Abhängigkeit der Hauptkomponenten (PC).

Prädiktoren	Schätzung	95%-KI	p-Wert
Y-Achsenabschnitt	72,33	69,98 – 74,68	<0,001
PC1	-0,06	-1,40 – 1,29	0,933
PC2	2,04	0,14 – 3,95	0,036
PC3	-1,32	-3,43 – 0,79	0,213
PC4	1,29	-2,68 – 5,27	0,515
PC5	-0,34	-4,50 – 3,82	0,870
PC6	-0,35	-5,34 – 4,64	0,887
PC7	-0,01	-6,04 – 6,02	0,997
Observationen	51		
R ² / angepasstes R ²	0,136 / -0,005		

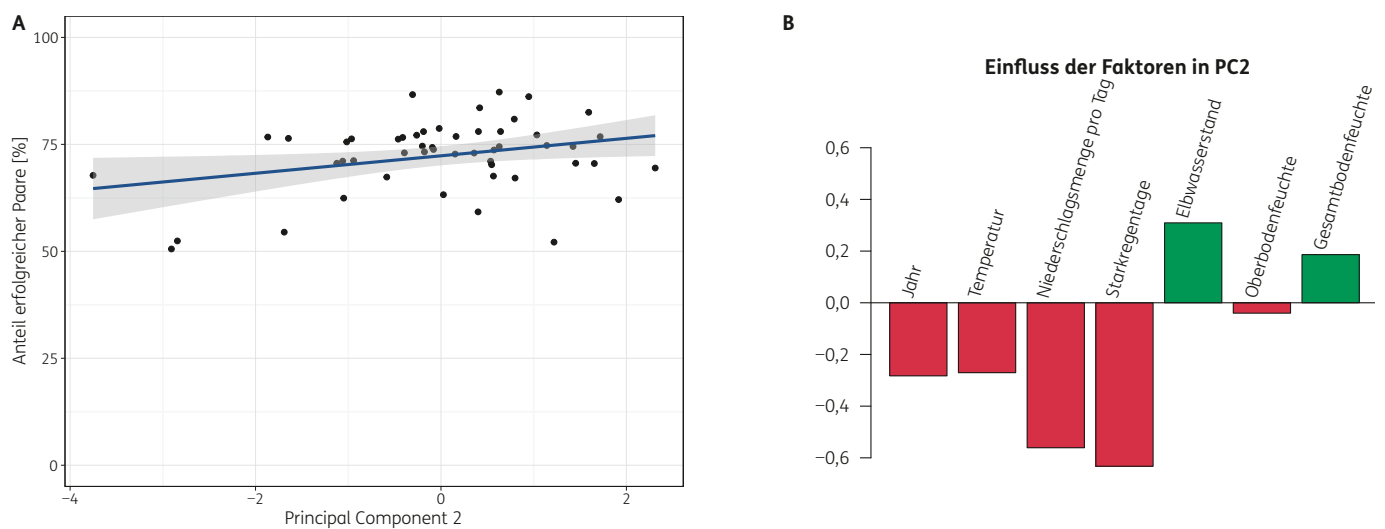


Abbildung 9: (A) Anteil der erfolgreichen Paare [%] in Abhängigkeit der Hauptkomponente 2 und (B) Einfluss der Umweltfaktoren und der Zeit in der Hauptkomponente.

4.2.2 Einfluss der Umweltfaktoren auf den Teilbruterfolg (JZm)

Abbildung 10 zeigt, wie der Teilbruterfolg der Prignitzer Störche mit unterschiedlichen Umweltfaktoren, dem Jahr und der Gesamtzahl an Weißstorchpaaren (HPa) korreliert. Bis auf die beiden Niederschlagsfaktoren (Starkregentage und Niederschlagsmenge) korrelieren alle Umweltfaktoren signifikant mit dem Teilbruterfolg. Die stärksten Korrelationen bestehen mit der Temperatur (negativ), Oberboden- und Gesamtbodenfeuchte (positiv) und dem Elbepegel (positiv). Es ist ersichtlich, dass der Bruterfolg nicht stark mit einem einzelnen Faktor allein korreliert und die höchste Effektgröße beim Elbewasserstand zu verzeichnen ist (mit circa 0,7 Jungen weniger beziehungsweise mehr über die gesamte Reichweite des Elbewasserstands).

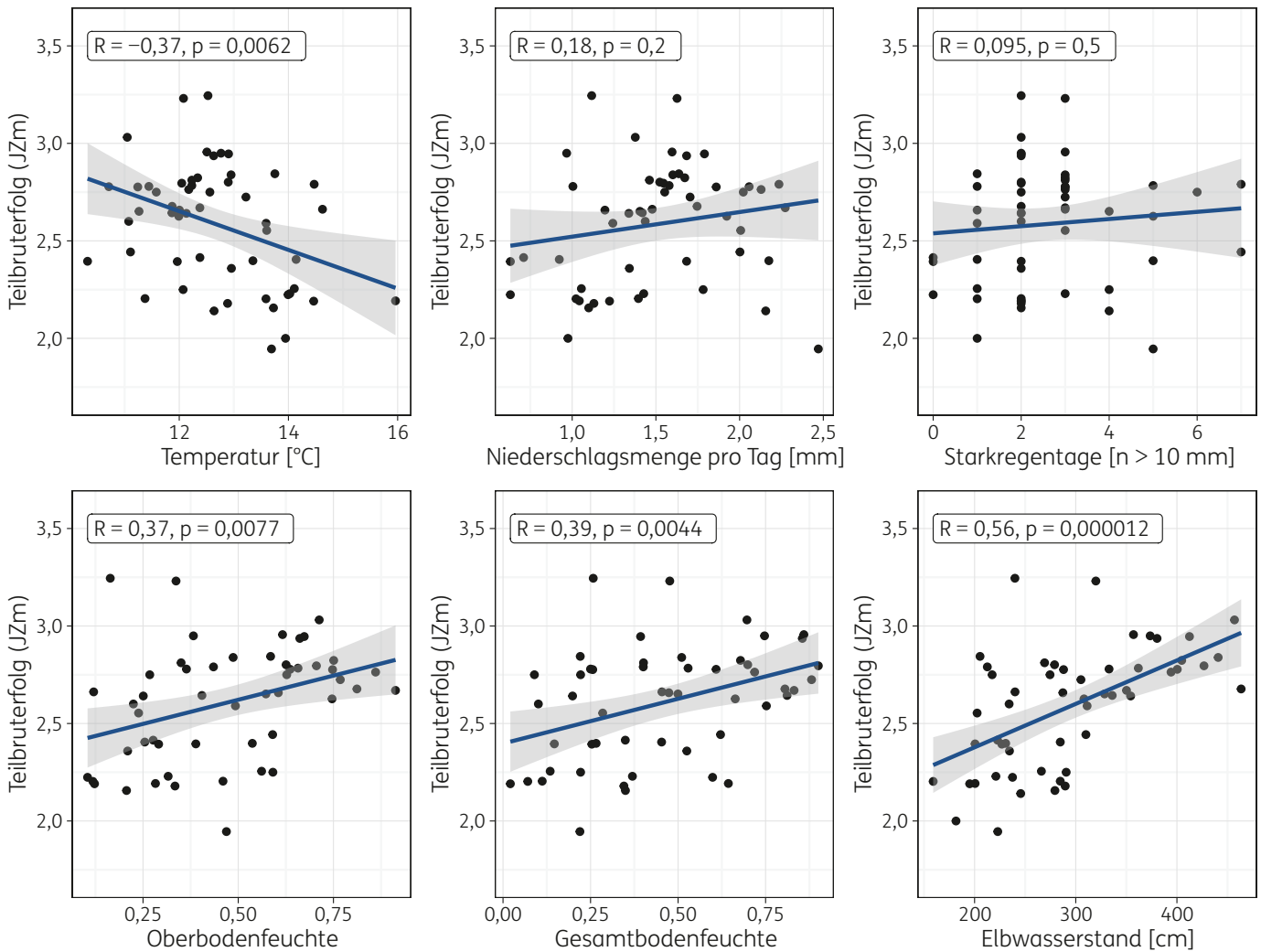


Abbildung 10: Korrelation zwischen dem Teilbruterfolg (JZm) und Umweltfaktoren (Temperatur [°Celsius], durchschnittliche Niederschlagsmenge pro Tag [mm], Starkregentage im Mai und Juni (> 10 mm) [Anzahl], Elbwasserstand [cm], Oberbodenfeuchte [dimensionslos] und Gesamtbodenfeuchte [dimensionslos]) in der Brutsaison vom 1. April bis 31. Juni (n = 53 außer für die Bodenfeuchtefaktoren mit n = 51).

Da die Umweltfaktoren untereinander und mit der Zeit (Jahre im Beobachtungszeitraum) korrelieren, wurden auch hier mithilfe der Hauptkomponentenanalyse die Umweltfaktoren und die Zeit zu Hauptkomponenten kombiniert und mit diesen das Multiple Lineare Regressionsmodell berechnet. Nur die erste Hauptkomponente (PC1) korreliert hoch signifikant mit dem Teilbruterfolg ($p < 0,001$, Tabelle 2). PC1 setzt sich hauptsächlich aus zunehmendem Jahr und Temperatur und abnehmender Oberbodenfeuchte, Elbwasserstand und Niederschlagsmenge pro Tag zusammen (Abbildung 11b). Über die Reichweite von PC1 nimmt der Teilbruterfolg um $-0,57$ (95%-KI = $-0,30$ bis $-0,84$, $p < 0,001$) ab (Abbildung 11a). Das heißt, die Umweltfaktoren in der PC1 beeinflussen den Teilbruterfolg um maximal diesen oben genannten Betrag. Insgesamt ist zu beachten, dass das angepasste R^2 des Modells $0,24$ beträgt (Tabelle 2). Das bedeutet, dass das Modell

mit den Umweltfaktoren nur 24 % der zwischenjährigen Varianz im Teilbruterfolg erklärt (visuell in Abbildung 11a erkennbar: viele Punkte liegen weit entfernt von der blauen Trendlinie). Es beeinflussen also noch andere wichtige Faktoren oder Zufallsprozesse den Teilbruterfolg, die nicht in diesem Modell enthalten sind. Wir können aber mit dieser Analyse zeigen, dass in Jahren mit höheren Temperaturen, niedrigerem Elbwasserstand und niedrigerer Bodenfeuchte der Teilbruterfolg durchschnittlich geringer ist. Jedoch ist es anhand dieser Beobachtungsstudie, in der die Umweltfaktoren miteinander korrelieren, nicht möglich zu gewichten, welcher der Umweltfaktoren oder welche Kombination an Umweltfaktoren für diesen Effekt tatsächlich verantwortlich sind.

Tabelle 2: Ergebnisübersicht des Linearen Modells vom Teilbruterfolg in Abhängigkeit der Hauptkomponenten (PC).

Prädiktoren	Schätzung	95%-KI	p-Wert
Y-Achsenabschnitt	2,61	2,53 – 2,68	< 0,001
PC1	-0,08	-0,13 – -0,04	< 0,001
PC2	0,05	-0,01 – 0,11	0,099
PC3	-0,02	-0,08 – 0,05	0,611
PC4	-0,04	-0,16 – 0,08	0,509
PC5	-0,04	-0,17 – 0,08	0,498
PC6	-0,04	-0,20 – 0,11	0,568
PC7	0,10	-0,08 – 0,29	0,267
Observationen	51		
R ² / angepasstes R ²	0,344 / 0,237		

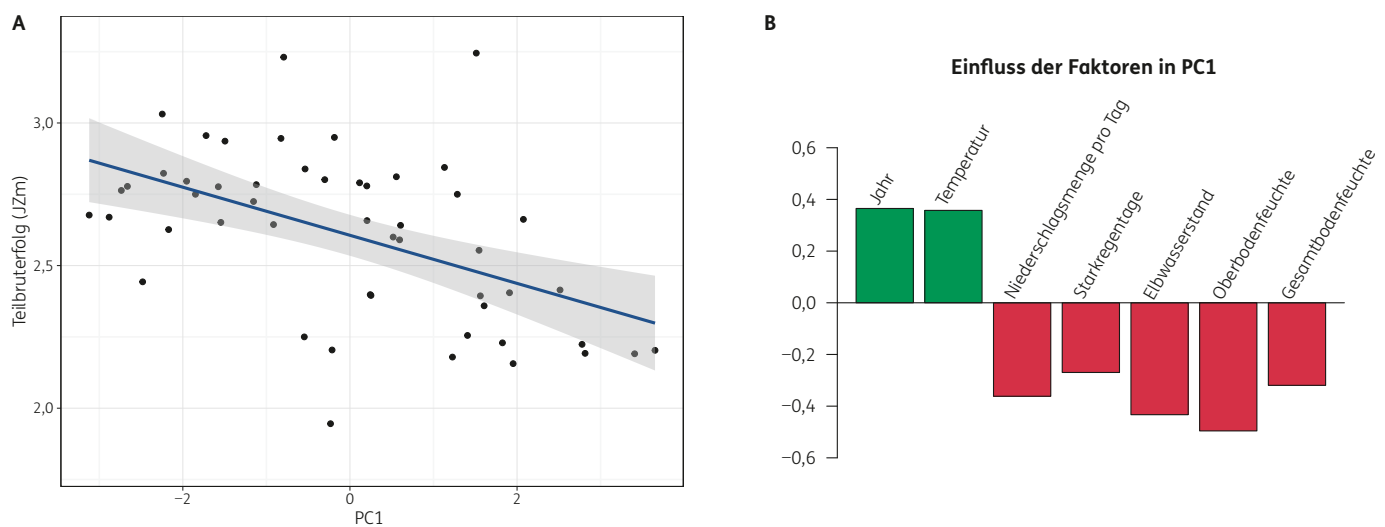


Abbildung 11: (A) Teilbruterfolg (JZm) in Abhängigkeit der Hauptkomponente 1 (PC1) und (B) Einfluss von Umweltfaktoren und Jahr auf die Hauptkomponente 1 (PC1).

4.2.3 Einfluss des Elbwasserstands auf den Bruterfolg

Um den Einfluss des Elbwasserstands auf den Bruterfolg von Weißstorchpaaren zu überprüfen, vergleichen wir zwei Gruppen von Horststandorten in der Prignitz, die sich anhand der Entfernung ihres Horststandorts zur Elbe unterscheiden. Denn sollten der Elbwasserstand und das Elbhochwasser einen Einfluss auf den Bruterfolg haben, dann würden wir diesen Effekt nur bei den elbnahen Störchen erwarten. Die elbfernen Störche dienen dabei als „Kontrolle“, bei denen wir keinen Effekt erwarten (siehe Kapitel 4.1.1.5). Für einen sinnvollen Vergleich müssen die beiden Gruppen ungefähr gleich groß sein und auch über die 53 Jahre gleich gewachsen sein. Dies trifft auf die beiden Gruppen zu (Ergänzendes Material: Abbildungen IV und V). Um den Effekt von Hochwassern noch besser zu identifizieren, vergleichen wir die Jahre mit Hochwasser im April bis Juni (insgesamt 28 Jahre) mit denen ohne Hochwasser (insgesamt

25 Jahre). Letztere dienen als „Kontrolle“, bei denen wir keinen Unterschied zwischen den Gruppen erwarten oder einen geringeren Bruterfolg bei den elbnahen Störchen (aufgrund des Konzepts der idealen freien Verteilung).

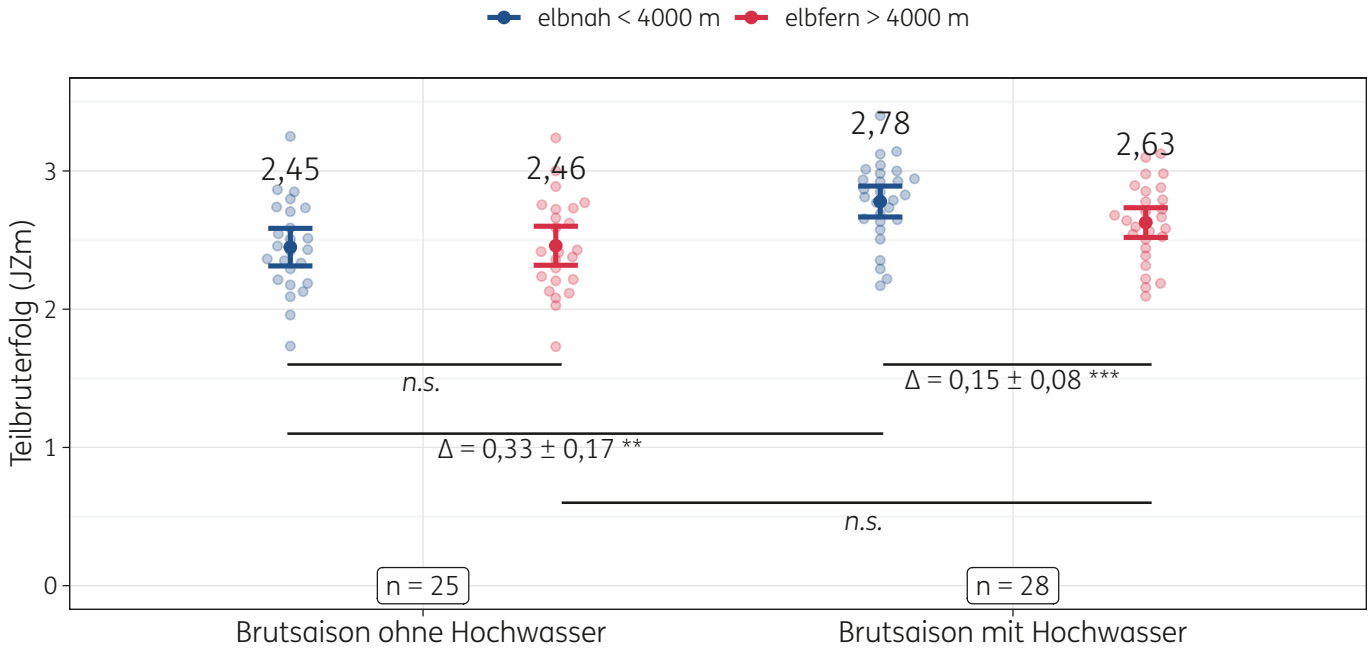


Abbildung 12: Unterschiede im Teilbruterfolg (JZm) zwischen elbnahen und elbfernen Weißstörchen aufgeteilt in Brutsaisons mit und ohne Hochwasserereignis. Fehlerbalken sind 95%-Konfidenzintervalle. Die Differenzen und p-Werte zwischen elbnahen (blau) und elbfernen (rot) Horsten wurden mit gepaarten Welch-t-Tests und zwischen Horsten in Brutsaisons ohne und mit Hochwasser mit ungepaarten Welch-t-Tests berechnet (n.s. bedeutet, dass es keinen signifikanten Unterschied gab). Das „n“ spezifiziert die Anzahl an Brutsaisons ohne beziehungsweise mit Hochwasser (mindestens ein Tag mit einem durchschnittlichen Elbepegel über 400 cm).

Die elbnahen und elbfernen Störche haben den gleichen Bruterfolg in Jahren ohne Hochwasser (Abbildung 12). Im Durchschnitt sind in Jahren mit Hochwasser elbnah Störche um $0,15 \pm 0,08$ Jungen (beziehungsweise $5,7 \pm 2,7\%$) produktiver als elbferne und im Vergleich zu elbnah Störchen in Jahren ohne Hochwasser um $0,33 \pm 0,17$ (beziehungsweise $13 \pm 6,6\%$) Jungen produktiver (Abbildung 12). Durchschnittlich unterscheiden sich

auch die elbfernen Störche nicht signifikant in Jahren mit und ohne Hochwasser (Abbildung 12). Der einzige unterschiedliche Umweltfaktor zwischen elbnahen und elbfernen Störchen in Hochwasserjahren ist der Effekt der Elbe. Deshalb gehen wir davon aus, dass es sich um einen kausalen Zusammenhang handelt und der Elbwasserstand beziehungsweise Hochwasser den Teilbruterfolg der elbnahen Störche beeinflussen.

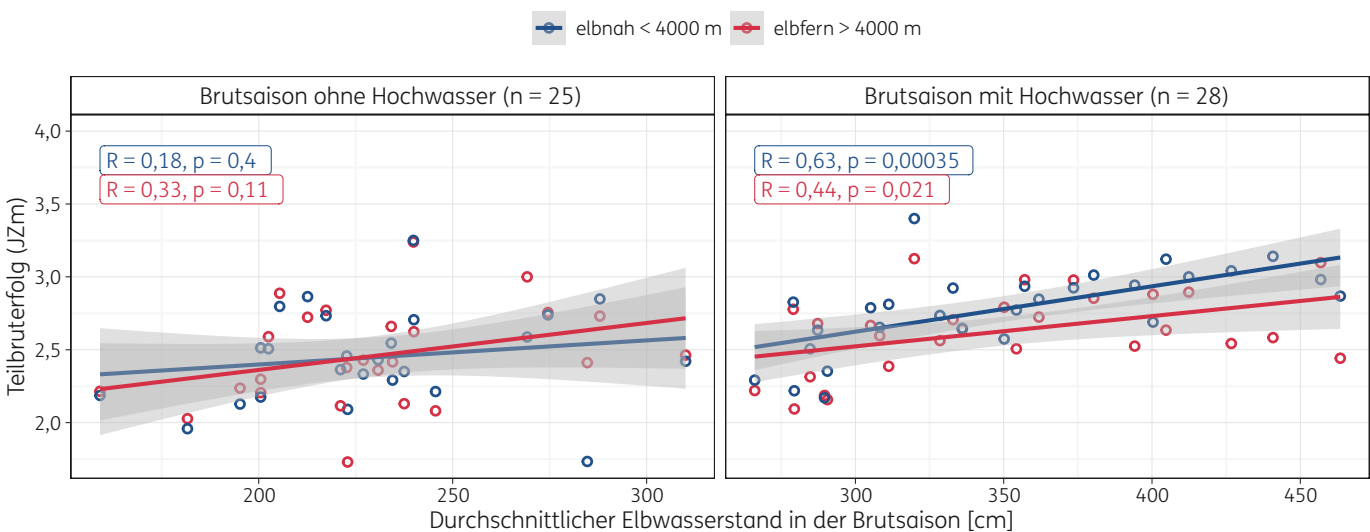


Abbildung 13: Korrelation zwischen dem Teilbruterfolg (JZm) und dem durchschnittlichen Elbwasserstand von elbnahen (blau) und elbfernen (rot) Störchen aufgeteilt in Brutsaisons mit und ohne Hochwasserereignis (mindestens ein Tag mit einem durchschnittlichen Elbepegel über 400 cm).

Nur in Brutsaisons mit Hochwasser korreliert der Teilbruterfolg mit dem Elbwasserstand signifikant (Abbildung 13). In Jahren mit Hochwasser erhöht sich der Teilbruterfolg in der elbnahen Gruppe linear von durchschnittlich 2,52 Jungen bei einem Pegelstand von 270 cm auf bis zu 3,13 Jungen bei 460 cm, also insgesamt um 0,61 Jungen (95%-KI: 0,32 bis 0,91, lineares Modell). Warum der Elbwasserstand auch mit dem Teilbruterfolg der elbfernen Störche korreliert, ist anhand dieser Daten nicht eindeutig erklärbar. Möglicherweise liegt es an der Korrelation des Elbwasserstandes mit anderen Faktoren wie zum Beispiel der Zeit und der Temperatur (Ergänzendes Material: Abbildung II).

4.3 Zukünftiger Forschungsbedarf

Nur 24 % der zwischenjährlichen Varianz des Teilbruterfolges wird durch die hier betrachteten Umweltfaktoren erklärt. Es besteht also Forschungsbedarf zur Identifikation der weiteren Faktoren, die den Teilbruterfolg maßgeblich beeinflussen. Wir nehmen an, dass unter anderem menschliche Landnutzung, wetterunabhängige Schwankungen von Beutetierpopulationen und variierende Ankunftszeiten einen zusätzlichen Teil der zwischenjährlichen Schwankungen erklären könnten.

Ein ursprüngliches Ziel dieser Studie war es, den Anteil verschiedener Nutzungsarten der landwirtschaftlichen Fläche (speziell Grünland) in der Umgebung der Weißstorchhorste mit als erklärende Variable in diese Analyse einzubeziehen. In der Prignitz ist der Anteil von Energiemais an der Ackerfläche inzwischen auf rund 29 % angestiegen (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2019). Dies verkleinert die Nahrungsgebiete von Weißstörchen, da der Mais erst nach der Abreise der Störche in die Überwinterungsgebiete geerntet wird. Vorher steht der Mais auf den Äckern so hoch und dicht, dass diese von den Störchen nicht begehbar sind. Eine genaue Analyse der Nutzungsarten, war jedoch nicht möglich, da Daten zur landwirtschaftlichen Nutzung zwar vorhanden sind, aber durch mitunter jährlich wechselnde Datenbank-Klassifizierungen von Grünland nicht ohne immensen Aufwand über den Betrachtungszeitraum vergleichbar sind. Auch jährliche Unterschiede in der Landnutzung, wie zum Beispiel Sortenwahl oder Beweidungs- und Mahdzeiträume, könnten weitere Hinweise geben.

Um die kausalen Effekte von Umweltfaktoren besser zu verstehen, wäre eine Bruterfolgsanalyse in Kombination mit Bestandsdaten der Populationen der Beutetiere des Weißstorchs sinnvoll. Jedoch sind solche Populationsdaten selten vorhanden und müssten zunächst aufgenommen werden. Vor allem Daten zu Amphibien, Kleinsäugetern wie Mäusen, Regenwürmern und Insekten könnten die Verständnislücken für die zwischenjährlichen Schwankungen des Bruterfolges schließen. Denn die Populationen von zum Beispiel Mäusen sind nicht nur von Umweltfaktoren abhängig, sondern durchlaufen zyklische Bestandswechsel, wobei nach einem etwa alle drei bis sieben Jahre auftretenden Bestandshoch ein Zusammenbruch der Population erfolgt (Niethammer, Krapp 1982). Solche starken Anstiege in manchen Beutetierpopulationen können zu besonders guten Bruterfolgswerten führen – sogenannte „Mäuse-“ oder „Amphibienjahre“ (Dziewiaty 2017). Eine stichpunktartige Überprüfung auf Infektionskrankheiten und Parasiten bei Küken könnte weitere Aufschlüsse auf Gründe für erhöhte Mortalität in manchen Jahren geben (Denac 2006).

Für zukünftiges langjähriges Monitoring wäre es wünschenswert, die Ankunftszeiten der Störche zu erfassen, da dann populations-, orts- oder sogar horstspezifisch die Umweltfaktoren auf die Ankunftszeit normiert werden könnten (siehe Eggers et al. 2015). Somit könnte man den Einfluss der Umweltfaktoren auf die unterschiedlichen Entwicklungszeiten der Storchjungen besser einschätzen und auch für schlechte Zugbedingungen kontrollieren (Meybohm 1996). Die Ankunftszeit an jedem Horst zu erfassen, wäre ein großer Aufwand für die ehrenamtlichen Weißstorchfasser. Aussagen von Anwohnerinnen und Anwohnern sind jedoch häufig zu ungenau. Stattdessen wäre eine Stellvertretervariable für die Ankunftszeit, die mit weniger Aufwand aufgenommen werden könnte, ideal. Zum Beispiel könnte die Ankunftszeit von nur einem Zehntel der Weißstörche aufgenommen und auf die Population hochgerechnet werden. Ob solch eine Stellvertretervariable sowohl belastbar als auch simpel aufzunehmen wäre und welche Alternativen es gibt, müsste erforscht werden.

5 Die weitere Entwicklung des Bruterfolges im Kontext des Klimawandels

5.1 Klimavorhersagen für Brandenburg

Die für das Land Brandenburg verfügbaren Klimamodellierungen deuten darauf hin, dass sich die bereits angespannte Wasserhaushaltssituation in Zukunft weiter verschärfen wird. Ein Klimamodell des Landesamts für Umwelt Brandenburg (LfU, 2020), mit der Klimanormalperiode 1971 – 2000 als Vergleichszeitraum, prognostiziert die Änderungssignale sowohl für die nahe Zukunft (2031 – 2060) als auch für die ferne Zukunft (2071 – 2100). So ist beispielsweise bei der Mitteltemperatur in der nahen Zukunft ein Anstieg um 1,8°Celsius und in der fernen Zukunft um 3,6°Celsius zu erwarten. Nach den Ergebnissen des Klimamodells wird sich der Vegetationsbeginn von aktuell dem 26. März in der nahen Zukunft um 15,5 Tage auf den 10. März und in der fernen Zukunft sogar auf den 18. Februar verschieben (Linke 2021). Für den Niederschlag in der nahen Zukunft hat das Klimamodell eine Zunahme von 3,5 % auf 556 mm/m² jährlich berechnet. Dabei nehmen jedoch die Niederschlagstage in der nahen Zukunft um 3,9 Tage ab und die Starkniederschlagstage (> 20 mm) um 3 Tage zu. Diese Vorhersagen decken sich mit den Vorhersagen aus dem Klimaausblick für den Landkreis Prignitz des Climate Service Center Germany (GERICS), welcher auch höhere Temperaturen, mehr Starkregentage (> 20 mm) und längere Hitzeperioden voraussagt (Pfeifer et al. 2021). Klimaprognosen sagen einen Rückgang des Abflusses der Elbe (–30 bis 5 %) in den Sommermonaten voraus (BMDV 2020; Nilson et al. 2014).

Trotz zunehmender Niederschlagsmengen ist mit einem Absinken des Grundwasserspiegels im Einzugsgebiet der Elbe zu rechnen. Dies ist auf im Jahreslauf umverteilte Niederschlagsmengen, veränderte Niederschlagsmuster sowie höhere Jahresmitteltemperaturen und infolgedessen verringerte Sickerwasserraten zurückzuführen (Gerstengarbe et al. 2005). Holsten et al. (2009) zeigen in hydrologischen Modellierungen des verfügbaren Bodenwassers mit dem Modell SWIM (Soil and Water Integrated Model), dass der Bodenwassergehalt in Brandenburg in den letzten 50 Jahren bereits deutlich abgenommen hat und dass mit weiteren Abnahmen zu

rechnen ist. Für alle wasserabhängigen Lebensräume sind insbesondere im niederschlagsarmen nordostdeutschen Raum durch den Klimawandel Verschlechterungen ihres Zustands zu erwarten.

5.2 Ausblick auf den Bestand in der Prignitz

Das hier verwendete lineare Modell erklärt einen Großteil (76 %) der zwischenjährlichen Schwankungen im Teilbruterfolg nicht (siehe 4.2.2) und ist auch nur bedingt für zukünftige extremere Umweltbedingungen kalibriert. Somit kann es allein mit den Umweltbedingungen nicht den genauen Teilbruterfolg in zukünftigen Jahren vorhersagen. Es liefert jedoch trotzdem erste Hinweise auf die Beziehungen zwischen dem Bruterfolg und den hier betrachteten Umweltfaktoren. Anhand dieser ist es möglich zumindest allgemeine Trenderaussagen zur durchschnittlichen Entwicklung des Bruterfolges zu treffen.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Folgen des Klimawandels vorrausichtlich einen negativen Effekt auf den Bruterfolg in der Prignitz haben werden. Denn wie in Kapitel 5.1 genauer beschrieben, sind die Folgen des Klimawandels höhere Temperaturen, mehr Starkniederschläge, geringere Bodenfeuchte und niedrigere Elbewasserstände in den Sommermonaten. Wir haben nachgewiesen, dass solche Veränderungen der Umweltfaktoren mit einem niedrigeren Bruterfolg korrelieren (Abbildungen 9 und 11). Somit ist davon auszugehen, dass der Klimawandel bei einer gleichbleibenden Anzahl an Weißstorchpaaren zu schlechteren Bruterfolgen führen wird. Denn die Kapazität der Region Prignitz, Weißstorchpaare und ihre Jungen zu „versorgen“, wird durch die negative Veränderung der Umweltfaktoren und einer damit einhergehenden geringeren Nahrungsvfügbarkeit vermutlich verringert. Die Durchschnittswerte des Gesamtbruterfolges ($JZa = 1,48$) und Teilbruterfolges ($JZm = 2,19$) der letzten 7 Jahre waren in Bezug auf den Gesamtzeitraum unterdurchschnittlich niedrig. Als generelle „Faustregel“ geht man davon aus, dass bei einem Gesamtbruterfolg (JZa) von 2 Jungen pro Weißstorchpaar eine Population stabil bleibt (Thomsen

et al. 2001), ein Wert der in der Prignitz seit 2013 nicht erreicht wurde. Möglicherweise bewegen wir uns also in der Prignitz bereits im Bereich der oben genannten Kapazitätsgrenze.

Die Entwicklung der Weißstorchpopulation hängt jedoch nicht nur vom Bruterfolg, sondern auch sehr stark von anderen Populationseffekten ab. Die Überlebensrate der adulten (brutfähigen) Weißstörche hat sich als der wesentlichste und zugleich dynamischste Faktor bei der Bestandsentwicklung erwiesen (Bairlein 1991; Dallinga, Schoenmakers 1989; Kanyamibwa et al. 1993; Schaub et al. 2006; Schimkat 2008). Aber auch Migration zwischen Populationen beeinflusst den Langzeitverlauf der Weißstorchpopulation (Thomsen et al. 2017). Die hier analysierten Weißstorchhorste befinden sich am Rand der überregionalen ostziehenden Population, die

ihr zentrales Verbreitungsgebiet in Osteuropa hat und dort bisher höhere Bruterfolge (bis zu 2,6 JZa) aufgrund von besserer Nahrungsverfügbarkeit erzielt (Schimkat, Eggers 2017b). Die Elbe-Teilpopulation in der Prignitz hätte sich ohne Zuzug aus den naheliegenden osteuropäischen Gebieten in den letzten 53 Jahren wahrscheinlich nicht vergrößert (Schimkat, Eggers 2017b). Doch durch die zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft in Osteuropa und der in diesem Zusammenhang zu erwartende Rückgang der dortigen Weißstorchpopulation macht einen weiteren Zuzug aus Osteuropa ungewiss. Stattdessen könnte in Zukunft eventuell ein Zuzug von westziehenden Störchen den Bestand in der Prignitz erhalten oder vergrößern. Denn die deutsche westziehende Population hat sich seit 2007 verfünffacht und breitet sich von Südwestdeutschland nach Ostdeutschland aus (Abbildung 2).



Foto 11: Storchhorste mit vier Jungen könnten zukünftig ein seltener Anblick sein.

6 Maßnahmenvorschläge für eine Verbesserung des Bruterfolges

Der Rückgang des Teilbruterfolges in den letzten 53 Jahren von circa $-0,47$ Jungen (95%-KI: $-0,73$ bis $-0,12$), der schlechte Bruterfolg der letzten 7 Jahre und der aufgrund des Klimawandels zu erwartende schlechtere zukünftige Bruterfolg, zeigen den dringenden Handlungsbedarf für den Weißstorchschutz auf. Als Kerngebiet mit einer der höchsten Siedlungsdichten in Deutschland hat die Elbregion eine besondere Verantwortung für den Weißstorchschutz (Thomsen et al. 2001). Die Sicherung der Nahrungsverfügbarkeit und der generelle Nahrungsraumschutz in den Brutgebieten des Weißstorchs sollten an oberster Stelle stehen. Unsere Ergebnisse deuten auf einen positiven Zusammenhang zwischen dem Teilbruterfolg und den Faktoren Bodenfeuchte und Elbwasserstand hin. Daher sind vor allem Maßnahmen zur Förderung der Bodenfeuchte (Regenwürmer), Sicherung von Feuchtgrünland (Insekten) und trockenheitsresistente Laichgewässer (Amphibien) von zentraler Bedeutung.

Das bisherige Wassermanagement war und ist jedoch ausschließlich an den jeweiligen menschlichen Nutzungserfordernissen ausgerichtet. Infolge der intensiven Eingriffe in das Laufgeschehen der Elbe und ihrer Nebenflüsse sowie den Ausbau von Ent- und Bewässerungssystemen wurde der Wasserrückhalt in der Landschaft reduziert, sodass das verfügbare Wasser schnell aus der Landschaft abgeführt wird. In Verbindung mit den Auswirkungen des Klimawandels, wie häufiger auftretenden Trockenheitsphasen und Starkregenereignissen mit erhöhten Oberflächenabflüssen, werden die in den letzten Jahren bereits beobachteten Wasserdefizite verstärkt. Daher sind weitreichende Maßnahmen zur Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes erforderlich. Dazu zählen in erster Linie der Rückbau von Entwässerungseinrichtungen, wie Gräben, Verrohrungen und Drainagen, für deren Erhalt kein Bedarf mehr besteht. In den Gräben, die weiterhin für eine Abflussregulierung erforderlich sind, ist das Stauregime auf einen effektiven Wasserrückhalt auszurichten. Durch die flächige Erhöhung von Grabensohlen oder den partiellen Einbau von Sohlschwellen können tolerierbare Mindeststauziele definiert und sichergestellt werden. Hohe Wasserstände im Frühjahr sind entgegen der jetzigen Praxis möglichst lange zurückzuhalten, um

die negativen Auswirkungen der sommerlichen Trockenperioden auf die grundwasserabhängigen Ökosysteme und landwirtschaftlichen Nutzflächen abzuschwächen. In der Landwirtschaft bestehen Potentiale durch eine standortangepasste Kultur- und Sortenwahl sowie eine standortangepasste Bodenbearbeitung für den Erhalt und die Förderung der Wasseraufnahmefähigkeit der Böden. Dies schließt verdunstungsreduzierende Maßnahmen, wie die Etablierung von Agroforstsystemen, Feldgehölzen und Hecken mit ein. Eine hohe Bedeutung für die Landschaft hat auch die Revitalisierung von Kleingewässern, Mooren sowie anmoorigen und mineralischen Nasssenken in ihrer Funktion als Zwischenspeicher und Kleinklimaregulatoren. Konkrete Vorschläge zum Wasserrückhalt für große Bereiche in der Lenzer Wische wurden zum Beispiel von Wilkens (2021) vorgelegt.



Foto 12: Ein Storch versorgt seine Jungtiere mit Wasser.

Thomsen et al. (2001) beschreiben einen generellen deutschlandweiten Aktionsplan zum Weißstorchschutz mit einer umfassenden Übersicht über weitere wichtige Maßnahmen. Um eine hohe Nahrungsverfügbarkeit in der Prignitz zu garantieren, gehören die Erhaltung und die Etablierung von extensiv genutztem Dauergrünland und ein auf den Storch angepasstes Mahdprogramm zu den wichtigsten Maßnahmen. Grünland ist die wichtigste Nahrungsfläche für den Weißstorch und macht ein Viertel der landwirtschaftlichen Fläche in der Prignitz aus (Landkreis Prignitz 2022). Doch die Funktion von Grünland als Nahrungsgebiet des Weißstorchs verschlechtert sich zunehmend. Gründe dafür sind Umbruch von Dauergrünland zu Ackerflächen,

Verlust von Stilllegungsflächen, vermehrter Anbau von Energiepflanzen und eine generelle Intensivierung der Landwirtschaft (Johst et al. 2001, Senra et al. 1992, Wuczyński et al. 2021). Mit der Erhaltung von bestehendem Grünland, Etablierung neuer Grünlandflächen und einer Reduzierung der Nutzungsintensität könnte dem negativen Trend der letzten Dekaden entgegengewirkt werden.

Besonders frisch gemähtes Grünland ist eine hervorragende Nahrungsfläche für Störche, da hier Kleintiere wie Regenwürmer und Insekten mit wenig Aufwand erbeutet werden können (Golawski, Kasprzykowski 2021). Gerade Jungstörche sind in ihren ersten Wochen auf

diese Nahrung angewiesen. Jedoch ist es gängige Praxis Grünlandbereiche einmalig großflächig zu mähen, sodass diese wichtige Nahrungsquelle nicht durchgängig während des Brutzeitraums zur Verfügung steht. Ein Vorschlag wäre, Grünland kleinflächig (etwa 6 Hektar große Bereiche) in einem 2-wöchigen Rhythmus zu mähen. Dies würde eine ständige Verfügbarkeit von Kleintieren auf frisch gemähten Flächen im Brutgebiet garantieren. Eine naturverträgliche Mahd, zum Beispiel mit Balkenmähern, hätte weitere positive Effekte auf die Biodiversität im Grünland vor allem auch für Amphibien, die das Grünland in Sommermonaten als Habitat benutzen (Van de Poel, Zehm 2014).

7 Fazit

Anhand dieser Studie ist erkennbar, dass die hier betrachteten im Brutgebiet wirkenden Umweltfaktoren (Temperatur, Niederschlagsmenge pro Tag, Elbwasserstand, Oberbodenfeuchte und Gesamtbodenfeuchte) vor allem im Zusammenhang mit dem Teilbruterfolg stehen. Dabei erklären die Umweltfaktoren 24 % der zwischenjährigen Varianz. Daraus ist zu schließen, dass die Umweltfaktoren zwar bedeutend für den Teilbruterfolg sind, aber weitere Faktoren eine Rolle spielen. Diese Faktoren müssten weiter erforscht werden und könnten zum Beispiel Landnutzungsveränderungen und Fluktuationen in Beutetierpopulationen sein. Der Rückgang des Bruterfolges in den letzten Jahrzehnten, besonders in der letzten Dekade, und die zukünftigen extremeren und trockeneren Bedingungen im Brutgebiet aufgrund des Klimawandels, verschlechtern die Bedingungen für erfolgreiche Weißstorchbruten in der

Prignitz. Die wichtigsten Maßnahmen zur Erhaltung hoher Nahrungsverfügbarkeit und damit guter Bruterfolge sind Maßnahmen, die Wasser in der Landschaft halten (Renaturierung von Gewässern, Rückbau von Entwässerungseinrichtung, Moorvernässung, standortangepasste trockenheitsresiliente Landwirtschaft, Etablierung von Agroforstsystemen), Erhaltung und Ausbau von extensiv genutzten Grünlandflächen sowie eine kleinflächige und zeitlich asynchrone, naturverträgliche Mahd. All diese Maßnahmen wären nicht nur vorteilhaft für den Weißstorch, sondern für das gesamte Feuchtgebietsökosystem. Weiterhin ist die Fortführung eines kontinuierlichen Monitoringprogramms des Weißstorches unbedingt notwendig, um zukünftige Veränderungen abschätzen und die Effektivität von Maßnahmen evaluieren zu können.

Danksagung

Für die Aufnahme und Bereitstellung der Monitoring Daten über den gesamten 53-jährigen Betrachtungszeitraum sei an dieser Stelle ganz herzlich der gesamten Fachgruppe Ornithologie des NABU-Kreisverbandes Prignitz gedankt. Unser Dank gilt auch Carsten Linke, Meike Dorfner und Jens Kirchner vom Landesamt für Umwelt Brandenburg für die Bereitstellung und Aufarbeitung der

Wetter- und Klimadaten. Die Mitarbeiter Oliver Krause und Martina Grade aus der Biosphärenreservatsverwaltung haben bei der Datenaufbereitung unterstützt. Fränzi Korner-Nievergelt und Leon Kerger haben uns dankenswerterweise bei der statistischen Auswertung der Daten beraten.

Literaturverzeichnis

- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2019):** Statistischer Bericht C I 1 – j/19. Bodennutzung der landwirtschaftlichen Betriebe im Land Brandenburg, endgültiges Ergebnis. Potsdam. https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/BBSerie_mods_00000173.
- Bairlein F. (1991):** Population studies of White storks (*Ciconia ciconia*) in Europe. Bird population studies. 207–229.
- BirdLife International (2015):** *Ciconia ciconia* – Detailed species account from European Red List of Birds BirdLife International. (http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/Species/erlob/summarypdfs/22697691_ciconia_ciconia.pdf)
- Blüml V. (2017):** Gefährdung. In: Der Weißstorch. Die Neue Brehm-Bücherei: 421–466.
- BMDV (2020):** Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge. Schlussbericht des Schwerpunktes Schiffbarkeit und Wasserbeschaffenheit (SP-106) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI-Expertennetzwerk Wissen Können Handeln). <https://doi.org/10.5675/ExpNNE2020.2020.07>.
- Burnhauser A. (1983):** Zur ökologischen Situation des Weißstorchs in Bayern: Brutbestand, Biotopansprüche, Schutz und Möglichkeiten der Bestandserhaltung und -verbesserung. Institut für Vogelkunde, Garmisch-Partenkirchen.
- Carrascal L.M., Bautista L.M., Lázaro E. (1993):** Geographical variation in the density of the White Stork *Ciconia ciconia* in Spain: influence of habitat structure and climate. Biological conservation 65(1): 83–87.
- Creutz G. (1988):** Der Weiß-Storch. Die Neue Brehm-Bücherei. 375. Wittenberg Lutherstadt: A Ziemsen Verlag.
- Dahms G., Eggers H. (2008):** Weißstorch-Forschung in Südfrankreich und Spanien zur Zug- und Überwinterungszeit von 2001 bis 2004. In: 3. Jubiläumsband Weißstorch. Tagungsbandreihe des Storchenhofes Loburg: 89–95.
- Dalbeck L. (2020):** A review of the influence of beaver *Castor fiber* on amphibian assemblages in the floodplains of European temperate streams and rivers. Herpetological Journal (Volume 30, Number 3): 135–146. DOI: 10.33256/hj30.3.135146
- Dallinga J., Schoenmakers S. (1989):** Population changes of the White Stork *Ciconia ciconia* since the 1850s in relation to food resources. Schriftenreihe des Dachverbandes Deutscher Avifaunisten 10: 231–262.
- Denac D. (2006):** Resource-dependent weather effect in the reproduction of the White Stork *Ciconia ciconia*. ARDEA-WAGENINGEN- 94(2): 233.
- Dorfner M. (2020):** Klimamodellergebnisse für die Region Brandenburg-Berlin (Unveröffentlichter Bericht). Landesamt Für Umwelt Brandenburg, Referat T14
- Dziewiaty K. (2005):** Nahrungserwerbsstrategien, Ernährungsökologie und Populationsdichte des Weißstorchs – untersucht an der Mittleren Elbe und im Drömling (Dissertation) Ad fontes Verlag, Hamburg.
- Dziewiaty K. (2017):** Lebensraum und Nahrungsökologie. In: Der Weißstorch. Die Neue Brehm-Bücherei.

- Edwards C.A., Arancon N.Q. (2022):** The Influence of Environmental Factors on Earthworms. In: C. A. Edwards, N. Q. Arancon (Hrsg.): *Biology and Ecology of Earthworms*. Springer US. New York, NY: 191–232. https://doi.org/10.1007/978-0-387-74943-3_7.
- Eggers U., Arens M. et al. (2015):** To fledge or not to fledge: factors influencing the number of eggs and the eggs-to-fledglings rate in White Storks *Ciconia ciconia* in an agricultural environment. *Journal of Ornithology* 156(3): 711–723.
- Fretwell S.D., Lucas H.L. (1969):** On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds. *Acta Biotheoretica* 19(1): 16–36. DOI: 10.1007/BF01601953
- Gerstengarbe F.-W., Werner P.C. et al. (2005):** Simulationsergebnisse des regionalen Klimamodells STAR. In: *Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet*. Weißensee Verlag: 110–118.
- Golawski A., Kasprzykowski Z. (2021):** Alternative foraging strategies in the White Stork *Ciconia ciconia*: The effect of mowing meadows. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 319: 107563. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107563
- Goldsmith F.B. (2012):** *Monitoring for Conservation and Ecology*. Springer Science & Business Media: S. 286.
- Graham M.H. (2003):** Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology* 84(11): 2809–2815.
- Griffiths R.A. (1997):** Temporary ponds as amphibian habitats. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 7(2): 119–126. DOI: 10.1002/(SICI)1099-0755(199706)7:2<119::AID-AQC223>3.0.CO;2-4
- Hofmüller U. (2001):** Zur Brutbiologie des Weißstorchs – Ergebnisse einer Diplomarbeit. In: 2. Jubiläumsband Weißstorch. Tagungsbandreihe des Storchenhofes Loburg: 284–289.
- Holsten A., Vetter T. et al. (2009):** Impact of climate change on soil moisture dynamics in Brandenburg with a focus on nature conservation areas. *Ecological Modelling* 220(17): 2076–2087.
- Hughes B.B., Beas-Luna R. et al. (2017):** Long-Term Studies Contribute Disproportionately to Ecology and Policy. *BioScience* 67(3): 271–281. DOI: 10.1093/biosci/biw185
- Johst K., Brandl R., Pfeifer R. (2001):** Foraging in a Patchy and Dynamic Landscape: Human Land Use and the White Stork. *Ecological Applications* 11(1): 60–69. DOI: 10.1890/1051-0761(2001)011[0060:FIAPAD]2.0.CO;2
- Jovani R., Tella J.L. (2004):** Age-related environmental sensitivity and weather mediated nestling mortality in white storks *Ciconia ciconia*. *Ecography* 27(5): 611–618.
- Kanyamibwa S., Bairlein F., Schierer A. (1993):** Comparison of survival rates between populations of the White Stork *Ciconia ciconia* in Central Europe. *Ornis Scandinavica*. 297–302.
- Kanyamibwa S., Schierer A. et al. (1990):** Changes in adult annual survival rates in a western European population of the White Stork *Ciconia ciconia*. *Ibis* 132(1): 27–35.
- Kosicki J., Sparks T., Tryjanowski P. (2004):** Does arrival date influence autumn departure of the White Stork *Ciconia ciconia*? *Ornis Fennica* 81.2: 91–95.
- Kosicki J.Z. (2012):** Effect of weather conditions on nestling survival in the White Stork *Ciconia ciconia* population. *Ethology Ecology & Evolution* 24(2): 140–148. DOI: 10.1080/03949370.2011.616228
- Lakeberg H. (1995):** Zur Nahrungsökologie des Weißstorchs *Ciconia ciconia* in Oberschwaben (S-Deutschland): Raum-Zeit-Nutzungsmuster, Nestlingsentwicklung und Territorialverhalten. Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg.
- Landkreis Prignitz (2022):** Der ländliche Raum – Wirtschaftsfaktor Landwirtschaft. https://www.landkreis-prignitz.de/de/wirtschaft/landwirtschaft/laendlicher_raum.php (abgerufen am 01.11.2022)
- Linke C. (2021):** Abfrageergebnis zur Entwicklung der mittleren Temperatur und dem Vegetationsbeginn in Brandenburg Artikel 4, Abfrage durch Linda Jaworski (Mitarbeiterin des Biosphärenreservates Flusslandschaft Elbe Brandenburg, Referentin für Forschung und Monitoring).
- Lüdecke D. (2022):** sjPlot: Data visualization for statistics in social science (R package version 2.8.11) URL: <https://CRAN.R-project.org/package=sjPlot>.
- Ludwig B. (2008):** Die Bestandsentwicklung des Weißstorches (*Ciconia ciconia*) im Bundesland Brandenburg in den Jahren 1964 bis 2005. In: 3. Jubiläumsband Weißstorch. Tagungsbandreihe des Storchenhofes Loburg: 126–142.

- Massemin-Challet S., Gendner J.-P. et al. (2006):** The effect of migration strategy and food availability on White Stork *Ciconia ciconia* breeding success. *Ibis* 148(3): 503–508. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2006.00550.x
- Meybohm E. (1996):** Über den Zusammenhang von Ankunft, Wetter und Bruterfolg beim Weißstorch (*C. ciconia*). In: 1. Jubiläumsband Weißstorch. Tagungsbandreihe des Storchenhofes Loburg: 77–80.
- Meybohm E., Dahms G. (1975):** Über Altersaufbau, Reifealter und Ansiedlung beim Weißstorch (*C. ciconia*) im Nordsee-Küstenbereich. *Vogelwarte* 32(1): 44–61.
- Moritzi M., Maumary L. et al. (2001):** Time budget, habitat use and breeding success of White Storks *Ciconia ciconia* under variable foraging conditions during the breeding season in Switzerland. *Ardea* 89(3): 457–470.
- Neuschulz F., Plinz W., Wilkens H. (1994):** Elbtalau: Landschaft am grossen Strom: Natur-Reiseführer durch eine idyllische Flussauenlandschaft im Norden Deutschlands Naturerbe-Verlag Jürgen Resch.
- Niethammer J., Krapp F. (1982):** *Microtus arvalis* – Feldmaus. In: Handbuch der Säugetiere Europas, Bd. 2. Akad. Verlagsges. Wiesbaden.:
- Nilson E., Krahe P. et al. (2014):** Auswirkungen des Klimawandels auf das Abflussgeschehen und die Binnenschifffahrt in Deutschland. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde (KLIWAS Schriftenreihe, 43/2014). https://doi.org/10.5675/Kliwas_43/2014_4.01.
- Pfeifer S., Bathiany S., Rechid D. (2021):** Klimaausblick Prignitz. Climate Service Center Germany (GERICS), eine Einrichtung der Helmholtz-Zentrum hereon GmbH. URL: <https://www.gerics.de/klimaausblick-landkreise>.
- Profus P. (2006):** Population changes and breeding ecology of the White stork *Ciconia ciconia* L. *Synth Studia Nat* 50: 1–155.
- Profus P. (1986):** Zur Brutbiologie und Bioenergetik des Weißstorchs in Polen. *Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg* 43: 205–220.
- R Core Team (2021):** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Robinson N.M., Scheele B.C. et al. (2018):** How to ensure threatened species monitoring leads to threatened species conservation. *Ecological Management & Restoration* 19(3): 222–229. DOI: 10.1111/emr.12335
- RStudio Team (2021):** RStudio: integrated development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com>
- Savopoulou-Soultani M., Papadopoulos N.T. et al. (2012):** Abiotic Factors and Insect Abundance. *Psyche: A Journal of Entomology* 2012: e167420. DOI: 10.1155/2012/167420
- Schaub M., Kania W., Köppen U. (2006):** Die Überlebensraten ostdeutscher und polnischer Weißstörche hängen von der Primärproduktion im Sahel ab. In: *Die Vogelwarte: Band 44*.
- Schaub M., Kania W., Köppen U. (2005):** Variation of primary production during winter induces synchrony in survival rates in migratory white storks *Ciconia ciconia*. *Journal of Animal ecology* 74(4): 656–666.
- Schimkat J. (2008):** Untersuchungen zum durchschnittlichen Erstbrutalter ostziehender Weißstörche (*Ciconia ciconia*). In: 3. Jubiläumsband Weißstorch. Tagungsbandreihe des Storchenhofes Loburg: 334–342.
- Schimkat J., Eggers U. (2017a):** Demografische Kenngrößen von Weißstorchpopulationen. In: *Der Weißstorch. Die Neue Brehm-Bücherei*: 206–237.
- Schimkat J., Eggers U. (2017b):** Populationsökologie. In: *Der Weißstorch. Die Neue Brehm-Bücherei*: 206–237.
- Schulz H. (2003):** Rast- und Überwinterungsgebiete westziehender Weißstörche (*C. ciconia*) in Europa und Afrika „Storch Schweiz“ (Schweiz. Gesellsch. für den Weißstorch). (<https://docplayer.org/44286482-Rast-und-ueberwinterungsgebiete-westziehender-weissstoerche-c-ciconia-in-europa-und-afrika.html>)
- Schüz E. (1952):** Zur Methode der Storchforschung. *Beitr. Vogelkunde* 2: 287–298.
- Senra A., Alés E. E. (1992):** The decline of the white stork *Ciconia ciconia* population of western Andalusia between 1976 and 1988: causes and proposals for conservation. *Biological conservation*, 61(1), 51–57.

- Thomsen K.-M., Dziwiaty K., Schulz H. (2001):** Zukunftsprogramm Weißstorch: Aktionsplan zum Schutze des Weißstorchs in Deutschland NABU.
- Thomsen K.-M., Kaatz C. et al. (2017):** Verbreitung und Bestand. In: Der Weißstorch. Die Neue Brehm-Bücherei: 148–204.
- Tilman D. (1989):** Ecological Experimentation: Strengths and Conceptual Problems. In: G. E. Likens (Hrsg.): Long-Term Studies in Ecology: Approaches and Alternatives. Springer. New York, NY: 136–157. (https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7358-6_6).
- Trommer G., Noak R., Nettke T. (1999):** Auenmappe Flusslandschaft Elbe zur Verbesserung der Naturschutzakzeptanz durch Bildung und Öffentlichkeitsarbeit. J.W. Goethe-Universität Frankfurt/M.
- Tryjanowski P., Sparks T.H. et al. (2004):** Do White Storks *Ciconia ciconia* always profit from an early return to their breeding grounds? Bird Study 51(3): 222–227. DOI: 10.1080/00063650409461357
- Tsachalidis E.P., Liordos V., Goutner V. (2005):** Growth of white stork *Ciconia ciconia* nestlings. Ardea 93(1): 133–137.
- Van de Poel D., Zehm A. (2014):** Die Wirkung des Mähens auf die Fauna der Wiesen – Eine Literaturlauswertung für den Naturschutz. – ANLiegen Natur 36(2): 36–51, Laufen, www.anl.bayern.de/publikationen.
- Vergara P., I. Aguirre J., Fernández-Cruz M. (2007):** Arrival date, age and breeding success in white stork *Ciconia ciconia*. Journal of Avian Biology 38(5): 573–579. DOI: 10.1111/j.2007.0908-8857.03983.x
- Welti E.A.R., Zajicek P. et al. (2022):** Temperature drives variation in flying insect biomass across a German malaise trap network. Insect Conservation and Diversity 15(2): 168–180. DOI: 10.1111/icad.12555
- Wickham H. (2016):** ggplot2: elegant graphics for data analysis Second edition. Springer. Switzerland: 260 S.
- Wickham H., Francois R. et al. (2021):** dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.0.7. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.
- Wikelski M., Quetting M. et al. (2021):** Smell of green leaf volatiles attracts white storks to freshly cut meadows. Scientific Reports 11(1): 12912. DOI: 10.1038/s41598-021-92073-7
- Wilkens H. (2021):** Naturschutz in Flutpoldern – eine Chance für den Lößnitz-Rückstauraum (UNESCO-Biosphärenreservat „Flusslandschaft Elbe“). Natur und Landschaft, H. 5: 245–253.
- Wróbel A., Bogdziewicz M. (2015):** It is raining mice and voles: which weather conditions influence the activity of *Apodemus flavicollis* and *Myodes glareolus*? European Journal of Wildlife Research 61(3): 475–478. DOI: 10.1007/s10344-014-0892-2
- Wuczyński A., Krogulec G., Jakubiec Z., Profus P., Neubauer G. (2021):** Population size and spatial distribution of the white stork *Ciconia ciconia* in Poland in 1958 with insights into long-term trends in regional and global population. The European Zoological Journal, 88(1), 525–539.
- Zink M., Samaniego L. et al. (2016):** The German drought monitor. Environmental Research Letters 11(7): 074002.
- Zurell D., Eggers U. et al. (2015):** Individual-based modelling of resource competition to predict density-dependent population dynamics: a case study with white storks. Oikos 124(3): 319–330.

Datenursprungsverzeichnis

Bestandsdaten aus Ost- und Westdeutschland (Abbildung 2)

Daten der Jahre 1934, 1974–1995: Kaatz, C. 1996, Tendenzen der Bestandsentwicklung beim Weißstorch international, im östlichen und westlichen Deutschland [...], Seite 69 und 71. - In: Kaatz, C. und M. (Hrsg.) (1996): Jubiläumsband Weißstorch, Tagungsbandreihe des Storchenhofes Loburg im MRLU-LSA, 3. Tagungsband 1996.

Schätzung für 1934: Dornbusch 1987, Der Weißstorch in der Deutschen Demokratischen Republik, 34, Seite 281–288 (indirekte Referenz aus: Kaatz, C. und M. (Hrsg.) (1996): Jubiläumsband Weißstorch, Seite 69)

Daten der Jahre 1958–1965: Thomson (2017): Verbreitung und Bestand, Seite 198 und 199. – In: Kaatz, C., D. Wallschläger, K. Dziewiaty & U. Eggers (Hrsg.) (2017): Der Weißstorch. NBB 682. VerlagsKG Wolf. Magdeburg: 99–147.

Daten der Jahre 1996–2020: Mitteilungsblätter (96–113) der BAG Weißstorchschutz; abgerufen am 15.07.22 (<https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/voegel/aktivaeten/bfa-ornithologie/02755.html>).

Umweltdaten

Temperatur (TMK = Tagesmittel der Temperatur in °C)

DWD Climate Data Center (CDC) (2021a): Historische tägliche Stationsbeobachtungen (Temperatur, Druck, Niederschlag, Sonnenscheindauer, etc.) für Deutschland, Version v21.3, 2021. Station Seehausen (ID: 4642) und Station Weisen (ID: 5431); abgerufen am 25.07.2022 (https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/historical).

Niederschlag (RSK = tägliche Niederschlagshöhe in mm)

DWD Climate Data Center (CDC) (2021b): Historische tägliche Niederschlagsbeobachtungen für Deutschland, Version v21.3, 2021. Station Seehausen (ID: 4642); abgerufen am 25.07.2022 (https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/historical).

Bodenfeuchte (SMI = Soil Moisture Index)

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ-Dürremonitor. Historische Soil Moisture Index Daten des Oberbodens und Gesamtbodens, abgerufen am 24.03.2022 (<https://www.ufz.de/index.php?de=37937>)

Wasserstand der Elbe (Tagesmittel in cm)

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU), dl-de/by-2-0, Auskunftsplattform Wasser (APW): Oberflächenwasser/Wassermenge/Hydrologischer Wochenbericht, Messstelle: Wittenberge, Pegel-Nr.: 5030500, Gewässer: Elbe; abgerufen am 25.07.2022 (<https://apw.brandenburg.de/>).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Die wichtigsten Zugrouten des Weißstorchs in Europa.	9
Abbildung 2:	Weißstorchbrutpaare in Ost- und Westdeutschland für die Jahre 1934, 1958, 1965, 1974 und 1983 bis 2020.	10
Abbildung 3:	Lage der Storchenhorste in der Prignitz im Jahre 2020.	11
Abbildung 4:	Die Bestandsparameter (HPa, HPm, HPo% und JZG) der Weißstorchpopulation in der Prignitz zwischen 1970 und 2022.	14
Abbildung 5:	Die dem Bruterfolg zugrundeliegende Verteilung der Anzahl an gezählten flüggen Jungen in Weißstorchhorsten in der Prignitz im Zeitraum 1970–2022.	14
Abbildung 6:	Gesamt- und Teilbruterfolg der Weißstorchpaare in der Prignitz zwischen 1970–2022.	15
Abbildung 7:	Beispielhafte Einteilung der Brutsaison in Ostdeutschland in vier Phasen (adaptiert von Hofmüller 2001).	16
Abbildung 8:	Korrelation zwischen dem Anteil der erfolgreicher Paare (HPm%) und Umweltfaktoren.	23
Abbildung 9:	(A) Anteil der erfolgreichen Paare in Abhängigkeit der Hauptkomponente 2 und (B) Einfluss der Umweltfaktoren und der Zeit in der Hauptkomponente 2.	24
Abbildung 10:	Korrelation zwischen dem Teilbruterfolg (JZm) und Umweltfaktoren.	25
Abbildung 11:	(A) Teilbruterfolg in Abhängigkeit der Hauptkomponente 1 und (B) Einfluss von Umweltfaktoren und Jahr auf die Hauptkomponente 1.	26
Abbildung 12:	Unterschiede im Teilbruterfolg (JZm) zwischen elbnahen und elbfernen Weißstörchen aufgeteilt in Brutsaisons mit und ohne Hochwasserereignis.	27
Abbildung 13:	Korrelation zwischen dem Teilbruterfolg und dem durchschnittlichen Elbwasserstand von elbnahen und elbfernen Störchen aufgeteilt in Brutsaisons mit und ohne Hochwasserereignis.	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisübersicht des linearen Modells vom Anteil erfolgreicher Paare in Abhängigkeit der Hauptkomponenten.	24
Tabelle 2:	Ergebnisübersicht des Linearen Modells vom Teilbruterfolg in Abhängigkeit der Hauptkomponenten.	26

Ergänzendes Material

Tabelle I: Unterliegenden Daten der Abbildung 2. Weißstorchbrutpaare (HPa) in Deutschland aufgetrennt in Ost- und Westdeutschland für die Jahre 1934, 1958, 1965, 1974 und 1983 bis 2020. HPa = Weißstorchpaare die sich in der ersten Hälfte der Brutsaison mindestens 4 Wochen am Horst aufhielten. Weißstorchpaare, die zugefüttert werden sind hier nicht enthalten (maximal circa 500 Paare in Gesamtdeutschland). Für 1958, 1965 (in Brandenburg 1966 erfasst) und 1974 sind die Zahlen für Brandenburg (Ostdeutschland) nur die Mindestzahlen, da Brandenburg nicht komplett erfasst wurde. *¹ Ost-West Verteilung ist geschätzt nach Dornbusch (1987); *² Daten für Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern (Ostdeutschland) nicht erhoben und deswegen interpoliert aus den Jahren 1958 und 1974; *³ Daten für Baden-Württemberg (Westdeutschland) wurden im Jahr 2006 nicht erhoben und im Jahr 2007 nicht vollständig erhoben, somit ist der tatsächliche HPA-Wert wahrscheinlich zwischen 90–300 höher. Datenzusammenstellung aus: 1934, 1974–1995 aus Kaatz und Kaatz (1996); 1958–1965 aus Thomson (2017); 1996–2020 aus BAG-Weißstorchschutz (2004–2021).

Jahr	1934* ¹	1958	1965	1974	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Ostdeutschland	4.628	2.168	2.262* ²	2.928	2.965	2.722	2.562	2.601	2.486	2.428	2.684	2.764	2.640	2.634
Westdeutschland	4.372	2.508	1.925	1.092	777	649	587	588	555	521	627	596	585	535
Gesamt	9.000	4.671	4.182	4.020	3.742	3.371	3.149	3.189	3.041	2.949	3.311	3.360	3.225	3.169

Jahr	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006* ³
Ostdeutschland	3.150	3.426	3.357	3.631	2.992	3.489	3.505	3.577	3.493	3.386	3.273	3.517	2.796	2.925
Westdeutschland	662	729	706	739	628	793	779	845	797	812	889	965	855	903
Gesamt	3.812	4.155	4.063	4.370	3.620	4.282	4.284	4.422	4.290	4.198	4.162	4.482	3.651	3.828

Jahr	2007* ³	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ostdeutschland	2.917	3.041	2.827	3.002	3.093	3.150	3.160	3.328	3.151	2.937	2.893	2.784	2.766	2.858
Westdeutschland	1.041	1.402	1.561	1.620	1.790	2.047	2.438	2.825	3.001	3.365	3.863	4.181	4.766	5.489
Gesamt	3.958	4.443	4.388	4.622	4.883	5.197	5.598	6.153	6.152	6.302	6.756	6.965	7.532	8.347

Tabelle II: Eigenwerte der Hauptkomponentenanalyse. Die Tabelle beschreibt, wie viel der Gesamtvarianz der Daten durch die einzelnen Hauptkomponenten (PC) erklärt werden.

Statistische Maßzahlen	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Standardabweichung	1,77	1,25	1,12	0,60	0,57	0,48	0,39
Anteil an Varianz	0,45	0,22	0,18	0,05	0,05	0,03	0,02
kumulativer Anteil an Varianz	0,45	0,67	0,85	0,90	0,95	0,98	1,00

Tabelle III: Ladungsmatrix der Hauptkomponentenanalyse. Die Tabelle beschreibt, wie viel jeder Faktor zu einer Hauptkomponente beiträgt. Zahlen gehen von –1 bis 1. Das Vorzeichen zeigt an, ob eine Hauptkomponente positiv oder negativ mit einem Faktor korreliert, je kleiner bzw. größer die Zahl ist desto mehr trägt ein Umweltfaktor zu einer Hauptkomponente bei. Das heißt zum Beispiel die Hauptkomponente 1 (PC1) beschreibt Datenpunkte mit zunehmenden Jahren und Temperatur und abnehmender Bodenfeuchte, Elbepegel und Regen.

Faktor	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Jahr	0,36	–0,28	–0,47	0,42	–0,53	0,33	–0,04
Temperatur	0,36	–0,27	–0,53	–0,09	0,45	–0,56	–0,05
Niederschlagsmenge pro Tag	–0,36	–0,56	0,05	0,23	0,14	0,01	0,69
Regentage über 10 mm von Mai bis Juni	–0,27	–0,63	0,08	–0,47	–0,32	–0,09	–0,44
Elbwasserstand	–0,43	0,31	–0,27	0,14	–0,50	–0,60	0,12
Oberbodenfeuchte	–0,50	–0,04	–0,17	0,53	0,37	0,12	–0,54
Gesamtbodenfeuchte	–0,32	0,19	–0,62	–0,50	0,11	0,44	0,16

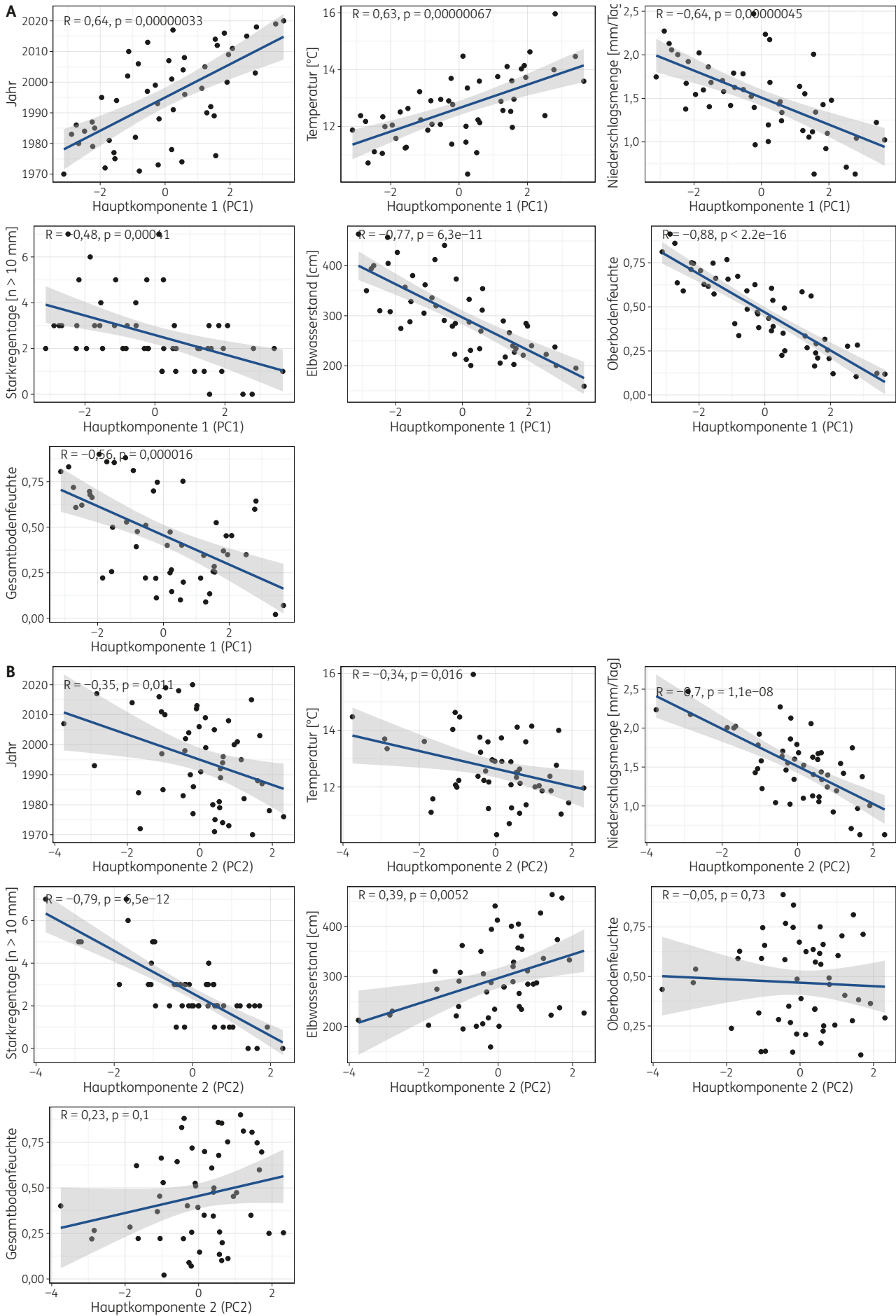


Abbildung I: Jahr und Umweltfaktoren in Abhängigkeit [A] der Hauptkomponente 1 (PC1) und [B] der Hauptkomponente 2 (PC2).

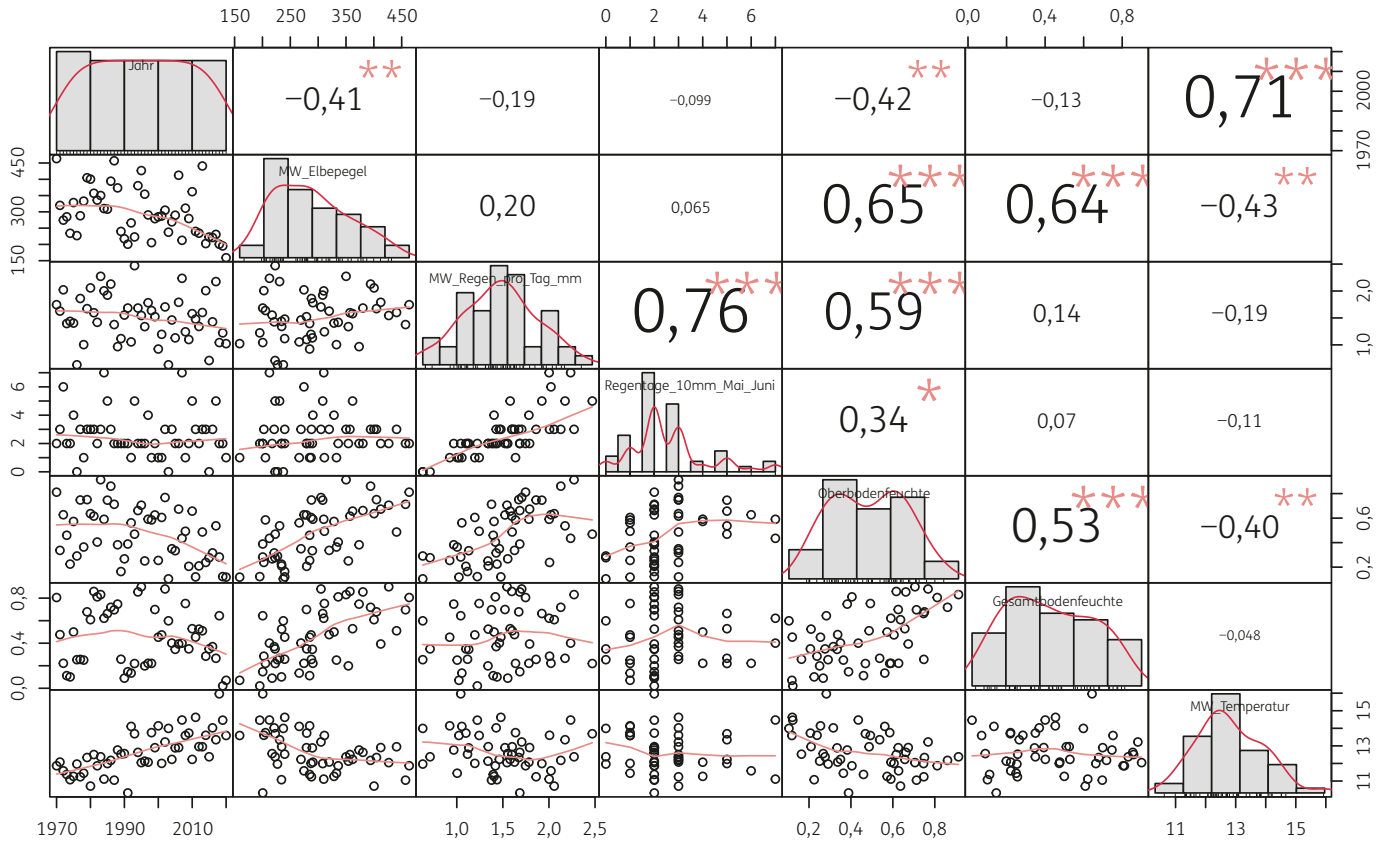


Abbildung II: Korrelationsmatrix der Umweltfaktoren und der Zeit in Jahren (Funktion chart.Correlation aus der package: PerformanceAnalytics).

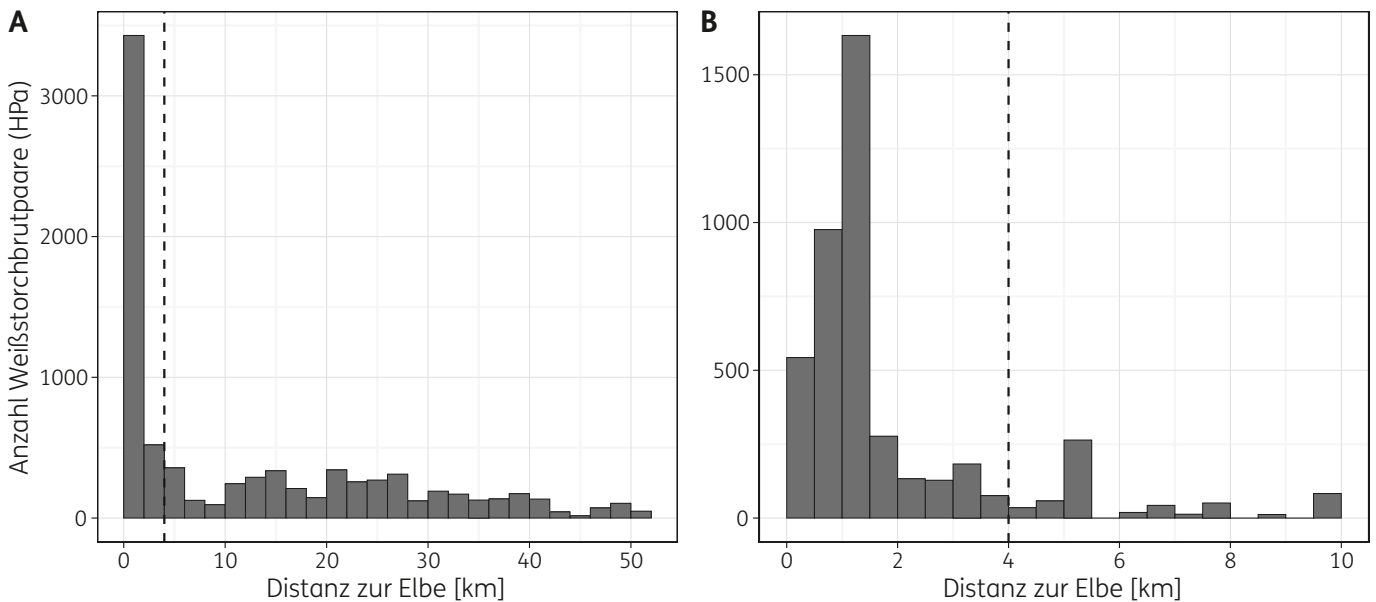


Abbildung III: Anzahl der besetzten Weißstorchhorste zwischen 1970–2022 abhängig von der Distanz zur Elbe (A = alle Horste, B = Horste näher als 10 Kilometer an der Elbe). Die gestrichelte vertikale Linie bei 4 km zeigt die Trennung in elbnahe und elbferne Gruppen auf.

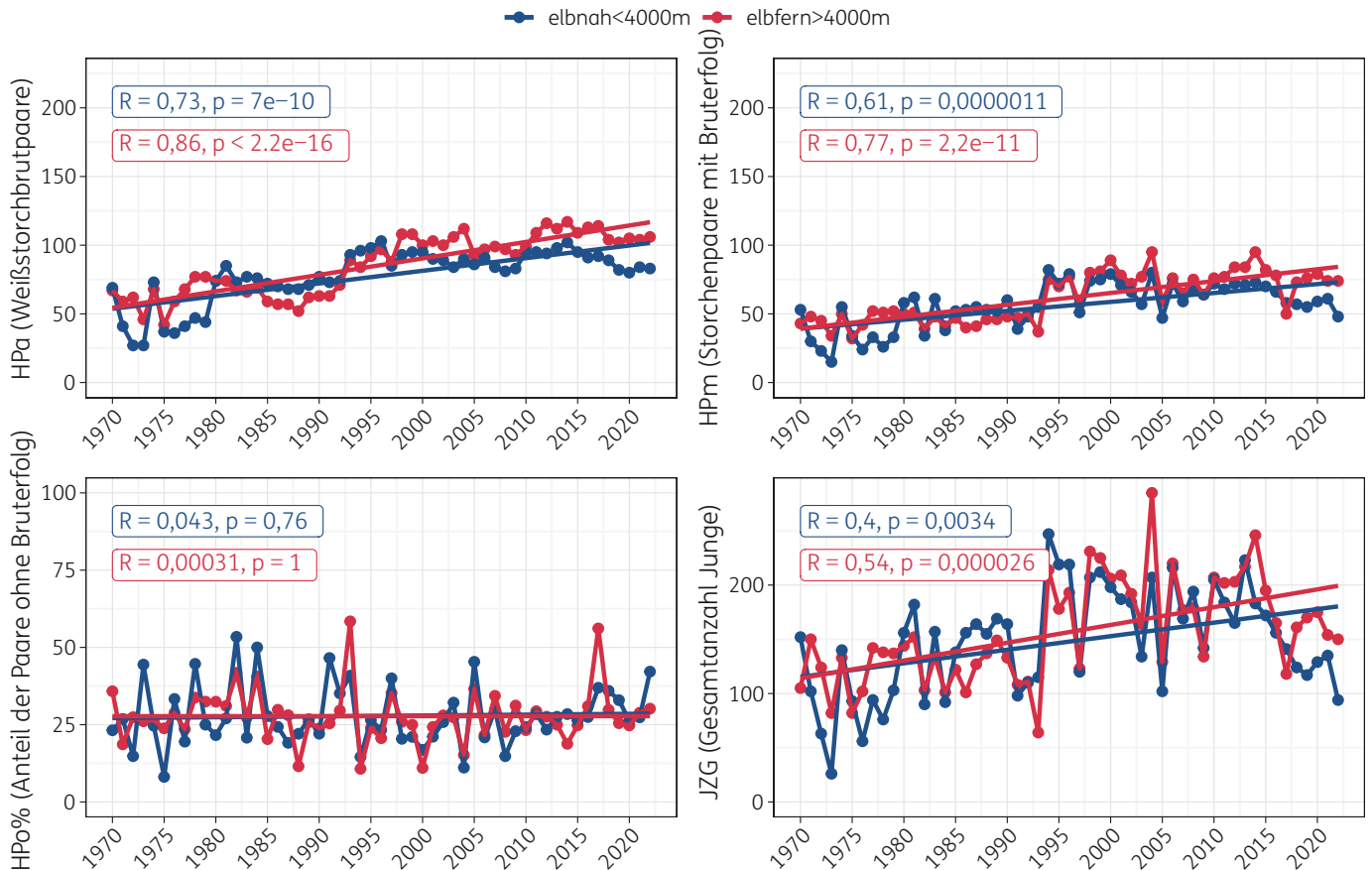


Abbildung IV: Verschiedene Bestandsparameter (HPa, HPm, HPo%, JZG) der elbnahen Horststandorte (blau) und elbfernen Horststandorte (rot) in der Prignitz zwischen 1970 und 2022. Die gerade Linie zeigt die beste Passgenauigkeit für die Daten unter der Annahme, dass es sich um eine lineare Beziehung handelt. Der R- und p-Wert wurden mit dem Pearson-Korrelations-Test berechnet.

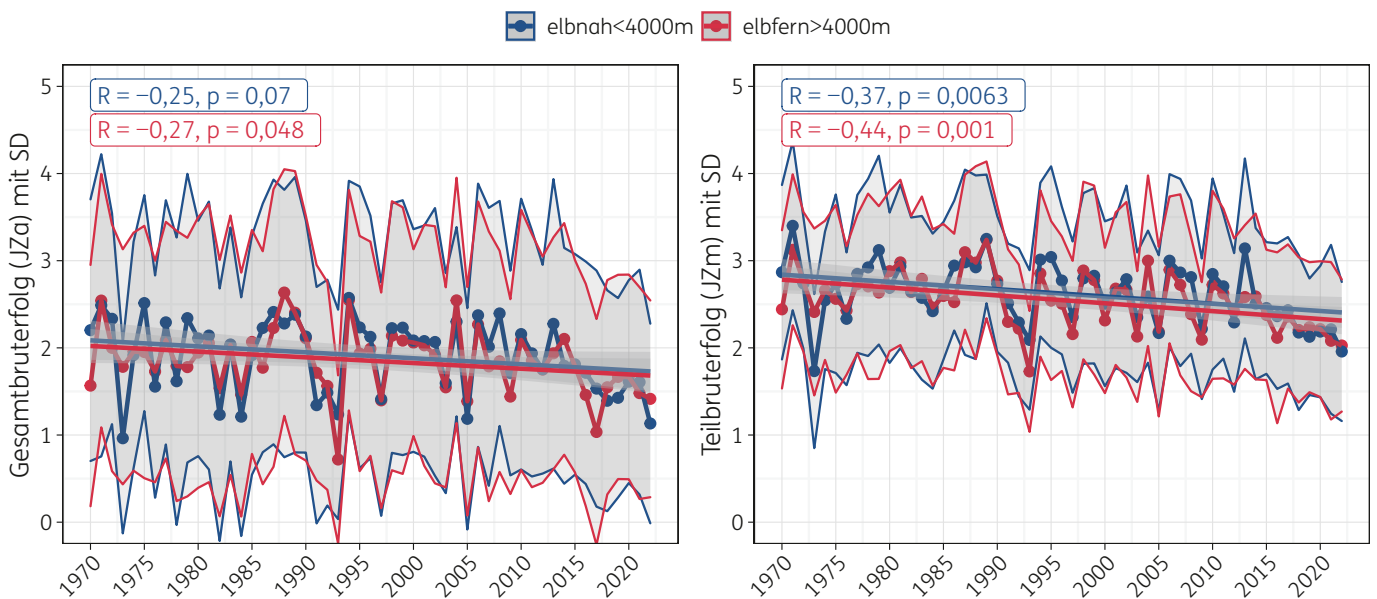


Abbildung V: Gesamtbruterfolg und Teilbruterfolg der elbnahen Horststandorte (blau) und elbfernen Horststandorte (rot) in der Prignitz zwischen 1970–2022. Der Bruterfolg ist die durchschnittliche Anzahl der flüggen Jungen pro Weißstorchpaar, beim Gesamtbruterfolg jeweils aller Weißstorchpaare (HPa) und beim Teilbruterfolg jeweils aller erfolgreichen Weißstorchpaare (HPm; mindestens ein Junges). Das graue Band zeigt die Standardabweichung der jährlichen Mittelwerte, das heißt wie variabel die Anzahl der Jungen zwischen den einzelnen Weißstorchhorsten waren. Die gerade Linie zeigt die beste Passgenauigkeit für die Daten unter der Annahme, dass es sich um eine lineare Beziehung handelt. Der R- und p-Wert wurden mit dem Pearson-Korrelations-Test berechnet.

Impressum

Herausgeber: Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Klimaschutz (MLUK)
Referat Öffentlichkeitsarbeit
Henning-von-Tresckow-Straße 2-13, Haus S, 14467 Potsdam
Telefon: +49 (0)331 866-7237
E-Mail: bestellung@mluk.brandenburg.de
Internet: mluk.brandenburg.de oder agrар-umwelt.brandenburg.de

Redaktion: Landesamt für Umwelt (LfU)
Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe-Brandenburg
Neuhaus 9, 19322 Rühstädt
Telefon +49 (0)38791 8018-10
E-Mail: br-flusslandschaft-elbe@lfu.brandenburg.de
Internet: elbe-brandenburg-biosphaerenreservat.de

Fotos: Titelbild, Drei Storchenhorste auf Dächern in Rühstädt, Lukas Häuser
Seite 8, Storch im Gewässer, Krista Dziewiaty
Seite 12, Verleihung Brandenburger Naturschutzpreis, Marc Thiele
Seite 12, Beringung Hebebühne, Oliver Krause
Seite 13, Beringung Nest, Oliver Krause
Seite 17, Storch mit erbeutetem Frosch, Hans-Dieter Graf
Seite 17, Storch mit erbeutetem Kleinsäuger, Steffen Hollerbach
Seite 17, Storch mit erbeutetem Regenwurm, Steffen Hollerbach
Seite 17, Störche bei der Nahrungssuche auf frisch gemähtem Grünland, Jan Schormann
Seite 19, Störche auf einer überfluteten Wiese, Jan Schormann
Seite 30, Ein Weißstorchhorst mit vier Jungen in Rühstädt, Jan Schormann
Seite 31, Storch versorgt seine Jungtiere mit Wasser, Hans-Dieter Graf

Satz: INPETHO® MedienProduktion GmbH

Druck: Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg
Gedruckt auf 100% Recyclingpapier mit dem Zertifikat „Blauer Engel“.
1. Auflage 2023, Potsdam.

Diese Veröffentlichung ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf nicht für Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Unabhängig davon, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Broschüre dem Empfänger zugegangen ist, darf sie, auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl, nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Zitiervorschlag: Weiss Aparicio, A., Dziewiaty, K., Schulz, H., Schulz, F., Jaworski, L. & Schormann, J. (2023): Elbstörche im Klimawandel – Eine Langzeitanalyse des Bruterfolges der Weißstorchpopulation (*Ciconia ciconia*) in der Prignitz von 1970 bis 2022 in Abhängigkeit von Umweltfaktoren und im Kontext des Klimawandels. Landesamt für Umwelt Brandenburg.

Autorinnen
und Autoren: NABU Kreisverband Prignitz – Fachgruppe Ornithologie:
Falk Schulz (Datenaufnahme und -aufbereitung)
Herbert Schulz (Datenaufnahme und -aufbereitung)

Dziewiaty und Bernardy (Biologische Bestandserhebungen und Planung):
Dr. Krista Dziewiaty (Text, Interpretation, Überprüfung)

Landesamt für Umwelt Brandenburg:
Alexander Weiss Aparicio (Text, Statistische Analyse, Interpretation, Überprüfung)
Linda Jaworski (Statistische Analyse)
Jan Schormann (Konzeption der Studie, Überprüfung)

Diese Publikation
finden Sie auch
online unter
lfu.brandenburg.de



Weitere Informationen zum Biosphären-
reservat, Veranstaltungshinweise und
Tourenvorschläge finden Sie auf **elbe-
brandenburg-biosphaerenreservat.de**
und **natur-brandenburg.de**