

Naturwissenschaftlicher
Verein für das Fürstentum
Lüneburg von 1851 e. V.

Jahrbuch

Band 48



Herausgeber: Andreas Fichtner, Werner Härdtle & Johannes Prüter
2021

Herausgeber:
Andreas Fichtner, Werner Härdtle & Johannes Prüter
Satz und Lektorat: Sabine Arendt, lektorat@sabinearendt.org
Titelfoto: Gerhard Stein
Designvorlagen: borowiakzieheKG
Druck: VARIOPAPER, Lüneburg



© 2021
Naturwissenschaftlicher Verein
für das Fürstentum Lüneburg von 1851 e. V.
Wandrahmstraße 10
21335 Lüneburg
<http://www.naturwissenschaftlicher-verein-lueneburg.de>

ISSN: 0340-4374

Inhalt

Vorwort	5
<hr/>	
Nachruf Prof. Dr. Kurt Horst †	7
<hr/>	
Detlef Schumacher & Gerhard Stein	
<hr/>	
Scaphopoden aus der Kreide und dem Neogen von Lüneburg	11
<hr/>	
Gerhard Stein, Detlef Schumacher & Herbert Moths	
<hr/>	
Die Molluskenfauna des großen Sandstein-Geschiebes aus Neetze im Museum Lüneburg	33
<hr/>	
Petra Fischer, Henning Kaiser, Jann Wübbenhorst & Gunnar Waesch	
<hr/>	
Langjähriges vegetationsökologisches Grünlandmonitoring im Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalau“	97
<hr/>	
Manfred Bathke & Ortrun Schwarzer	
<hr/>	
Nährstoffgehalte und saisonale Grundwasserganglinien auf Brenndolden- Auenwiesen im Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalau“	133
<hr/>	
Bennet Buhrke, Werner Härdtle & Johannes Prüter	
<hr/>	
Gehölztablierung in Bühnenfeldern des Biosphärenreservats „Niedersächsische Elbtalau“ – Eine Analyse wichtiger Prädiktoren	155
<hr/>	
Studienfahrten 2018 bis 2020	173
<hr/>	
Vorträge und Kolloquien in den Wintersemestern 2018/19 bis 2020/21	175
<hr/>	

Vorwort

Von fossilen Molluskenvorkommen in erdgeschichtlichen Ablagerungen in und bei Lüneburg bis hin zur rezenten Vegetation der nahe gelegenen Elbauen, ihren augenblicklichen Standortverhältnissen und ihren Veränderungen – die Beiträge in diesem Band 48 unseres Jahrbuchs spannen einen sehr weiten inhaltlichen Bogen. Dieser Bogen repräsentiert und trifft aber zweifellos wesentliche Eckpunkte des breiten Spektrums regionaler Naturkunde, wie sie seit nunmehr 170 Jahren von den Mitgliedern des Naturwissenschaftlichen Vereins in Lüneburg mit verschiedensten fachlichen Ansätzen betrieben, unterstützt und Interessierten zur Kenntnis gegeben wird.

So unterschiedlich die Inhalte dieses Bandes, deren Bearbeitung und Darstellung auch sein mögen, so verbindet sie doch das zentrale Thema der „Biologischen Vielfalt“. Es ist faszinierend, wie versteinerte Zeitzeugen gedeutet werden können, wie einem mit entsprechender Sachkunde ganze Lebensgemeinschaften der Frühzeit lebendig vor Augen geführt werden. Man spürt ehrfürchtig und versteht vielleicht, wie Biologische Vielfalt sich über Jahrmillionen allein den Naturgesetzen gehorchend und ohne jedes menschliche Zutun entwickelt hat.

Umso bedrückender erscheint es mitunter, dass dieses Thema heute kaum noch unbelastet als wertfreies Phänomen behandelt werden kann, sondern dass es (fast) immer einhergeht mit dem Blick auf die Bedeutung für und die Belastung durch den Menschen.

Besonders augenfällig werden diese Bezüge bei kulturabhängigen Ökosystemen wie den so besonders artenreichen bunten Stromtalwiesen. Sie sind „vor Kurzem“ im Zuge menschlichen Wirtschaftens entstanden und laufen nun Gefahr, im Zuge des heutigen Wirtschaftens ihre Vielfalt, Eigenart und Schönheit wieder zu verlieren.

Mahnende Worte zu solchem Wandel gibt es viele und sind täglich zu vernehmen, auf örtlicher wie auf globaler Ebene.

Wandel hat es im Laufe der Erdgeschichte immer gegeben. Das führen uns die paläontologischen Befunde aus dem Meeresboden im Raum des heutigen Lüneburgs sehr plastisch vor Augen. Wandel ist Inbegriff der Naturgeschichte, aller evolutiven Prozesse. Doch diese Einsicht darf nicht Anlass geben, den heute zu beobachtenden rasanten Wandel mit all seinen negativen Konsequenzen zu relativieren. Er hat andere Ursachen, eine zerstörerische Dynamik und birgt bekanntermaßen Gefahren für uns selbst.

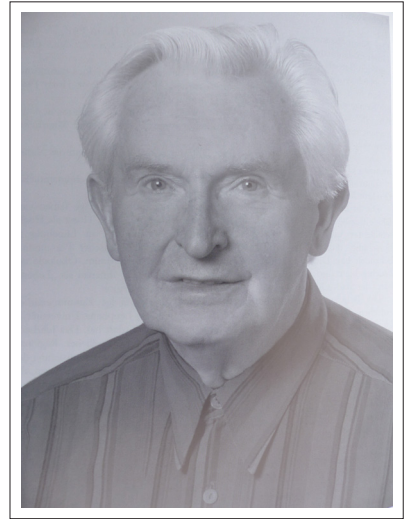
In diesem Sinne hoffen wir, mit diesem neuen Jahrbuch einen weiteren kleinen regionalen Beitrag leisten zu können zum Verständnis der Phänomene Biologischer Vielfalt und ihrer vielfältigen Abhängigkeiten – früher wie heute.

Die Herausgeber

Nachruf

Prof. Dr. Kurt Horst †

Am 21. September 2020 ist Prof. Dr. Kurt Horst, Initiator und langjähriger Leiter des Naturmuseums Lüneburg, im Alter von 92 Jahren gestorben. Über Jahrzehnte hat er die Arbeit des Naturwissenschaftlichen Vereins in Lüneburg mit seiner enthusiastischen Schaffenskraft und großer Fachkunde geprägt und ihm mit dem Naturmuseum in der Salzstraße von 1990 bis 2010 eine Heimstatt gegeben. Hier schuf er ein lebendiges Zentrum für naturkundliche Bildung, Forschung und Dokumentation, gern aufgesucht von Bewohnern, Schülergruppen und Gästen Lüneburgs. Überdies wurde das Museum zu einer allseits geschätzten, inspirierenden, gern angenommenen Begegnungsstätte für die Mitglieder unseres Vereins.



Kurt Horst wurde am 3. März 1928 in Kade im damaligen Bezirk Magdeburg geboren. Schulzeit und erste Schritte in Richtung auf den von Beginn an angestrebten Lehrerberuf fielen in die Kriegs- und Nachkriegszeit. Er studierte zunächst in Halle/Saale, unterrichtete an der Oberschule in Genthin, bis er im Frühjahr 1956 die damalige DDR in Richtung Hessen verließ. An der Universität Frankfurt/Main schloss er ein ergänzendes Studium der Schwerpunktfächer Biologie und Geographie mit der Erweiterungsprüfung für das Lehramt an höheren Schulen ab.

Wegweisend für sein späteres berufliches und ehrenamtliches Wirken in Lüneburg war die Zeit als Doktorand am Staatsinstitut für Allgemeine Botanik der Universität Hamburg, die er von August 1959 bis Oktober 1961 mit Felduntersuchungen im Naturschutzgebiet Lüneburger Heide verbrachte. Von seiner Zeit in Niederhaverbeck hat er gern und oft berichtet. Untersuchungen zum Thema „Klima und Bodenfaktoren in Zwergstrauch- und Waldgesellschaften des Naturschutzparks Lüneburger Heide“ beendete er mit der Promotion 1962. Seine Sachkunde, die besonderen didaktischen Fähigkeiten und seine begeisternde Art, naturkundliche Zusammen-

hänge zu vermitteln, waren aufgefallen und gaben Anlass, ihn 1965 aus seiner Lehrtätigkeit an Gymnasien in Kassel an die damalige Pädagogische Hochschule Niedersachsen, Abt. Lüneburg als Professor für Biologie sowie Didaktik und Methodik des Faches zu berufen. Über fast drei Jahrzehnte bis zum Eintritt in den Ruhestand 1993 hat er dort und später an der Universität Lüneburg den vielen Studierenden Freude am Lebendigen vermittelt und damit manch eine prägende Spur für deren weiteres Tun hinterlassen.

Schon in den frühen 1980er-Jahren arbeitete er im Rahmen seiner Mitwirkung im Vorstand des Naturwissenschaftlichen Vereins an einem „Konzept für die Wiederbegründung eines Naturmuseums in Lüneburg“, das die Verantwortlichen in der Stadt Lüneburg überzeugte. Nachdem die Träger der Sammlungen zu Jagd und Geschichte Ostpreußens 1987 in den Neubau an der Ritterstraße umgezogen waren und das Haus an der Salzstraße freigeräumt hatten, konnte die Stadt dieses Gebäude dem Naturwissenschaftlichen Verein zur Verfügung stellen. Nun gab es Raum und Perspektiven, sodass die konzeptionellen Ideen Gestalt annehmen konnten.

Ein enormes Arbeitspensum stand an. Kurt Horst gelang es mit seiner unermüdlchen Geschäftigkeit und seiner inspirierenden Art, ein großes Team ehrenamtlich Mitwirkender um sich zu scharen. Nur so konnten all die Arbeiten, die mit dem Aufbau des Museums einhergingen, bewältigt werden: Einwerbung von Fördergeldern, Einrichtung und Betreuung von Projektstellen, praktische Baumaßnahmen und schließlich die Ausstellungsgestaltung. Schon 1990 wurde das Naturmuseum für Besucherinnen und Besucher zugänglich, im Herbst 1992 dann offiziell eröffnet. Im Zuge dieser Arbeiten entwickelte Kurt Horst auch das Logo für den Naturwissenschaftlichen Verein, das die Sphären der Natur symbolisch zusammenführt. Es erscheint seither auf allen Verlautbarungen des Vereins und erinnert damit auch an sein Lebenswerk.

Die von Kurt Horst entwickelten konzeptionellen Grundlagen hat er in seinem Beitrag „Das neue Naturmuseum Lüneburg – Haus für Natur und Umwelt“ ausführlich dargelegt, erschienen in unserem Jahrbuch, Band 39, 1992. Das so konzipierte Naturmuseum hat 20 Jahre bestanden und wurde dann in das neue Museum Lüneburg überführt. Aufbau und Betrieb des Naturmuseums wurden von Wolfgang Gentsch rückblickend 2011 in einem Sonderheft des Naturwissenschaftlichen Vereins sehr lebendig dokumentiert.

Die Hansestadt Lüneburg und der Naturwissenschaftliche Verein haben von Kurt Horsts einzigartiger Leistung, als ehrenamtlich tätiger Museumsdirektor ein weit über die Grenzen Lüneburgs hinaus wahrgenommenes Museum zu gestalten und zu leiten, in hohem Maße profitiert. Im Jahr 2007, rund 15 Jahre nach seiner Pensionierung, trat Kurt Horst dann auch aus der ehrenamtlichen Museumsleitung zurück. Dass ihm im letzten Jahrzehnt seines Lebens wegen seiner Erkrankung so viel an Erinnerung an sein eigenes Schaffen verloren ging, ist traurig. Doch manche Würdigung seines Lebenswerks hat er noch aktiv und freudig spüren und miterleben dürfen, bei vielen Veranstaltungen im Naturmuseum, anlässlich der Verleihung des Bundesverdienstkreuzes im Rathaus im Jahr 2002 oder bei der Feier in der Leuphana Universität Lüneburg zum Abschied aus der ehrenamtlich wahrgenommenen Museumsleitung im Jahr 2007 und schließlich auch auf den ersten Schritten auf dem Weg zu einem hauptamtlich geführten Museum Lüneburg. Wir alle im Naturwissenschaftlichen Vereins wissen, was wir unserem Prof. Horst zu verdanken haben und erinnern uns seiner in großer Dankbarkeit.

Johannes Prüter und Werner Härdtle
im Namen der Mitglieder und des Vorstands des Naturwissenschaftlichen Vereins

Gehölzetablirung in Bühnenfeldern des Biosphärenreservats „Niedersächsische Elbtalaue“

Eine Analyse wichtiger Prädiktoren

Bennet Buhrke, Werner Härdtle, Johannes Prüter

Schlüsselwörter:

Auendynamik, Verjüngung, Weichholzaunen, Bühnenfelder, *Salicaceae*

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, welche Umweltfaktoren eine Etablierung von Weichhölzern der Familie *Salicaceae* (Gattungen *Populus* und *Salix*) im Elbvorland des Biosphärenreservats „Niedersächsische Elbtalaue“ beeinflussen. Dazu wurden im Jahre 2019 Geländeuntersuchungen an 1- bis 2-jährigen Weichholzbeständen zwischen Radegast und Barförde durchgeführt. Bei diesen wurden verschiedene Standortfaktoren analysiert und mittels Habitateignungsmodellen ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Etablierung und der erste Aufwuchs von Weiden-Jungpflanzen vor allem durch abiotische Faktoren wie Bodenhydrologie und Wasserversorgung beeinflusst werden. Ihr Wuchs und ihre Bestandsdichten sind dann hoch, wenn die Wasserversorgung ausgeglichen ist, zugleich aber auch eine ausreichende Belüftung (also keine dauerhafte Anoxizität) des Bodens gegeben ist. Während der Weiden-Jungwuchs zudem durch höhere Boden-pH-Werte begünstigt wird, reagiert der Pappel-Jungwuchs gegenüber diesem Bodenfaktor indifferent. Zudem profitiert der Pappel-Jungwuchs von einem höheren Bodenskelettanteil (als Indiz für eine – zumindest zeitweilig – gute Bodenbelüftung). Die Mortalitätsrate der Gehölzverjüngung ist stark dichteabhängig und steigt aufgrund der bestehenden intra- oder interspezifischen Konkurrenz mit zunehmender Dichte deutlich an. Dies

lässt vermuten, dass die Konkurrenz der einzelnen Individuen um Ressourcen wie Licht, Wasser oder Nährsalze hoch ist.

Abstract

The present study investigated which environmental factors influence the establishment of softwoods of the family *Salicaceae* (genera *Populus* and *Salix*) in the Elbe river floodplain of the Lower Saxonian Elbe Valley Biosphere Reserve. For this terrain investigations were carried out on 1–2 years old softwood populations between Radegast and Barförde. Various site factors were investigated and evaluated using habitat suitability models. The results show that the establishment and growth of willow seedlings are mainly influenced by abiotic factors such as soil hydrology and water supply. Their growth and population densities are high when the water supply is balanced and at the same time the soil aeration is sufficient. In addition, the population density of willows is positively affected by increasing soil pH and decreasing soil bulk density, whereas poplar seedlings reacted indifferent against soil pH, but benefited from increasing soil skeleton content. Seedling mortality rates prove to be strongly density dependent and increase with increasing population density. This suggests a high competition between individuals for resources such as light, water or nutrients.

1 Einleitung

Auen sind aufgrund von stark wechselnden hydrologischen Bedingungen hochdynamische und komplexe Lebensräume (KARRENBERG et al. 2002, SPLUNDER et al. 1997). Die aktiven Zonen der Überschwemmungsgebiete großer Flüsse bieten eine große Vielfalt an Lebensraumbedingungen, die durch eine komplexe Reihe fluvialer geomorphologischer Prozesse und deren Wechselwirkungen mit der Vegetation entstehen (SCHOLZ et al. 2004). Insbesondere auf exponierten Flusssedimenten in Überschwemmungsgebieten sind die Pflan-

zenbesiedlungs- und Überlebensmuster durch Schwankungen des Grund- und Oberflächenwassers, Extrema im Mikroklima, wechselnde Bodenverhältnisse und eine hohe Variabilität abiotischer Bedingungen besonders komplex (JOHNSON 1994).

Arten der Familie *Salicaceae* sind bei der Besiedlung der Auensedimente besonders erfolgreich und dominieren die Gehölzvegetation der Auenlandschaften in der nördlichen gemäßigten Zone (KARRENBERG et al. 2002). Weichholzauenwälder bieten zahlreiche wichtige Ökosystemdienstleistungen. Sie stellen

angesichts vieler spezifisch angepasster Arten einen Lebensraum von hoher biologischer Vielfalt (MOSNER et al. 2009). Zudem stabilisieren sie durch ihren mitunter dichten Aufwuchs und ihre Wurzelstrukturen die durch hochwasserbedingte Sedimentations- sowie Erosionsprozesse beeinflussten Standorte (RADTKE et al. 2012). Weiterhin beeinflussen Weichholzaunen den Nährstoffkreislauf innerhalb der Aue und haben einen wichtigen Einfluss auf die Wasserqualität (KRÜGER et al. 2006).

Im Laufe der letzten Jahrhunderte hat eine Intensivierung der Bewirtschaftung von Flüssen und ihren Auen dazu geführt, dass die Bestände der mitteleuropäischen Weichholzaunenwälder stark zurückgegangen sind (RADTKE et al. 2012). Flussregulierungen für die Schifffahrt, eine Einengung der Auen durch Deiche, landwirtschaftliche Nutzung bis an die Flussufer und in vielen Gebieten auch die Kiesgewinnung haben zu einer massiven Umstrukturierung der Auenökosysteme geführt (MOSNER et al. 2011). Flussbegleitende Weichholzaunenwälder gehören daher in Deutschland heute zu den am stärksten gefährdeten Lebensraumtypen (FINCK et al. 2017).

Entgegen dem großräumigen Rückgang der Weichholzaunenwälder haben sich im Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalau“ Gehölzbestände im Deichvorland an einigen Uferpartien in den

letzten Jahrzehnten eher wieder ausbreitet. Ursache dafür waren, soweit bekannt, besonders günstige Keimungs- und Aufwuchsbedingungen für Bäume am Elbufer in den späten 1980er-Jahren. In jener Zeit ergingen auch Verfügungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, das Elbufer aus Gründen der Ufersicherung von einer Beweidung auszunehmen. Risiken durch die stärker ins Bewusstsein gerückten Schadstoffbelastungen der Auen und der ohnehin erfolgte Strukturwandel in der Landwirtschaft trugen überdies dazu bei, dass Weidetiere in der Aue seltener wurden und sich auf den geeigneten Uferstandorten weitere Gehölze etablierten.

Durch eine Häufung extremer Hochwasserereignisse im frühen 21. Jahrhundert gerieten die Auwälder in ihrer Funktion als Hemmnisse für den Hochwasserabfluss verstärkt in den Fokus. Mit zweidimensionalen Strömungsmodellen wurde aufgezeigt, dass eine solche Wirkung insbesondere an Engstellen der Aue, wo Gehölze im Hochwasserfall quer zur Strömung stehen, auftritt (BAW 2000, BfG 2015, NLWKN 2017). Nachdem an vordringlichen Stellen durch Rückschnitt und nachfolgende Pflegemaßnahmen eine für den Hochwasserabfluss günstige offene Ufersituation geschaffen wurde, soll in der Folge über einen Auenstrukturplan und ein entsprechendes Auenmanagement für den Gesamttraum

dargestellt werden, wo Uferpartien dauerhaft offengehalten werden sollen und wo weitere Entwicklungen der als prioritärer Lebensraumtyp gemäß der europäischen FFH-Richtlinie zu schützenden Weichholzaue möglich sind. So sollen die Belange von Hochwasserschutz, Naturschutz und Landwirtschaft in den Auen der unteren Mittelelbe bestmöglich in Einklang gebracht werden (ETTNER et al. 2019, LEYER et al. 2010, PRÜTER & SCHWARZER 2019).

Da auch vor dem Hintergrund einer möglichst nachhaltigen Strukturplanung damit zu rechnen ist, dass weiterhin dynamische Prozesse der natürlichen Etablierung von Gehölzen der Weichholzaue erfolgen, ist es wichtig, die im Uferbereich wirksamen ökologischen Mechanismen und Faktoren zu verstehen, welche die Etablierung von Weichholzarten beeinflussen und steuern. In diesem Sinne leistet die vorliegende Studie einen Beitrag zum Auenmanagement im Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalaue“, indem Prädiktoren, welche die Etablierung von Weichholzarten im Elbe-Vorland des Biosphärenreservates „Niedersächsische Elbtalaue“ beeinflussen, identifiziert und analysiert werden. Mithilfe eines Habitatsignaturmodells wurden hierfür unterschiedliche bodenphysikalische und -chemische sowie hydrologische Parameter untersucht und diese in Beziehung zur Etablierung, zum Wuchs und zur Mortalität von Weich-

holz-Arten der Familie *Salicaceae* gesetzt. Dazu wurden nach einem Jahr mit sehr intensiver Keimung von Weiden und Pappeln (2018) im Folgejahr fünf Bühnenfelder in einem Uferabschnitt im Elbvorland untersucht.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im Elbvorland zwischen Radegast und Barförde (53° 22' 05.6" N 10° 41' 18.7" E) und ist naturräumlich der Unteren Mittelbe-Niederung zuzuordnen. Der untersuchte Uferabschnitt hat eine Länge von 0,8 km und erstreckt sich über die Stromkilometer 559,4–560,2.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Teilgebiet C-03 des Biosphärenreservats „Niedersächsische Elbtalaue“. Es liegt hier ein autentypisch flachwelliges, auf dem aus einer Elbinsel hervorgegangenen Vierwerder und im Brackeder Vorland teilweise auch stark welliges Relief vor, auf dem extensiv genutztes Grünland vorherrscht (BRV 2009). Die Böden sind durch einen kleinräumigen Wechsel von tonigen und sandigen Auenböden gekennzeichnet, die durch Flussablagerungen entstanden (MIEHLICH 2000). Es liegt eine Gleithangsituation vor. Das Flussbett weist ein geringes Gefälle von durchschnittlich 17 cm/km auf, was zu einer geringen Fließgeschwindigkeit führt (IKSE 1995).

2.2 Forschungsdesign und Datenaufnahme

Im Untersuchungsgebiet wurden fünf für den Uferbereich repräsentative Bühnenfelder ausgewählt und in diesen randomisiert insgesamt 80 1 x 1 m große Untersuchungsflächen („Plots“) erfasst und im Hinblick auf verschiedene Standortfaktoren untersucht.

Da die Keimung und Etablierung von Pionierpflanzen am Ufer nachweislich bevorzugt auf rohbodenartigen und überwiegend vegetationsfreien Standorten erfolgt (SHAFROTH et al. 2017), ist zu erwähnen, dass alle Plots zum Zeitpunkt der Aufnahme ausschließlich von Keimlingen bzw. Jungpflanzen der betrachteten Pionierhölzer besiedelt waren. Weiterhin waren alle Plots so ausgerichtet, dass sie zwischen der Uferlinie im Norden und einem Weichholzaunenwaldstreifen im Süden lagen und somit ähnlichen Lichtverhältnissen und Graden der Exponiertheit ausgesetzt waren.

Die abhängigen Variablen (Höhe der zehn höchsten Individuen, Dichte der Individuen, Dichte der *Salix* spp., Dichte der *Populus nigra*, Mortalität) beziehen sich dabei auf den Gehölzaufwuchs und beschreiben so die Aufnahme der nach Keimung 2018 tatsächlich etablierten Gehölzindividuen. Unter Etablierung wird in dieser Studie das Ergebnis einer erfolgreichen Keimung, des Überlebens und des Wachstums für eine Vegetationsperiode (bis zum Aufnahmezeitpunkt)

verstanden (SHAFROTH et al. 2017). Die untersuchten Prädiktorvariablen (Abstand zur Wasserlinie, Höhe über der Wasserlinie, Grundwasserabstand, Kappilaraufstieg, C/N-Verhältnis, pH-Wert, Korngrößen, Lagerungsdichte) geben Auskunft über die unterschiedlichen hydrologischen sowie bodenphysikalischen und -chemischen Parameter.

2.2.1 Felduntersuchungen

Die Felduntersuchungen wurden zwischen dem 01.05. und 15.05.2019 durchgeführt. Dabei wurde zunächst in jedem Plot eine Vegetationsaufnahme vorgenommen. Um Angaben zur Dichte und Höhe des Bewuchses machen zu können, wurden alle Individuen innerhalb der Plots ausgezählt sowie der Mittelwert der zehn höchsten Individuen berechnet. In der Datenaufnahme wurde lediglich zwischen Weiden (*Salix*) und der *Populus nigra* differenziert und keine einzelnen Arten der Gattung *Salix* identifiziert. Um auf die Mortalität innerhalb eines Plots zu schließen, wurden alle abgestorbenen Individuen gezählt.

Hydrologische Faktoren wurden berücksichtigt, indem für jeden Plot der Abstand zur Wasserlinie gemessen und die Höhe der Plots über der Wasserlinie unter Verwendung einer Schlauchwaage bestimmt wurde. Weiterhin wurde der Grundwasserabstand mit einem Bohrstock gemessen. Alle aufgenommenen Werte wurden mit Bezug auf den Wasserstand des ersten Untersuchungstags

(170 cm über NN) nach dem Pegel in Boizenburg normiert. Außerdem wurden pro Plot zwei Bodenproben aus dem mineralischen Oberboden (A-Horizont) für die Laboranalysen entnommen. Mit einer Schaufelspitze wurden vier Mischproben für bodenchemische Analysen und mithilfe eines 100-cm³-Stechzylinders Volumenproben zur Untersuchung der Lagerungsdichte und Bodentextur entnommen.

2.2.2 Laboranalysen

Für die im Zeitraum 17.05. bis 14.06.2019 durchgeführten Laboranalysen wurden alle Bodenproben für jeweils fünf Tage bei 60 °C in einem Trockenschrank getrocknet.

Lagerungsdichte

Die mit dem Stechzylinder entnommenen Bodenproben wurden auf einer Feinwaage gewogen und nach Standardverfahren (HARTGE & HORN 1992) die Lagerungsdichte in g/cm³ berechnet.

Korngrößenanalyse

Um die Verteilung der Partikelgrößen zu bestimmen, wurden die Partikel der ungestörten Volumenproben mithilfe eines Siebsatzes mit den Maschenweiten 2 mm und 0,063 mm auf der Vibrationsiebmaschine (AS 200, Retsch, Haan, Deutschland) zehn Minuten fraktioniert. Die einzelnen fraktionierten Bodenpartikel wurden nach 24-stündiger Trocknung bei 105 °C und Abkühlung in einem Exsikkator gewogen. Aus den Ergebnissen der Waage wurden die Prozentanteile der

drei Kategorien Bodenskelett (> 2 mm), Sandpartikel (> 0,063 mm) sowie Ton- und Schluffpartikel (< 0,063 mm) bestimmt und somit die Korngrößenverteilung der Bodenprobe ermittelt.

Elektrometrische Erfassung des pH-Wertes des Bodens

Die auf 2 mm gesiebten und gemörsernten Proben wurden nach Standardverfahren (DEGNER 2012) jeweils in H₂O und 0,1 M KCl angesetzt und mithilfe eines pH-Tischmessgerätes (Seven-Compact S220, Mettler Toledo, Gießen, Deutschland) elektrometrisch gemessen.

C/N-Analyse

Die C- und N-Gehalte sowie das C/N-Verhältnis wurden mit einem C-N-Analysegerät (Vario EL cube, Elementar, Hanau, Deutschland) durchgeführt, nachdem sie in einer Schwingmühle (MM 400, Retsch, Haan, Deutschland) staubfein gemahlen und bei 105 °C getrocknet wurden.

2.3 Statistische Auswertung der Daten

Um einen Zusammenhang zwischen der Gehölzetaubierung und den Standortfaktoren zu untersuchen, wurde zu jeder der „abhängigen Variablen“ unter Einbezug der „Prädiktorvariablen“ eine multiple lineare Regressionsanalyse nach Standardverfahren durchgeführt (HECTOR 2017). Solche Analysen werden häufig im Rahmen ökologischer Untersuchungen durchgeführt, um die Reaktionen von Arten (sog. abhängige Variablen)

auf die einwirkenden Lebensraumbedingungen (sog. Prädiktorvariablen) zu untersuchen bzw. zu verstehen. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Individuendichte der Weichholzarten, ihre Wuchshöhe und ihre Mortalität zu verschiedenen Lebensraumbedingungen (d. h. Prädiktorvariablen wie Bodennässe bzw. Lage über dem Wasserspiegel sowie bodenphysikalische und bodenchemische Variablen) in Beziehung gesetzt. Die Qualität der Modelle bzw. deren Fähigkeit, die Reaktion von Arten auf die untersuchten Lebensraumbedingungen vorherzusagen, wird mittels des sogenannten R^2_{adj} -Wertes ausgedrückt, welcher Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Ein Wert nahe 1 (oder wenig darunter) besagt, dass das Modell sehr gut die Arten-Reaktion voraussagen kann (d. h., die Lebensraumbedingungen beeinflussen sehr stark die Reaktion der untersuchten Arten), während ein Wert nahe 0 eine schlechte Vorhersagequalität des Modells ausdrückt (d. h., die untersuchten Lebensraumbedingungen beeinflussen nur sehr wenig die Reaktion der Arten). Zur Durchführung der Analysen wurde das Statistikprogramm *R* genutzt (*R Project for Statistical Computing*; <http://www.R-project.org>; package *nlme*; PINHEIRO et al., 2016).

3 Ergebnisse

Die Regressionsanalyse zur Individuendichte der Verjüngung aller Weichholz-

arten zeigt, dass diese maßgeblich durch die Faktoren Distanz zur Wasserlinie, Höhe über der Wasserlinie, Lagerungsdichte und pH-Wert beeinflusst werden (Tab. 1). Eine geringe Lagerungsdichte, eine geringe Entfernung zur Wasserlinie und zum Grundwasser sowie ansteigende Boden-pH-Werte führen zu einer Zunahme der Individuendichte. Das Boden-C/N-Verhältnis hat demgegenüber keinen Einfluss auf die Individuendichte. Die Regressionsanalyse zur Individuendichte der *Salix*-Arten zeigt sehr ähnliche Ergebnisse (Tab. 1). Die Individuendichte von *Populus nigra* reagiert – im Vergleich zu den *Salix*-Individuen – weniger empfindlich gegenüber der Boden-Lagerungsdichte (geringerer Estimate) und indifferent gegenüber den Boden-pH-Werten. Ein hoher Bodenskelettanteil begünstigt aber den Pappel-Jungwuchs.

Die Varianz der Höhe der zehn höchsten Individuen lässt sich signifikant durch die Prädiktorvariablen Höhe über der Wasserlinie, Lagerungsdichte und Boden-pH-Werte erklären. Je höher die Plots über der Wasserlinie liegen, desto kleiner sind die Individuen. Außerdem nimmt die Höhe der Individuen mit zunehmender Lagerungsdichte und mit abnehmendem Boden-pH-Wert ab.

Um den Einfluss der Individuendichte auf die Mortalität der Gehölzindividuen zu untersuchen, wurde im entsprechenden Modell die Individuendichte

Tab. 1: Ergebnisse der multiplen linearen Regressionsanalyse zum Effekt der Prädiktorvariablen auf die einzelnen abhängigen Variablen

Zu den Tabelleneinträgen gehören der Regressionskoeffizient (Estimate), der Standardfehler (Std. Error), der t-Wert und das Signifikanzniveau $\Pr(>|t|)$. Der R^2_{adj} -Wert gibt für jedes Modell die erklärte Gesamtvarianz an. Alle Messwerte wurden zur Analyse z-transformiert. Die originären Messdaten können bei Bedarf von den Verfassern zur Verfügung gestellt werden.

Abhängige Variablen	Prädiktorvariablen	Estimate	Standardfehler	t-Wert	$\Pr(> t)$
Individuendichte insgesamt					
$R^2_{\text{adj}} = 0,54$	(intercept)	67.45	6.12	11.02	< 0.001
	Distanz Wasserlinie	-14.48	6.67	-2.17	0.033
	Höhe über Wasserlinie	-19.59	7.07	-2.77	0.007
	Lagerungsdichte	-39.45	6.86	-5.76	< 0.001
	pH (KCl)	24.01	6.61	3.63	< 0.001
Individuendichte der <i>Salix</i>-Arten					
$R^2_{\text{adj}} = 0,53$	(intercept)	67.17	6.18	10.87	< 0.001
	Distanz Wasserlinie	-14.10	6.71	-2.10	0.039
	Höhe über Wasserlinie	-19.53	7.12	-2.75	0.007
	Lagerungsdichte	-38.87	6.92	-5.62	< 0.001
	pH (KCl)	23.57	6.65	3.55	< 0.001
Individuendichte der <i>Populus nigra</i>					
$R^2_{\text{adj}} = 0,27$	(intercept)	1.14	0.33	3.41	< 0.001
	Lagerungsdichte	-0.98	0.50	1.97	0.053
	Bodenskelettanteil	2.48	0.50	5.00	< 0.001
Höhe					
$R^2_{\text{adj}} = 0,48$	(intercept)	13.00	0.99	13.10	< 0.001
	Höhe über Wasserlinie	-3.35	1.10	-3.04	0.003
	Lagerungsdichte	-5.92	1.05	-5.65	< 0.001
	pH (KCl)	2.70	1.07	2.53	0.013
Mortalität					
$R^2_{\text{adj}} = 0,30$	(intercept)	6.23	0.87	7.18	< 0.001
	Individuendichte	3.96	1.08	3.67	< 0.001
	Kapillarer Wasseraufstieg	-1.66	0.89	-1.86	0.067
	Lagerungsdichte	-6.31	2.34	-2.70	0.009
	Schluff- und Tonanteil	-6.22	2.28	-2.72	0.008

als weitere Prädiktorvariable verwendet. Dabei zeigte sich, dass die Mortalität steigt, wenn sich die Dichte der Individuen erhöht. Außerdem zeigt das Modell, dass mit zunehmendem Ton- und Schluffanteil im Boden die Mortalität sinkt.

4 Diskussion

Aus Kartierdaten der Biosphärenreservatsverwaltung geht hervor, dass ca. 9,2 % der Vorlandflächen zwischen Schnackenburg (Elbe-km 472,5) und dem Wehr Geesthacht (Elbe-km 586) heute mit Gehölzen bewachsen sind. Der prozentuale Anteil des FFH-Lebensraumtyps Silberweiden-Auwald (LRT 91E0) beläuft sich dabei auf 2,9 % der kartierten Vorlandfläche (PRÜTER & SCHWARZER 2019). In bestimmten Uferpartien des Biosphärenreservats „Niedersächsische Elbtataue“ ließ sich in den vergangenen Jahrzehnten eine natürliche Regeneration der Weichholzauenwälder erkennen.

Weiden und Schwarz-Pappeln gehören zu den Nacktbodenkeimern und sind ausgesprochene Pionierpflanzen (JÄGER 2017). Um zu keimen, benötigen sie rohodenähnliche Substrate mit geringer Vegetationsbedeckung (SPLUNDER et al. 1995).

Da die optimalen Standorte für Weichholzarten in einem Höhenbereich von bis zu einem Meter über der mittleren Wasserlinie liegen, müssen für eine flä-

chige Etablierung von Weichholzarten sehr flache Ufer vorhanden sein (SCHOLZ et al. 2004).

Solche Bedingungen herrschten in den untersuchten Bühnenfeldern im Vorjahr der Untersuchung (2018) dank einer langanhaltenden Niedrigwasserphase, die zu einer besonders intensiven Keimung von Weiden und Schwarz-Pappeln führte (Abb. 1 und 2). Ähnliche Entwicklungen waren auch an vielen anderen Uferpartien der Niedersächsischen Binnenelbe zu beobachten.

Insbesondere in z. T. verschlickten Senken zwischen den Uferwällen und am Rande der frei gefallenen Sandbänke erfolgte ein dichter Aufwuchs in häufig bandförmigen Strukturen.

Dies hängt mit der linearen Ablagerung von Diasporen in Spülsäumen zusammen, die vor allem in durch Strömungen entstandenen Absenkungen geeignete Etablierungsbedingungen finden. Günstig wirkt sich aus, wenn diese Absenkungen eine ausreichende Entfernung zur durchschnittlichen Wasserlinie aufweisen, um bei einem leicht ansteigenden Wasserspiegel nicht vollständig überflutet zu werden und dennoch bei abnehmendem Niederschlag und einem zurückgehenden Wasserstand genügend Bodenfeuchtigkeit zur Verfügung zu haben.

Im Zuge eines Hochwassers im Frühjahr 2019 verschwand ein Großteil des Jungwuchses auf den in Abb. 1 und 2



Abb. 1 und 2: Im Jahr 2018 gekeimter Jungwuchs von Weiden und Schwarz-Pappeln in den untersuchten Bühnenfeldern bei extremem Niedrigwasser (Fotos: J. Prüter, Sept. 2018)

dargestellten Flächen, da die sandigen Sedimente in dieser Situation wieder in den Zustand bewegten Gewässergrunds versetzt wurden. Die im Mai 2019 bei (noch) mittleren aber neuerlich stark im Sinken begriffenen Wasserständen durchgeführten Untersuchungen bezogen sich somit auf die ansteigenden Uferpartien, auf denen sich Jungwuchs halten können.

Die topographischen Gegebenheiten stellen für die Keimung von Weichholzarten in Bühnenfeldern ein entscheidendes Kriterium dar. Je enger der Kontrakt zur Wasserlinie und dem korrespondierenden Grundwasserstand und je ausgeglichener damit die Bodenfeuchte ist, desto größer ist die Individuendichte der *Salix*-Arten (SCHOLZ et al. 2004). Die Samen der *Salix*-Arten finden ganz offensichtlich an solchen Standorten gute

Keimungsbedingungen, welche eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit aufweisen, aber nicht durch saisonale Überschwemmungen und periodisch wechselnde Wasserspiegel langfristig überstaut werden (MARKUS-MICHALCZYK & HANELT 2019).

Dass die Keimungsrate mit zunehmender Bodenfeuchte ansteigt, während sie bei mit Wasser übersättigten Böden abnimmt, belegen auch die Studien von CHEN et al. (2013) und GAGE & COOPER (2005). Diese Beobachtungen lassen sich im Hinblick auf die hier gewonnenen Ergebnisse insbesondere anhand des signifikanten Einflusses der Lagerungsdichte bestätigen. Die Individuendichte auf Sedimenten mit geringen Lagerungsdichten ist höher als auf Sedimenten mit hohen Lagerungsdichten. Vor allem die Arten *S. viminalis*, *S. triandra* und *P. nigra*

weisen zur Zeit der Keimung und während der Entwicklung der ersten Wurzelstränge eine geringe Toleranz gegenüber sauerstoffarmen Böden auf. Sie können durch Überschwemmungen, Staunässe oder Bodenverdichtung hervorgerufene anoxische Bedingungen nicht vertragen (KARRENBURG et al. 2002).

In den Untersuchungsergebnissen der Individuendichte von *P. nigra* stellte neben der Lagerungsdichte das Bodenskelett einen Prädiktor mit signifikantem Einfluss dar. Schwarz-Pappeln bevorzugen Kies- und Sandböden, die gut durchlüftet sind, da sie einen Boden mit hoher Drainage brauchen und Staunässe nicht gut vertragen. Bei abnehmender Korngröße des Bodensubstrates und damit verringertem Sauerstoffgehalt im Bodenwasser verliert die Schwarz-Pappel deutlich an Konkurrenzkraft (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010).

Die Korngrößenanalyse zeigt, dass der Großteil der untersuchten Flächen von sandigen Bodenpartikeln geprägt ist und nur einen geringen Ton- und Schluffanteil aufweist. Aufgrund von Untersuchungen von CARBIENER & SCHNITZLER (1990) ist anzunehmen, dass die Variation der Partikelgrößen der Sedimente insgesamt starke ökologische Auswirkungen auf die Vegetation der Auen hat, da sie die Mikrohydrologie der Flusssedimente beeinflusst. Dennoch wiesen CHEN et al. (2013) und CASTRO-MORALES et al. (2014) in ihren

Studien nach, dass die Bodentextur die Keimung von Weichholzarten nur dann beeinflusst, wenn nicht ausreichend Bodenfeuchtigkeit durch einen flachen Grundwasserspiegel oder periodische Überschwemmungen gewährleistet ist. Da diese Kriterien in den Plots mit einer hohen Individuenanzahl gegeben waren und die Korngrößenverteilung in der statistischen Analyse keine signifikanten Ergebnisse hervorgebracht hat, ist es nicht wahrscheinlich, dass die Partikelgrößenverteilung der Sedimente im betrachteten Gebiet die Individuendichte der Gehölzverjüngung im Jahr 2018 wesentlich beeinflusst hat.

Die Wuchshöhe der Gehölzindividuen kann als Ausdruck der Gesamtvitalität der Verjüngung gewertet werden. Maßgebliche Faktoren für den Höhenwuchs sind eine ausreichende Wasserversorgung (geringe Höhe über der Wasserlinie) bei gleichzeitig ausreichender Belüftung des Bodens (geringe Lagerungsdichte).

Nach der Keimung und während der gesamten Vegetationsperiode müssen die Wurzeln der Sämlinge den Kontakt zu feuchtem Substrat aufrechterhalten (GONZÁLEZ et al. 2018). Besonders bei niedrigem Wasserstand oder geringen Niederschlägen kann der Oberboden – und somit auch die Sämlinge – austrocknen (MARKUS-MICHALCZYK et al. 2019). Die Wurzeln von *Populus*- oder *Salix*-Jungpflanzen müssen daher unmittelbar nach der Frühjahrskeimung dem

absinkenden Grundwasserspiegel nachwachsen (GONZÁLEZ et al. 2018). Bei der Wasserversorgung spielt so der im Boden bestehende Kapillaraufstieg eine entscheidende Rolle (CASTRO-MORALES et al. 2014), wobei dieser wiederum nicht zu einer dauerhaften Anoxizität des Bodensolums führen darf.

Ein weiteres Ergebnis des Habitategenungsmodells ist, dass die Mortalität mit einer Zunahme der Individuendichte signifikant steigt. Es besteht somit eine dichteabhängige Mortalität. Die betrachteten Arten produzieren eine Vielzahl kleiner flug- und schwimmfähiger Samen, die kein Nährgewebe enthalten und nur kurze Zeit keimfähig sind (RAVEN 1992). Die Entwicklung und das Wachstum der Sämlinge ist somit sehr anfällig gegenüber Licht- und Nährstoffkonkurrenz, welche mit zunehmender Individuendichte steigt (SHAFROTH et al. 2017). Bei hohen Individuendichten besteht somit eine hohe intra- bzw. interspezifische Konkurrenz und als Folge auch eine hohe Mortalitätsrate (LAUTENSCHLAGER-FLEURY 1994). Zwar haben *Salix*-Arten eine hohe Nährstoffeffizienz, welche zu hohen Wachstumsraten führt (JOHNSON 1994), dennoch sind, wie die C/N-Analysen zeigen, in den sandigen Böden nur geringe Mengen an organischer Substanz vorhanden, weshalb sich auch das Boden-C/N-Verhältnis in keinem Modell als signifikan-

ter Prädiktor erweist. Vermutlich findet die Stickstoffversorgung der Sämlinge nahezu ausschließlich über die mit dem Fluss- und Bodenwasser herangetragenen anorganischen Stickstoffverbindungen statt. Die intra- und interspezifische Konkurrenz um diese ist daher besonders groß und kann so die Überlebensrate der einzelnen Sämlinge beeinträchtigen.

Auch die Wasserverfügbarkeit beeinflusst die Mortalität der Keimlinge. Je höher der kapillare Aufstieg (und somit die Wasserversorgung der Wurzeln; WOODS & COOPER 2005, SHAFROTH et al. 2017), desto geringer erweist sich die Mortalität. Dass höhere Boden-Lagerungsdichten sowie höhere Schluff- und Tonanteile geringere Mortalitätsraten bewirken, lässt sich dadurch erklären, dass die Individuendichte insgesamt bei anoxischen Bodenbedingungen abnimmt (GUILLOY-FORGET et al. 2011) und somit eine geringere intra- bzw. interspezifische Konkurrenz zwischen den Einzelindividuen besteht. Die Bedeutung einer zumindest zeitweiligen Belüftung des Bodensolums und den negativen Auswirkungen einer längerfristigen Bodenanoxizität bestätigen auch die Untersuchungen von GAGE & COOPER (2005) und CASTRO-MORALES et al. (2014), in denen die Überlebensrate mit der Überschwemmungshäufigkeit des Bodens während der Vegetationsperiode abnahm.

Viele der erforderlichen Bedingungen für die Ansiedlung von Sämlingen hängen mit der Strömungsdynamik zusammen (SHAFROTH et al. 2017). Die hydrologischen Variablen wie der mittlere Wasserstand und die Überflutungsdauer gelten daher als die wichtigsten Einflussgrößen für die Ausprägung und Verbreitung von Weichholzarten (FOECKLER & BOHLE 1991, SPLUNDER et al. 1995, KARRENBURG et al. 2002). Hydrologische Bedingungen während der Vegetationsperiode können sich jährlich stark unterscheiden. Dementsprechend ist es wichtig, die Ergebnisse des Habitataignungsmodells unter Berücksichtigung der hydrologischen Faktoren am untersuchten Standort zu betrachten.

Im Vergleich zum mittleren Wasserstand der Jahre 2006–2015 von 197 cm lag der mittlere Wasserstand 2018 mit 149 cm deutlich unter dem Durchschnitt. Im Untersuchungsgebiet nahm der Wasserstand zu Beginn der Vegetationsperiode im Mai von 182 cm bis 92 cm stark ab. Im weiteren Verlauf bis Oktober wurden Wasserstandswerte zwischen 49 cm und 88 cm gemessen (WSA MAGDEBURG

2019, Messstation 5930033 in Boizenburg). Es lässt sich damit vermuten, dass sich 2018 Diasporenausbreitung und Wasserstand zeitlich gut ergänzt haben. Eine Ausbreitung der Diasporen war möglich, da der Wasserstand einerseits niedrig genug war, um diese auf Pionierstandorte zu befördern, andererseits hoch genug, um ausreichend Bodenfeuchtigkeit zur Verfügung zu stellen. Nach der Keimung im Frühjahr konnten die Sämlinge lange genug trocken liegen und wurden nicht überflutet, da die Fließrezession nach dem Hochwasserhöhepunkt sukzessiv genug war, um eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit zu gewährleisten, während sich die Sämlingswurzeln verlängerten und auf lange Frist den Kontakt zum Grundwasser herstellen konnten. Diese Beobachtungen werden durch die Untersuchungen von GUILLOY-FORGET et al. (2011) gestützt. Demnach muss der Wasserstandsrückgang und das Absinken des Grundwasserspiegels nach dem Höhepunkt der Fließganglinien zeitlich gut abgestimmt sein, um das Überleben und Wachstum nach der Keimung zu ermöglichen.

Literatur

- BAW – BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (2000): Hydraulische Berechnung der Wasserspiegeländerung bei Nutzungs- und Strukturänderung im Vorland der Unteren Mittelelbe. – BAW-Nr. 99.2.02.10004.00, Karlsruhe.
- BfG – BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2015): 2D-Modellierung an der unteren Mittelelbe zwischen Wittenberge und Geesthacht. Beschreibung der Strömungsverhältnisse und Wirkung von abflussverbessernden Maßnahmen auf Hochwasser der Elbe. – BfG Bericht 1848, Koblenz.
- BRV – BIOSPHÄRENRESERVATSVERWALTUNG NIEDERSÄCHSISCHE ELBTALAUE (Hrsg.) (2009): Biosphärenreservatsplan mit integriertem Umweltbericht. – Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalau“, Hitzacker.
- CARBIENER, R.; SCHNITZLER, A. (1990): Evolution of major pattern models and processes of alluvial forest of the Rhine in the rift valley. – *Vegetatio* 88: 115–129.
- CASTRO-MORALES, L.M.; QUINTANA-ASCENCIO, P.F.; FAUTH, J.E.; PONZIO, K.J.; HALL, D.L. (2014): Environmental Factors Affecting Germination and Seedling Survival of Carolina Willow (*Salix Caroliniana*). – *Wetlands* 34 (3): 469–478.
- CHEN, F.; WANG, C.; JIA, G. (2013): Ecology of *Salix variegata* seed germination: Implications for species distribution and conservation in the Three Gorges region. – *South African Journal of Botany* 88: 243–246.
- DEGNER, R. (2012): pH-Messung. Der Leitfaden für Praktiker. Wiley-VHC, Weinheim.
- ELLENBERG, H.; LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 6. vollständig neu bearb. und stark erw. Aufl. UTB Botanik. Ulmer, Stuttgart.
- ETTNER, B.; BROMBERG, L.; ORLIK, S.; STEINHOFF, K.-J.; LÖBNITZ, C.; WARNECKE, H.; THIELE, V. (2019): Hydraulische Berechnungen für die Entwicklung eines Auenstrukturplans an der Elbe in Niedersachsen. – *WasserWirtschaft, Technik-Forschung-Praxis* 11/2019; Springer Vieweg: 72–76.
- FINCK, P.; HEINZE, S.; RATHS, U.; RIECKEN, U.; SYSMANK, A. (2017): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. 3. fortgeschriebene Fassung. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*: 156–460.
- FOECKLER, F.; BOHLE, H. (1991): Fließgewässer und ihre Auen – prädestinierte Standorte ökologischer naturschutzfachlicher Grundlagenforschung. – In: HENLE, K.; KAULE, G. (Hrsg): Arten- und Biotopschutzforschung für Deutschland. Forschungszentrum Jülich, Jülich: 236–266.

- GAGE, E.A.; COOPER, D.J. (2005): Patterns of willow seed dispersal, seed entrapment, and seedling establishment in a heavily browsed montane riparian ecosystem. – *Canadian Journal of Botany* 83 (6): 678–687.
- GONZÁLEZ, E.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, V.; SHAFROTH, P.B.; SHER, A.A.; HENRY, A.L.; GARÓFANO-GÓMEZ, V.; CORENBLIT, D. (2018): Regeneration of Salicaceae riparian forests in the Northern Hemisphere – A new framework and management tool. – *Journal of environmental management* 218: 374–387.
- GUILLOY-FORGET, H.; GONZÁLEZ, E.; MULLER, E.; HUGHES, F.M.R.; BARSOUM, N. (2011): Abrupt Drops in Water Table Level Influence the Development of *Populus nigra* and *Salix alba* Seedlings of Different Ages. – *Wetlands* 31 (6): 1249–1261.
- HARTGE, K.; HORN, R. (1992): Die physikalische Untersuchung von Böden. Enke, Stuttgart.
- HECTOR, A. (2017): New statistics with R. An introduction for biologists. Reprinted (with corrections). Oxford University Press, Oxford – New York.
- IKSE - INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE (1995): Aktionsprogramm Elbe. Magdeburg.
- JÄGER, E.J. (Hrsg.) (2017): Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband. Springer, Berlin – Heidelberg.
- JOHNSON, W. C.R (1994): Woodland Expansions in the Platte River, Nebraska: Patterns and Causes. – *Ecological Monographs* 64 (1): 45–84.
- KARRENBERG, S.; EDWARDS, P.J.; KOLLMANN, J. (2002): The life history of Salicaceae living in the active zone of floodplains. – *Freshwater Biology* 47 (4): 733–748.
- KRÜGER, F.; SCHWARTZ, R.; KUNERT, M.; FRIESE, K. (2006): Methods to calculate sedimentation rates of floodplain soils in the middle region of the Elbe River. – *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 34 (3): 175–187.
- LAUTENSCHLAGER-FLEURY, D.; LAUTENSCHLAGER-FLEURY, E. (1994): Die Weiden von Mittel- und Nordeuropa. Bestimmungsschlüssel und Artbeschreibungen für die Gattung *Salix* L. Überarbeitete und erweiterte Neuauflage. Birkhäuser, Basel – Boston – Berlin.
- LEYER, I.; MOSNER, E.; SCHNEIDER, S.; LEHMANN, B.; GALONSKA, H. (2010): Praxisleitfaden zur Weichholzauen-Etablierung an Bundeswasserstraßen, ein Beitrag zum naturverträglichen Hochwasserschutz. Bericht aus dem DBU-Fördervorhaben KoWeB, Marburg – Karlsruhe.
- MARKUS-MICHALCZYK, H.; HANELT, D. (2019): Willow species vary in elevational occurrence and morphological characteristics on the tidal freshwater section of the Elbe estuary. – *Ecohydrology & Hydrobiology* 19 (1): 14–23.

- MARKUS-MICHALCZYK, H.; ZHU, Z.; BOUMA, T.J. (2019): Morphological and biomechanical responses of floodplain willows to tidal flooding and salinity. – *Freshwater Biology* 64 (5): 913–925.
- MIEHLICH, G. (2000): Eigenschaften, Genese und Funktionen von Böden in Auen Mitteleuropas. – In: FRIESE, K.; WITTER, B.; MIEHLICH, G.; RODE, M. (Hrsg.): Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Böden und Hydrologie, Schadstoffe, Bewertungen. Springer, Berlin: 3–18.
- MOSNER, E.; SCHNEIDER, S.; LEHMANN, B.; LEYER, I. (2011): Hydrological prerequisites for optimum habitats of riparian *Salix* communities – identifying suitable reforestation sites. – *Applied Vegetation Science* 14 (3): 367–377.
- MOSNER, E.; SCHNEIDER, S.; LEHMANN, B.; LEYER, I. (2009): Weichholzauen-Entwicklung als Beitrag zum naturverträglichen Hochwasserschutz im Biosphärenreservat Mittelelbe. – *Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt* 46: 29–40.
- NLWKN – NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (2017): Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelelbe, Rahmenplan. – Norden.
- PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D. (2016): nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. – R package version 3: 1–121.
- PRÜTER, J.; SCHWARZER, O. (2019): Kooperatives Auenmanagement im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue. – *WasserWirtschaft, Technik – Forschung – Praxis* 11/2019; Springer Vieweg: 66–71.
- RADTKE, A.; MOSNER, E.; LEYER, I. (2012): Vegetative reproduction capacities of floodplain willows-cutting response to competition and biomass loss. – *Plant biology* 14 (2): 257–264.
- RAVEN, J. A. (1992): The physiology of *Salix*. – *Proceeding of the Royal Society of Edinburgh, Section B Biological Sciences* 98: 49–62.
- SCHOLZ, M.; SCHWARZ, R.; WEBER, M. (2004): Flusslandschaft Elbe – Entwicklung und heutiger Zustand. – In: SCHOLZ, M.; STAB, S.; DZIOCK, F.; HENLE, K. (Hrsg.): Lebensräume der Elbe und ihrer Auen. Mit 31 Tabellen. (Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, 4) Weißensee, Berlin: 5–48.
- SHAFROTH, P.B.; SCHLATTER, K.J.; GOMEZ-SAPIENS, M.; LUNDGREN, E.; GRABAU, M.R.; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, J. (2017): A large-scale environmental flow experiment for riparian restoration in the Colorado River Delta. – *Ecological Engineering* 106: 645–660.

- SPLUNDER, I. van; BEYER, D.; GOUTBEEK, K.; KNAAPEN, P.M. (1997): Floodplain forest. Willows and poplars along rivers. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General for Public Works and Water Management, RIZA Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment. – RIZA rapport 97.030, Lelystad.
- SPLUNDER, I. van; COOPS, H.; VOESENEK, L.A.; BLOM, C.W. (1995): Establishment of alluvial forest species in floodplains: the role of dispersal timing, germination characteristics and water level fluctuations. – Acta Botanica Neerlandica 44 (3): 269–278.
- WOODS, S.W.; COOPER, D.J. (2005): Hydrologic Factors Affecting Initial Willow Seedling Establishment along a Subalpine Stream, Colorado, U.S.A. – Arctic, Antarctic, and Alpine Research 37 (4): 636–643.
- WSA – WASSERSTRASSEN- UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG MAGDEBURG (2019): Wasserstände an schifffahrtsrelevanten Pegeln. Messstation 5930033 in Boizenburg. URL: <https://www.elwis.de/DE/dynamisch/gewaesserkunde/wasserstaende/index.php?target=1&pegelId=33e0bce0-13df-4ffc-be9d-f1a79e795e1c> [Letzter Zugriff am 11.07.2019].

Anschriften der Verfasser:

Bennet Buhrke
Heinrich-Heine-Weg 24
24568 Kaltenkirchen
Bennet.Buhrke@posteo.de

Prof. Dr. Werner Härdtle
Lindenstraße 19
21409 Embsen
haerdtle@uni-lueneburg.de

Prof. Dr. Johannes Prüter
Am Deich 14
21354 Bleckede
prueter.radegast@t-online.de