

Ein Biodiversitätshotspot an der Belastungsgrenze

Naturschutz und Klimawandel im Leipziger Auwald

CHRISTIAN WIRTH | ROLF A. ENGELMANN | NORA HAACK | HENRIK HARTMANN | RONNY RICHTER | FLORIAN SCHNABEL | MATHIAS SCHOLZ | CAROLIN SEELE-DILBAT

Weltweit sterben Wälder unter dem Einfluss der Klimawandels. Jetzt trifft dieses Phänomen auch Deutschland mit voller Härte: Eine Waldfläche entsprechend derjenigen des Saarlands ist der Trockenheit und Hitze der beiden Jahre 2018 und 2019 zum Opfer gefallen. Auch den streng geschützten Leipziger Auwald hat es getroffen. Der Artikel erzählt von der akuten Krise eines Hotspots der Biodiversität. Eine wachsende Stadt, Entwässerung, eingeschleppte Schadpilze und der Klimawandel bringen das System nun an seine Belastungsgrenze.



Der Leipziger Hartholzauenwald zieht sich als grünes Band durch die Stadt Leipzig und gilt als zweitgrößter innerstädtischer Auenwald Deutschlands. Seine mächtigen Stieleichen und Eschen wurzeln in einer mehrere Meter dicken Lehmschicht, der typischen „Vega“ der Auen, die dort historisch durch die Überflutungen der drei Hauptflüsse Weiße Elster, Pleiße und Parthe abgelagert wurde. Deren hohe Sedimentfracht speiste sich aus der Bodenerosion im Zuge der bronzezeitlichen und mittelalterlichen Waldrodungen. Die fruchtbaren Böden der Leipziger Aue sind also ein Nebenprodukt der Urbarmachung Mitteldeutschlands durch unsere Vorfahren. Der Blick auf Landkarten des 19. Jahrhunderts zeigt ein dichtes Netzwerk von mäandrierenden Flüssen (Abbildung 1a). Dieses entstand durch die Aufspaltung (Bifurkation) und Wiedervereinigung (Anastomosen) von Flussläufen, die sich bei der plötzlich stark verminderten Fließgeschwindigkeit in der Leipziger Tieflandsbucht ihren Weg durch die abgelagerten Sedimente bahnen mussten und dabei ein Binnendelta bildeten. Die Schneeschmelze in den Mittelgebirgen verursachte damals regelmäßige Frühjahrshochwasser, die nur langsam abfließen und die die Waldvegetation von jeher geprägt haben [1]. Konkurrenzstarke

Baumarten, wie die Rotbuche und der Bergahorn, die auf nährstoffreichen Standorten dank ihrer dichten Kronen und ihrer hohen Schattentoleranz andere Baumarten verdrängen können, sind gleichzeitig am empfindlichsten gegenüber der sauerstoffzehrenden Wirkung von Überstauungen [2]. Sie spielen daher in regelmäßig überfluteten Auenwäldern kaum eine Rolle. Dies ermöglichte in der Leipziger Aue die Entwicklung eines an Baumarten reichen Hartholzauenwaldes (*Quercus-Ulmetum minoris*) (Abbildung 1d).

Der Hartholzauenwald ist natürlicherweise von der Stieleiche (*Quercus robur* L.), den drei Ulmenarten (Feld-, Flatter- und Bergulme – *Ulmus minor* Mill., *U. laevis* Pall., *U. glabra* Huds.) und der Gewöhnlichen Esche (*Fraxinus excelsior* L.; im Folgenden „Esche“) geprägt. Auf seltener überschwemmten Geländekuppen oder trockeneren Sandlinsen wird er durch Sommerlinde (*Tilia platyphyllos* Scop.) und Winterlinde (*Tilia cordata* Mill.), Hainbuche (*Carpinus betulus* L.), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.), Wildapfel (*Malus sylvestris* L. (Mill.)), Vogelkirsche (*Prunus avium* L.) und Salweide (*Salix caprea* L.) ergänzt. In dauerhaft vernässten Rinnen treten die Schwarzerle (*Alnus glutinosa* L. (Gaertn.)) und die Traubenkirsche

Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 72 erklärt.



ABB. 1 a) Natürliche Fluss Schleife der Weißen Elster südlich von Leipzig um 1900, b) Mittelwaldfläche um 1910, nach der Ernte der Stockausschläge in der Harth, dem südlichen Ausläufer des Leipziger Auwalds. Auf dem Bild ist Alexander Reichert zu sehen, einer der führenden Entomologen seiner Zeit. c) Leipziger Windröschen (*Anemone x lipsiensis*), d) Leipziger Auwald im Herbst: Die Farbenpracht weist auf den hohen Baumartenreichtum hin. Die Aufnahme erfolgte vom Leipziger Auwaldkran aus. Bildquelle für a) und b): Archiv des Naturkundemuseums Leipzig; zur Verfügung gestellt von Kurator Karl Heyde.

(*Prunus padus* L.) hinzu. Pionierbaumarten wie Hängebirke (*Betula pendula* L.) und Zitterpappel (*Populus tremula* L.) kommen vereinzelt auf Lichtungen und an Waldrändern vor. Die lichtdurchlässigen Kronen der Stieleichen und Eschen fördern eine dichte und reiche Strauch- und Krautschicht mit 12 Straucharten und über 200 Arten von Gräsern und Kräutern [1]. Besonders eindrücklich sind die Vielfalt und Pracht der Frühjahrsblüher. Ihr prominentester Vertreter ist der schon historisch nachgewiesene Bastard aus dem weißen und gelben Buschwindröschen, das Leipziger Windröschen (*Anemone x*

IN KÜRZE

- Habitattradition, Baumartenvielfalt und Nutzungsgeschichte machen den Leipziger Auwald zu einem **Hotspot der Biodiversität** von nationaler Bedeutung.
- Die Entwässerung des Gebiets und das Auftreten neuer Schadpilze haben die typische **Struktur und Baumartenzusammensetzung nachhaltig verändert**.
- Nach **zwei extremen Trockenjahren in Folge**, 2018 und 2019, beginnt die gewöhnliche Esche, die 40 Prozent der Waldfläche ausmacht, großflächig abzusterben.
- Lösungsansätze für die daraus resultierenden Naturschutzprobleme konzentrieren sich auf die **Wiederherstellung eines auentypischen Wasserhaushaltes** und müssen dabei auch den Klimawandel berücksichtigen.

lipsiensis Beck.) (Abbildung 1c). Die Struktur und der Baumartenreichtum des Leipziger Auwalds geht auch auf die historische Waldnutzung zurück, die Bewirtschaftung als sogenannter Mittelwald (Abbildung 1b). Dabei blieben wenige Eichenstämme als „Laßreitel“ für die Bauholzgewinnung und für die Eichelmast der Schweine stehen, während die Mehrzahl der anderen Baumarten regelmäßig „auf den Stock gesetzt“, also jung gefällt wurden. Die Arten des Hartholzauenwalds treiben danach wieder aus den Wurzelstöcken. Wenn diese „Stockausschläge“ Armdicke erreicht hatten, wurden sie meist als Feuerholz, aber auch zum Zaunbau oder zum Schnitzen verwendet. Diese Nutzungsform hat den natürlichen Baumartenreichtum bewahrt, vermutlich die Lindenarten im Gebiet gefördert und gleichzeitig die für den Artenschutz wichtigen starken Stieleichen mit ausladenden und totholzreichen Kronen hervorgebracht.

Der botanische Reichtum und die strukturelle Vielfalt spiegeln sich in einer bemerkenswert hohen und sehr eigenen Biodiversität von Tieren und Pilzen [3, 4]. Unter den Säugetieren sind die Europäische Wildkatze (*Felis silvestris* Schreber) und die elf Fledermausarten hervorzuheben. Im Leipziger Auensystem brüten 105 Vogelarten, darunter allein sieben Spechtarten, deren prominentester Vertreter der an Stieleichen gebundene Mittelspecht (*Dendrocopos medius* L.) ist. Für ihn trägt Deutschland gemäß der EG-Vogelschutz-Richtlinie eine besondere Schutzverantwortung. Die Verantwortung für den Auwald wird an einer Art der ► Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH) besonders deutlich: Der Maivogel (*Euphydryas maturna* L.), ein Schmetterling aus der Gruppe der Schreckenfaller, hat im Leipziger Auwald eines von nur vier Vorkommen in Deutschland. Bemerkenswert ist weiterhin der hohe Anteil von Urwaldreliktarten unter den holzbewohnenden Käfern, darunter der Eremit (*Osmoderma eremita* L.), eine weitere FFH-Art, die durch die Proteste um Stuttgart 21 bundesweit bekannt wurde.

Insbesondere über die Bewohner der Baumkronen ist im Leipziger Auwald viel bekannt. Ein ► Forschungskran auf Schienen inmitten des Waldes ermöglicht detaillierte Untersuchungen mithilfe einer Gondel, die sich in das Blätterdach hinabsenken lässt. Dort können Wissenschaftler*innen Proben nehmen, Experimente durchführen oder Fallen und Sensoren aufhängen. Der Kran wird vom ansässigen DFG-Forschungszentrum ► iDiv und der Universität Leipzig betrieben und dient der Grundlagenforschung zur Biodiversität. Drei Ergebnisse sind für den praktischen Naturschutz besonders wichtig: (1) Der Artenreichtum ist außerordentlich hoch; (2) ein hoher Anteil von Arten ist an eine oder wenige Baumarten gebunden; (3) viele Arten sind selten und in Roten Listen geführt. Dies soll am Beispiel der am besten untersuchten Artengruppe, der Käfer, illustriert werden: In systematischen Erhebungen in 12 bzw. 15 Individuen von drei Hauptbaumarten wurde in den Jahren 2016–2018 mit Hilfe von Kreuzfensterfallen während der Vegetationsperiode alle 14 Tage

die Käferfauna charakterisiert [5]. Allein in den Jahren 2016 und 2017 konnten 568 Käferarten gefunden werden. Von diesen sind 41 nach der Roten Liste entweder stark gefährdet oder vom Aussterben bedroht, und rund ein Viertel von diesen wiederum sind sogenannte Urwaldreliktarten, also Arten mit einer engen Bindung an Wälder, die eine lange Kontinuität des Waldbestandes aufweisen (Habitattradition). Die Urwaldreliktarten treten vermehrt in totholzreichen Strukturen auf. Etwa die Hälfte (47%) der Arten konnten nur in einer der drei Baumarten gefunden werden, und nur etwa ein Drittel der Arten waren Ubiquisten, die auf allen drei Baumarten vorkamen (Abbildung 2). Ähnliche Muster bezüglich der Bindung an Baumarten konnten in weiteren Studien am Forschungskran für viele andere Artengruppen gezeigt werden [4]. Auch die Urwaldreliktarten waren zum Teil an einzelne Baumarten gebunden, wobei Stieleiche und Esche die höchste Anzahl aufwiesen.

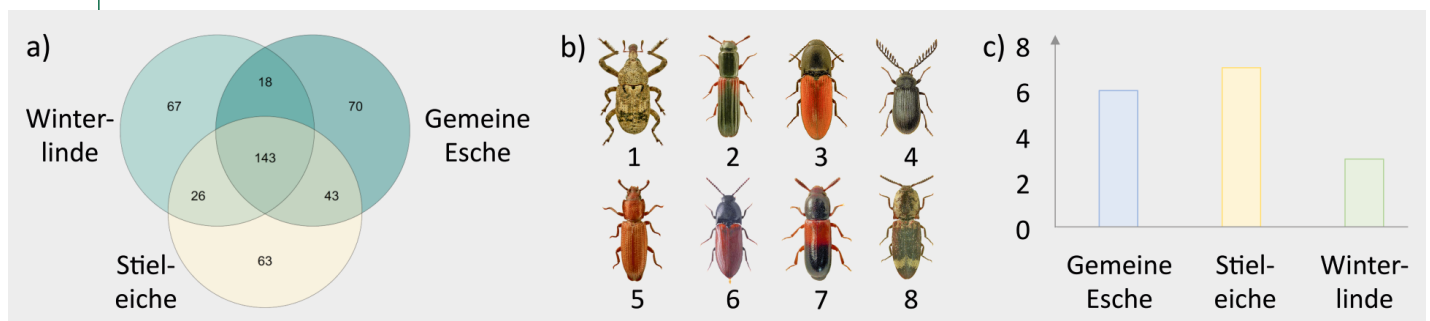
Die Entwässerung der Leipziger Aue und ihre Folgen

Die oben beschriebene Waldvegetation existiert heute im Gebiet nicht mehr. Sie schildert den Zustand des Auwalds Mitte des 19. Jahrhunderts. Wenig später begann die Gründerzeit, in der die Stadt Leipzig als Folge der Industrialisierung mit enormer Geschwindigkeit wuchs. Bekannte Leipziger Stadtteile wie das Musikviertel, die Südvorstadt oder Schleußig wurden in die Aue gebaut. Dies schuf zwei Probleme: Die neuen Quartiere mussten vor Hochwasser geschützt werden, und die sprunghaft angestiegene Last an ungereinigten Industrie- und Siedlungsabwässern musste schnell aus der Stadt abgeführt werden. In den 1930er Jahren wurde die Neue Luppe gebaut (Abbildung 3), ein Entwässerungskanal, der nicht nur Hoch- und Abwasser abführte, sondern auch ganzjährig den Grundwasserspiegel um 1,5–2 Meter senkte. Kleinere Fließgewässer und Mühlgräben versiegten, Altarme und ► Qualmwassersenkten fielen

trocken. Auch die vielen temporären Waldtümpel verschwanden, in denen das Wasser nach den Frühjahrshochwassern bis in den Sommer stand. Bis zu den jüngsten Hochwassern in den Jahren 2011 und 2013 hatte es im Auwald seit 1954, also fast 60 Jahre lang, keine Überschwemmungen mehr gegeben. Ab der Mitte des letzten Jahrhunderts führte der Braunkohletagebau im Leipziger Südraum zu einer zusätzlichen Absenkung des Grundwassers.

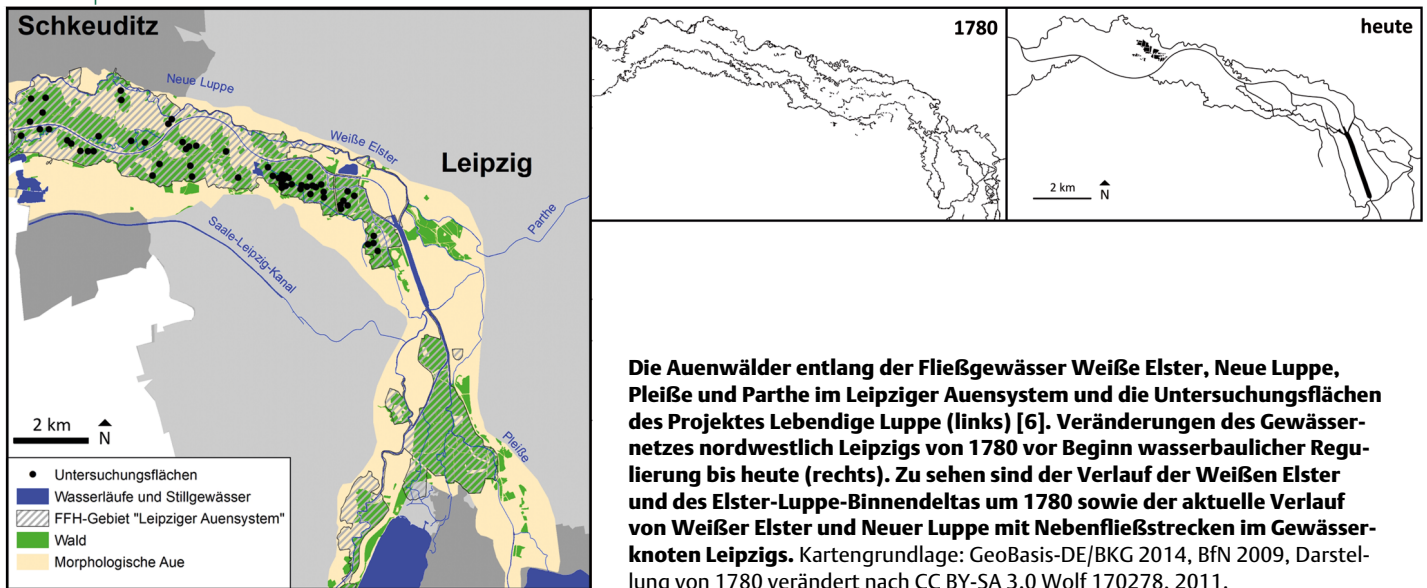
All dies führte dazu, dass sich die Standortbedingungen und damit die Konkurrenzverhältnisse zwischen den Baumarten grundlegend änderten. Das obere Kronendach der heutigen Waldvegetation mit seinen starken Stieleichen und Eschen trägt einen musealen Charakter. Dank der Langlebigkeit von Bäumen spiegelt es noch die Auenshydrologie und den Waldbau des 19. Jahrhunderts wider. Wer wissen möchte, wie der Wald der Zukunft aussieht, muss sich die Verjüngung am Waldboden und in den unteren Baumschichten anschauen. Hier dominieren heute zwei Ahornarten, der Bergahorn und zunehmend auch der Spitzahorn (*Acer platanoides* L.) sowie die Ulmenarten (v. a. der Hybrid aus Feld- und Bergulme *Ulmus x hollandica* Mill.), die es aufgrund des Ulmensterbens allerdings schon seit Jahrzehnten nicht mehr in das Kronendach schaffen (Abbildung 4). Im Projekt „Lebendige Luppe“, das vom Bundesamt für Naturschutz im Rahmen des Bundesprogramms Biologische Vielfalt gefördert wird und sich die Wiederherstellung der Auendynamik zum Ziel gesetzt hat, wurde die Verjüngung auf 60 über den Auwald verteilten Flächen detailliert untersucht (siehe Abbildung 3, schwarze Punkte, [6]). Die genannten Ahornarten machen die Hälfte der Verjüngung aus (47%). Dies liegt darin begründet, dass sie als nährstoffliebende aber stauwasserempfindliche Arten in einer ausgetrockneten Aue ideale Wuchsbedingungen vorfinden. Die Floren des 19. Jahrhunderts weisen den Bergahorn noch als selten aus [z. B. 7]; der Spitzahorn findet darin keine Erwähnung. Seit dem

ABB. 2 | AUWALDBÄUME ALS HABITAT FÜR URWALDRELIKTARTEN



a) Käferarten pro untersuchter Baumart: Gezeigt ist ein Venn-Diagramm der Funde an Käferarten in Kreuzfensterfallen in drei Baumarten des Leipziger Auwalds [5]. 200 Käferarten (47%) konnten nur in einer der drei Baumarten, 143 (33%) in allen drei Bäumen gefunden werden. **b) Urwaldreliktarten, die auf eine lange Habitattradition von Mischwäldern angewiesen sind:** 1: *Gastrocercus depressirostris*, 2: *Colydium filiforme*, 3: *Ampedus cardinalis*, 4: *Cerophytum elateroides*, 5: *Pycnomerus terebrans*, 6: *Ampedus brunnicornis*, 7: *Corticeus fasciatus*, 8: *Lacon querceus*. **c) Urwaldreliktarten pro untersuchter Baumart:** In der Stieleiche und der Esche, typischen Baumarten der Hartholzauenwälder, konnten die meisten Urwaldreliktarten an Käfern gefunden werden. Die Winterlinde repräsentiert eine Begleitbaumart, die auf der Fläche des Leipziger Auwaldkrans besonders stark vertreten ist. Sie bevorzugt seltener überschwemmte Standorte und wurde durch die historische Waldnutzung gefördert. Fotos der Käfer von Lech Borowiec.

ABB. 3 | DAS LEIPZIGER AUENSYSTEM



Bau der Neuen Luppe hatte der Bergahorn, verschont von Überschwemmungen, genug Zeit, um bis heute fast ein Fünftel des Bestands zu erobern und ins untere Kronendach aufzuschließen. Von dort aus verbreitet er seine flugfähigen Samen mittlerweile in jede Bestandlücke. Das hat Konsequenzen für die anderen Baumarten, insbesondere die Eiche: Der schattentolerante Ahorn ist in der Lage, aus mehreren Blättern eines Triebes einen dichten Schirm zu bilden, der kaum Licht durchlässt. Ist der Waldboden eines normalen Auwalds eher licht und sonnenfleckig, so ist er unterhalb der durchgehenden Ahornverjüngung gleichmäßig dunkel. Lichtbedürftige Arten wie die Eiche können hier zwar noch keimen und sich als Sämlinge heterotroph von der Stärke der Eichel ernähren, sobald diese aber aufgebraucht ist, gehen sie an Lichtmangel ein. In der genannten Untersuchung waren von insgesamt 9658 entlang von Transekten inventarisierten Jungbäumen nur 14 mehrjährige Eichenschösslinge. Auf die Fläche gerechnet hat die Stieleiche in der Strauchschicht nur einen Anteil von 0,3 Prozent. Der Vormarsch des Ahorns kombiniert mit einer mangelnden Naturverjüngung der Eiche wurde auch in anderen Hartholzauenwäldern Deutschlands beschrieben (Überblick in [8]). Die Forstleute haben dafür sogar einen Begriff geprägt: „Verahornung“. Es sei in diesem Zusammenhang erwähnt, dass die Zunahme der historisch nicht häufigen Esche seit 1850 vor allem auf Anpflanzungen zurückgeht.

Naturschutz und Forstwirtschaft in einem trockenen Auwald

Angesichts der zahlreichen seltenen und charakteristischen Tier- und Pflanzenarten und Biotope verwundert es nicht, dass der Leipziger Auwald einen hohen Schutzstatus genießt. Er ist ausgewiesen als Landschaftsschutzgebiet, als *Special Protection Area* (SPA) der EG Vogelschutz-

Richtlinie und als FFH-Gebiet (Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung (GGB) bzw. *Special Areas of Conservation* (SAC), u. a. für Lebensraumtyp Hartholzauenwald) und beherbergt vier Naturschutzgebiete. Da der Erhaltungszustand dieses Lebensraumtyps bundesweit insgesamt ungünstig bis schlecht ist [10], kommt dem Leipziger Auwald als sechstgrößtem zusammenhängenden Hartholzauwald mit knapp 720 ha innerhalb eines FFH-Gebietes in Deutschland eine hohe Bedeutung zu [11]. Das Schutzziel des Managementplans, der die Pflege und Entwicklung des ca. 2.824 ha großen Gebietes regelt, ist es daher, den Auwald in einer möglichst typischen Ausprägung zu bewahren. Das beinhaltet, dass die bestimmenden Baumarten Stieleiche und Esche im Ökosystem erhalten bleiben, nicht zuletzt, weil ein großer Teil der schützenswerten Kronen- und Totholzbewohner von diesen Baumarten abhängen. Die Feldulme wird genannt, ist aber während der zweiten Welle der Holländischen Ulmenkrankheit in den 1960er Jahren fast vollständig aus dem Oberstand verschwunden. Die durch den Pilz hervorgerufene Krankheit führt erst bei älteren Bäumen zur Mortalität, so dass die Feldulme trotz relativ starker vegetativer Verjüngung (Abbildung 4d) nicht mehr zum Starkbaum aufwächst.

Die Diskussion um den Erhalt der Stieleiche in Auwäldern bietet interessante Einblicke in den naturschutzinternen Konflikt zwischen Arten- und Prozessschützer*innen. Da die Stieleiche sich in Konkurrenz mit den Ahornarten aus Lichtmangel nicht mehr naturverjüngt, der FFH-Managementplan aber sogar eine Erhöhung des Eichenanteils anmahnt, wird die Stieleiche vom Forst in kleinen Lichtungen (ca. 40 × 40 m), sogenannten Femeln, angepflanzt. Bei der Anlage dieser Femel werden Starkeichen und Biotopbäume ausgespart. Das Saatgut für die Jungeichen wird vor Ort gesammelt. Die Femel werden durch Zäune gegen Wildverbiss geschützt und regelmäßig von Ahorn befreit,

da die fehlenden Überflutungen diesen nicht mehr natürlicherweise zurückdrängen. Die Richtlinien vom Bundesamt für Naturschutz zum Schutz des Lebensraumtyps „Hartholzauenwald“ empfehlen dieses Vorgehen [10], da fehlende Eichennaturverjüngung ein in ganz Deutschland verbreitetes Problem in Auwäldern ist [8]. Von Vertreter*innen des Prozessschutzes, die Eingriffe in Naturschutzgebiete ablehnen, wird dieses Vorgehen kritisiert. Es gibt hier zwei Argumentationslinien. Die erste ignoriert die oben genannten Befunde und behauptet, dass sich die Stieleiche im Leipziger Auwald sehr wohl verjüngt, dies aber von offizieller Seite unterschlagen wird, damit die Nutzung aufrechterhalten werden kann. „Um Eichen nachzuziehen, braucht man keine Löcher in den Wald backen“, so der Vorwurf des bekannten Försters Peter Wohlleben in einer Videobotschaft an die Leipziger Bürger*innen. Die zweite Argumentationslinie appelliert an unsere Geduld und stellt die Hypothese auf, dass Stieleichen sehr langlebig sind und in den nächsten Jahrhunderten Bedingungen auftreten könnten, die ihre Naturverjüngung wieder ermöglichen. Das ist durchaus möglich, vor allem wenn die Aue dereinst wieder dynamisiert sein

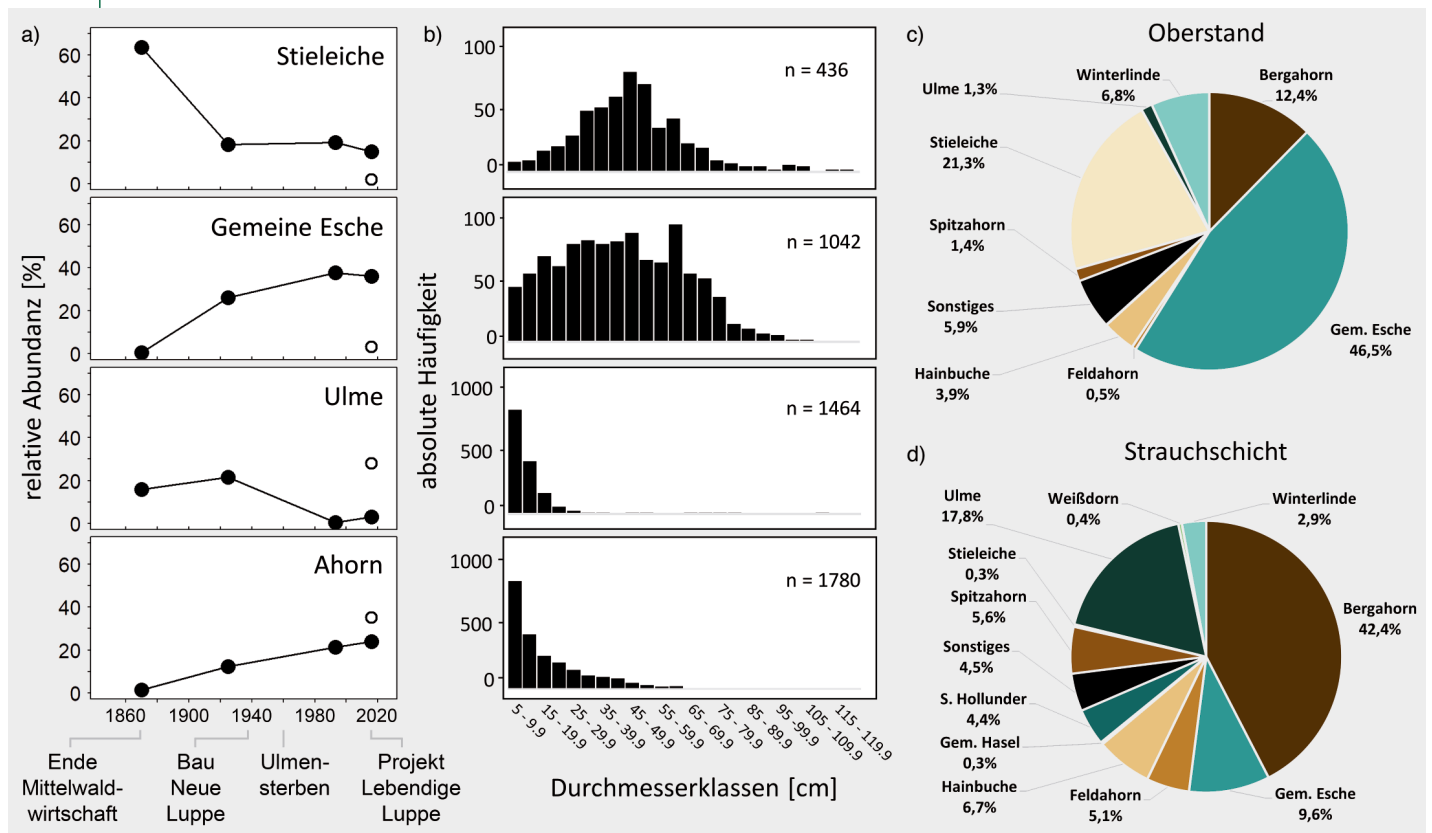
sollte (siehe unten), aber es ist nicht ohne Risiko. Die verbliebenen Alteichen, die noch aus der Zeit der Mittelwaldwirtschaft stammen, könnten bis dahin so stark reduziert sein, dass Populationen von eichenabhängigen Organismen zusammenbrechen.

Es ist wichtig zu verstehen, dass es sich hier nicht um einen Konflikt zwischen Forstwirtschaft und Naturschutz handelt. Die Forstwirtschaft setzt derzeit einen Managementplan um, der von Naturschutzexpert*innen aus Behörden und Verbänden erstellt wurde. Als Randnotiz sei hinzugefügt, dass eingreifender Naturschutz per Sense oder Schafherde – zum Beispiel beim Erhalt von Trockenrasen – Akzeptanz in der Bevölkerung genießt, nicht jedoch der Naturschutz per Motorsäge, die von manchen als Symbol der Naturzerstörung wahrgenommen wird.

Nicht gefeit gegen den Klimawandel

Die schleichenden Änderungen der Artenzusammensetzung haben das Bild des Auwalds für Laien nicht grundlegend verändert. Bis 2018 bot sich dem Besucher der Anblick eines mehrschichtigen geschlossenen Hochwaldes mit vereinzelt Feneln. Einige alte Eschen zeigten eine

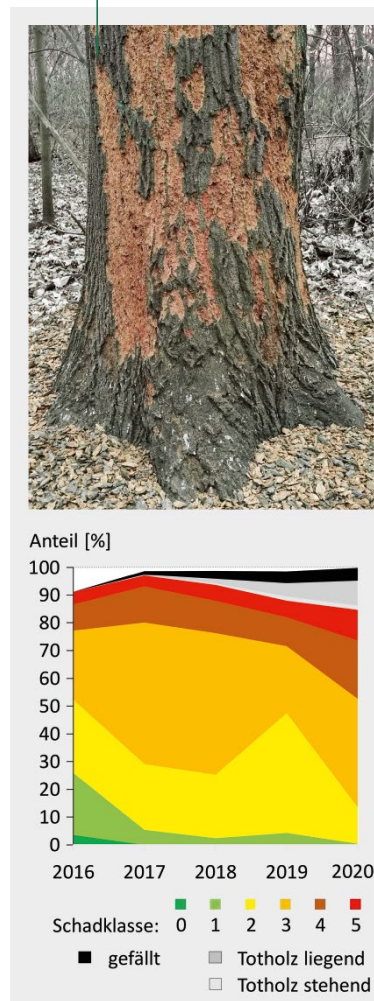
ABB. 4 | VERÄNDERUNGEN DER ARTENGEMEINSCHAFT DES LEIPZIGER AUWALDS



Gezeigt sind die Veränderung der Bestandszusammensetzung in prozentualen Anteilen von 1870 bis heute (a) sowie die absolute Häufigkeit der heutigen Hauptbaumarten sortiert nach Durchmesserklassen (b). Die beiden Kreisdiagramme rechts vergleichen die heutige Artenzusammensetzung der Baumschicht (c) und der Verjüngung im Unterwuchs (d). b–d) Inventur auf den 60 Untersuchungsflächen (je 0,25 ha) des Projekts „Lebendige Luppe“. Die Strauchschicht wurde über eine Transektmethode inventarisiert. Datengrundlage: a) 1870, 1925, 1993 aus Haase & Gläser (2009) [9] sowie für 2009, 2016 aus der Inventur Lebendige Luppe.

erste Auflichtung der Krone, die auf den Befall mit einem Pilzerreger (Eschentriebsterben durch *Hymenoscypha fraxineus* Baral) zurückgeht, der vom Baltikum vordringend spätestens 2010 in Leipzig eintraf. 2018 begann dann eine fast dreijährige Trockenperiode, ein in der jüngeren Geschichte Sachsens beispielloses Ereignis. Das Jahr 2018 war mit einem Dürreindex (► SPEI, DWD Station 2932 Leipzig/Halle) von -1.9 deutlich trockener als das bekannte Trockenjahr 2003 (-1.2; „European Heatwave“). Das Besondere: Das Jahr 2019 war ebenfalls ungewöhnlich trocken (-1.7). Da diese Werte für das ganze Jahr gerechnet wurden, bedeutet dies auch, dass die Wasserreserven über das Winterhalbjahr 18/19 nicht aufgefüllt werden konnten. Das Jahr 2019 begann bereits trocken und blieb es. Ähnliche Bedingungen herrschten in ganz Deutschland, und die Medien berichteten von den dramatischen Schäden. Das Johann Heinrich von Thünen-Institut schätzt die Schadensfläche auf 285.000 ha. Dies entspricht der Waldfläche des Saarlands. Vor allem die Fichtenwälder des Tieflands und die Buche sind betroffen, aber stellenweise waren auch die anderen beiden Hauptbaumarten Deutschlands, die Waldkiefer und die Stieleiche betroffen. Die Gründe für das Absterben der Bäume sind bisher nur unzureichend untersucht. Zwar kann man in manchen Situationen von einem Verdursten oder Vertrocknen der Bäume ausgehen, welches durch das Versagen des Wassertransportes infolge von Emboliebildung im Wasserleitsystem hervorgerufen wird. In den meisten Fällen muss man aber davon ausgehen, dass der Einfluss der Dürre auf die Vitalität der Bäume komplexer ist: Das Schließen der Spaltöffnungen reduziert die Photosyntheseaktivität. Der dadurch verursachte Kohlenstoffmangel („Hunger“) und ein eingeschränkter Zuckerttransport verringern zusätzliches Wurzelwachstum und damit die Wasseraufnahme und können zu einer Schwächung des Abwehrsystems der Bäume führen. Dadurch werden diese anfälliger gegen Krankheiten und Schädlinge [12].

ABB. 5 INVENTUR DES ESCHENSTERBENS



Oben: Vom Eschenbastkäfer befallene Esche der Schadklasse 5. Um an die Larven der Käfer zu gelangen, haben Spechte die äußere Borke entfernt, deren Bruchstücke sich am Stammfuß sammeln. Unten: Ergebnisse der Inventur des Eschentriebsterbens auf den Untersuchungsflächen des Projekts „Lebendige Luppe“ seit dem Jahr 2016 anhand von 1065 adulten Eschen. Der zeitliche Verlauf der Anteile verschiedener Schadklassen (0 = gesund bis 5 = absterbend) ist dargestellt. Der Anteil der toten (stehend, liegend oder geerntet) oder stark geschädigten und absterbenden Individuen ist bis zum Jahr 2020 auf 47% angestiegen. Vitale oder nur leicht geschädigte Individuen gibt es 2020 nicht mehr.

Verschwinden nach den Ulmen nun die Eschen?

Auch im Leipziger Auwald kam es in dieser Zeit zu dramatischen Waldschäden. Das ist bemerkenswert, sollte man doch davon ausgehen, dass Auwälder auf hydrologisch begünstigten Standorten einer Trockenheit leichter standhalten. Besonders schlimm hat es die Esche getroffen, die bereits durch das Eschentriebsterben vorgeschädigt war. Die Vitalität von 1065 adulten Eschen wurde in den Untersuchungsflächen „Lebendige Luppe“ seit 2016 erfasst. Dafür wurde der Boniturschlüssel der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt von 2016 verwendet (Abbildung 5). Individuen der Schadklassen 4 und 5 können als irreversibel geschädigt angesehen werden. Sie sind bereits von Eschenbastkäfern befallen (*Hylesinus fraxini* Fabricius, *H. toranio* D'Anthoine und *H. crenatus* Fabricius), ein untrügliches Zeichen des terminalen Zustands. Die hellen Rindenmale der nach Larven hackenden Spechte sind weithin sichtbar. Der Anteil der Individuen, die entweder diesen beiden Schadklassen angehören oder bereits abgestorben sind, ist seit 2016 von 14 auf 47 Prozent angestiegen. Weitere 39 Prozent gehören der nächsten Schadklasse 3 an, die durch aufgelichtete Kronen, vermehrte Totäste und beginnende Stammfußnekrosen charakterisiert ist. Gänzlich gesunde Individuen gibt es seit 2017 nicht mehr. Anekdotisch interessant ist, dass sich im ersten Trockenjahr 2018 mit einer stärkeren Belaubung die Schadenssymptome zunächst leicht besserten (siehe auch Abbildung 5), bevor sie dann im Jahr 2019 umso stärker zunahm. Das zweite Opfer der Trockenheit ist der Bergahorn. Die Rußrinden-Krankheit, eine weitere Pilzerkrankung (*Cryptostroma corticale* Ellis & Everh.), befallt nach Trockenstress vor allem Starkbäume des Bergahorns und kann diese innerhalb von wenigen Monaten abtöten. Eine Erstinventur der Mortalität im Sep-

tember 2020 hat ergeben, dass von einer räumlich verteilten Stichprobe von 1295 Ahornbäumen bereits ein Fünftel (20,1%) innerhalb eines Jahres abgestorben ist. Ein weiteres Drittel (34,3%) zeigt bereits Schadenssymptome.

Trockenstress in Echtzeit

Mithilfe des Leipziger Auwaldkrans, der 2001 von Prof. Wilfried Morawetz etabliert und nun vom DFG-Forschungszentrum iDiv weiter betrieben wird, war es möglich, Bäume mit Messgeräten zu instrumentieren (Abbildung 6). 2017 wurden von fünf Arten (Esche, Stieleiche, Winterlinde, Hainbuche, Bergahorn) 30 große Bäume am Stamm und in der Krone mit verschiedenen Sensoren bestückt, darunter drahtlos vernetzte Temperatursensoren, Zeitrafferkameras, die den Kronenschluss erfassen, und Stammflusssensoren, die die Wassertransportraten der Bäume messen. Ursprüngliches Ziel war die Untersuchung des Mikroklimas und der Kühlwirkung verschiedener Baumarten, aber die Sensoren zeichnen auch ein Bild der arttypischen Reaktionen auf die Trockenheit. Dies ist in Abbildung 7 am Beispiel der Eiche verdeutlicht. Eine automatisierte Bildanalyse der täglich aufgenommenen Kronenbilder für das Trockenjahr 2018 zeigt, wie der Kronenschluss (Anzahl der Bildpixel, die nicht als Himmel klassifiziert werden) von 77 Prozent im Mai auf 67 Prozent Anfang September abnimmt. Ob dies auf Blattfall oder die Änderung der Blattstellung zurückgeht, kann die Methode nicht feststellen. Visuelle Beobachtungen im Kronendach legen aber nahe, dass Strukturveränderungen eine Rolle spielen. Wir beobachteten eine Steilstellung der Blätter und eine Öffnung der Krone dadurch, dass bis zu 5 cm dicke Äste Turgorverlust erleiden und sich herab neigen (Abbildung 7, oben). Der Bergahorn wirft normalerweise seine Blätter nicht vor Ende Oktober ab. 2018 hatte er bis Anfang September 20 Prozent und bis Anfang Oktober 40 Prozent des Kronenschlusses eingebüßt. Hier war vorzeitiger Blattfall der Hauptgrund für die Auflichtung [13].

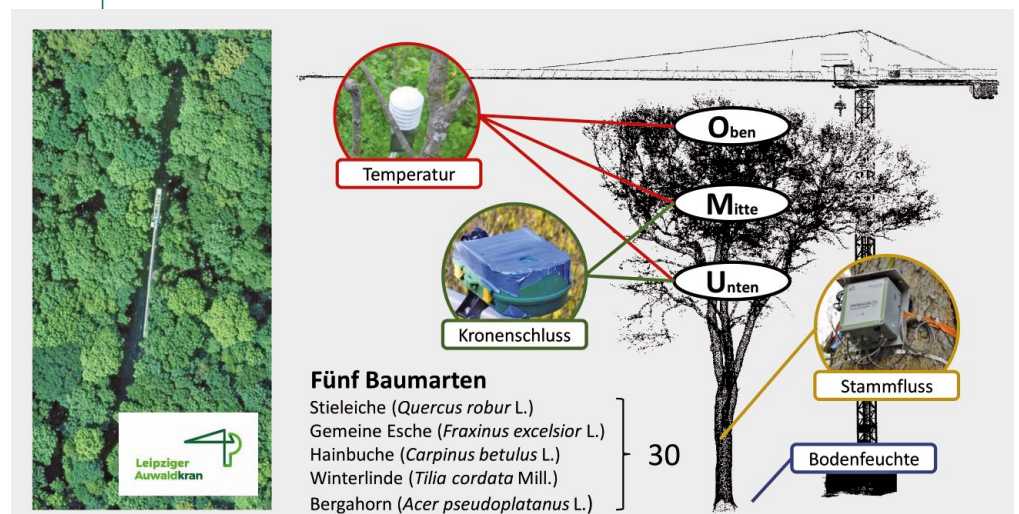
Der Wassertransport der Stieleiche zeigt die verstärkende Wirkung von aufeinander folgenden Trockenjahren besonders deutlich. Als isohydrische Baumart schließt die Eiche unter Trockenstress früh die Spaltöffnungen. Dies führt zu einer Reduktion des Wassertransports durch den Stamm, weil die Transpiration und somit auch die Sogwirkung der Blätter nachlassen. Im Jahr 2018 sinkt der Wassertransport beinahe linear um die Hälfte ab. Dies deutet darauf hin, dass die Wasservorräte des Auenlehms sukzessive entleert werden und damit der Trockenstress kontinuierlich zunimmt. Typischerweise füllen sich die Wasservorräte über die Wintermonate wieder auf. Auch wenn wir es nicht direkt gemessen haben, so scheint dies im Winter 2018/19 nicht geschehen zu sein. Anfang Mai 2019 ist der Wassertransport viermal gerin-

ger als zur gleichen Zeit in 2018 (etwa 0,08 gegenüber 0,32 ml cm⁻² min⁻¹), d. h. die Eiche beginnt die Wachstumsperiode bereits mit stressbedingt geschlossenen Spaltöffnungen. Nach Niederschlägen im Mai erholen sich die Raten kurzzeitig, um dann bei der einsetzenden Juni-Trockenheit auf die Hälfte der Vorjahresflüsse abzufallen – trotz vergleichbarer Witterung. Zum Spätsommer hin setzt dann witterungsbedingt eine leichte Erholung ein. Dieses Verhalten ist ein deutliches Indiz für den kumulativ verstärkenden Effekt der aufeinanderfolgenden Trockenjahre.

Trockenstress auch in der Fläche

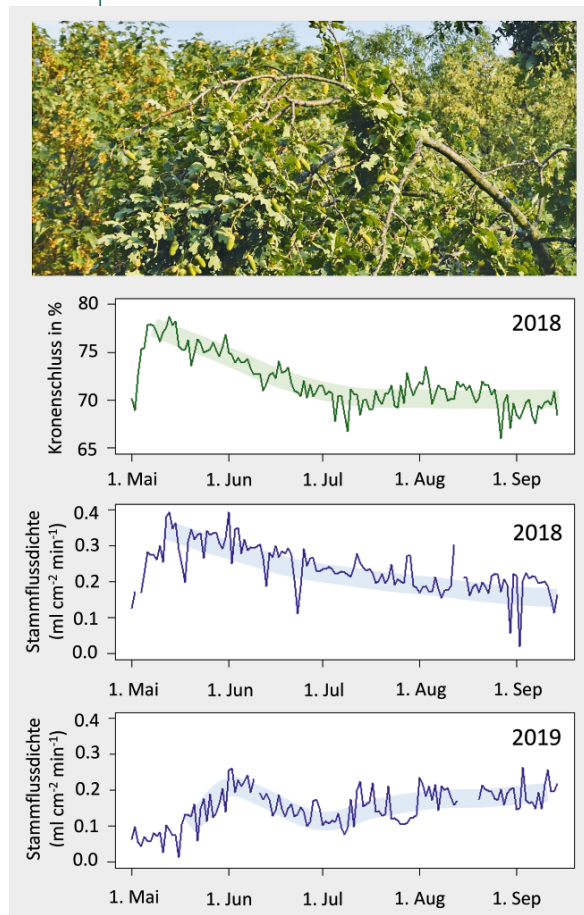
Die untersuchten Bäume befinden sich innerhalb einer kleinen Fläche von 1,6 ha. Da lokale Besonderheiten nicht auszuschließen sind, haben wir nach Möglichkeiten gesucht, das Ausmaß der unmittelbaren Stressreaktion anhand des Wachstums der Bäume im Gesamtgebiet zu quantifizieren. Um Wachstumsraten zu rekonstruieren, wurden im Rahmen der Bachelorarbeit von Sarah Purrucker [14] Holzbohrkerne von drei Baumarten (Eiche = 40, Esche = 42, und Bergahorn = 32 Individuen; jeweils ein Kern pro Individuum auf einer Höhe von 80 cm) gewonnen. Für die Standortauswahl haben wir abermals die Untersuchungsflächen des Projekts „Lebendige Lupe“ verwendet. Für jeden Kern wurde nach sorgfältiger Kreuzdatierung die Dicke der Jahrringe vermessen (Jahrringchronologie). Um den Einfluss der Trockenjahre zu quantifizieren, haben wir innerhalb der letzten 20 Jahre nach dem oben genannten Dürreindex klimatische Normaljahre und „normale Trockenjahre“ unterschieden (siehe Abbil-

ABB. 6 | DER FORSCHUNGSKRAN DES LEIPZIGER AUWALDS



Links: Luftbild des Auwaldkrans des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig im Luftbild. Die Schneise wird durch Gleise gebildet, auf denen der Kran über eine Distanz von 120 m bewegt werden kann und damit auf einer Fläche von 1,6 ha Zugang in den Kronenraum ermöglicht. In den Baumkronen und an den Stämmen von 30 Bäumen der fünf häufigsten Baumarten (rechts) wurden Klimasensoren installiert, die über ein drahtloses Netz ausgelesen werden können. Bilder sogenannter „Pheno-Cams“ (Zeitrafferkameras) in die Krone erlauben die Quantifizierung des Kronenschlusses. Stammflusssensoren messen den Transport von Wasser durch das Xylem der Stämme (siehe Abbildung 7).

ABB. 7 | EINFLUSS VON TROCKENHEIT AUF DIE STIELEICHE



Oben: Während der Trockenheit 2018 überhängende Äste im Kronendach von Stieleichen. Unten: Abnahme des Kronenschlusses bei drei Individuen der Stieleiche im Jahr 2018 um etwa 8 Prozent (oben – grün [10]; Bildanalyse mit WinSCANOPY Pro 2009a); Stammflussdichte (mitte und unten – blau) in denselben Individuen, die die Transpirationsleistung im Verlauf der Trockenjahre 2018 und 2019 zeigen. Tageswerte der maximalen Transpiration entsprechen hierbei dem 95% Quantil der auf der Fläche des Leipziger Auwaldkrans untersuchten Eichen (n = 3).

dung 8). Die mittleren Jahrringbreiten dieser beiden Gruppen wurden dann mit den aufeinander folgenden Extremjahren 2018 und 2019 verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass weder die Stieleiche noch der Bergahorn in normalen Trockenjahren oder im Jahr 2018 dünnere Jahrringe hatten (Abbildung 8). Die Wasserversorgung eines Auenstandorts kann das Wasserdefizit normalerweise abpuffern. Es brauchte für die beiden Baumarten ein Extremjahr in Serie (2019), um eine signifikante Wachstumsreduktion zu induzieren. Die anisohydrische Esche, die ihre Stomata bei Trockenheit erst sehr spät schließt, erwies sich als deutlich empfindlicher. Sie zeigte eine leichte, aber nicht signifikante Wachstumsreduktion in normalen Trockenjahren, eine signifikante im Jahr 2018 und eine extreme im Jahr 2019.

Die genannten Untersuchungen weisen in der Summe erhöhte physiologische Stressreaktionen bei allen untersuchten Baumarten während der beiden Extremjahre nach. Deren Ausmaß erscheint höher als in normalen Trockenjahren, und ohne Ausnahme fällt die Stressreaktion im zweiten Extremjahr 2019 intensiver aus, was die kumulative Wirkung von zwei Trockenjahren in Folge illustriert. Auch wenn wir es nicht unmittelbar belegen können, gehen wir davon aus, dass der physiologische Stress die Abwehrreaktionen gegenüber Pathogenen in Esche und Bergahorn reduziert und letztlich die Sterberaten der Populationen erhöht hat [15].

Und nun?

Von den drei Baumarten, die einen Hartholzauenwald eigentlich ausmachen, stehen zwei für die Erhaltung des entsprechenden FFH-Lebensraumtyps im Kronendach vermutlich nicht mehr zur Verfügung, nämlich die Ulme(n) und die Esche. Beide sind Opfer von eingeschleppten Schadpilzen geworden; bei der Esche hat jüngst der Klimawandel die Schadwirkung potenziert. Es ist an dieser Stelle wichtig, sich zu vergegenwärtigen, was diese durch Trockenheit verstärkten Kalamitäten für den Leipziger Auwald bedeuten: Die Esche ist mit einem Anteil von 40 Prozent die dominante Baumart des Gebiets (Abbildung 4 zeigt nur die Anteile innerhalb der Untersuchungsflächen). Zusätzlich beginnt der Bergahorn auszufallen, der einen Anteil von knapp 20 Prozent des gesamten Auwalds hat. Sollten Esche und Bergahorn weitestgehend zusammenbrechen, öffnen sich bis zu 60 Prozent des Kronendachs. Es entsteht eine Parklandschaft. Für den Erhalt der Biodiversität wäre es besonders wichtig, dass die verbliebenen alten Stieleichen von Kalamitäten verschont bleiben. Allerdings leiden die Stieleichen der benachbarten Elbauen durchaus unter der Trockenheit und einem damit zusammenhängenden Befall mit dem Zweifleckigen Eichenprachtkäfer (*Agrylus biguttatus* Fabricius). Bei unseren Käferstudien wurden bereits einzelne Exemplare des Eichenkernkäfers (*Platypus cylindrus* Fabricius) gesichtet, der als besonders aggressiver Eichenschädling gilt. Wir müssen zugeben, dass wir von der Geschwindigkeit der Entwicklungen in der Leipziger Aue ebenso überrascht worden sind, wie die Forstexpert*innen ganz Deutschlands vom „Waldsterben 2.0“. Dabei hätte man durchaus etwas ahnen können, denn erhöhtes Baumsterben und verstärkte Waldschäden, aufgrund von Dürre- und Hitzeereignissen in der Folge des Klimawandels, wurden schon seit über einem Jahrzehnt weltweit beobachtet (siehe Abbildung 9).

Das Negativszenario sieht folgendermaßen aus: Der Eschenbestand bricht vollends zusammen und auch die alten Mittelwald-Eichen leiden unter erhöhter Mortalität. Das Ahornsterben durch die Rußrinden-Krankheit überschreitet nicht die 50 Prozent, so dass ausreichend Samenbäume verbleiben, um die neu entstandenen Lücken

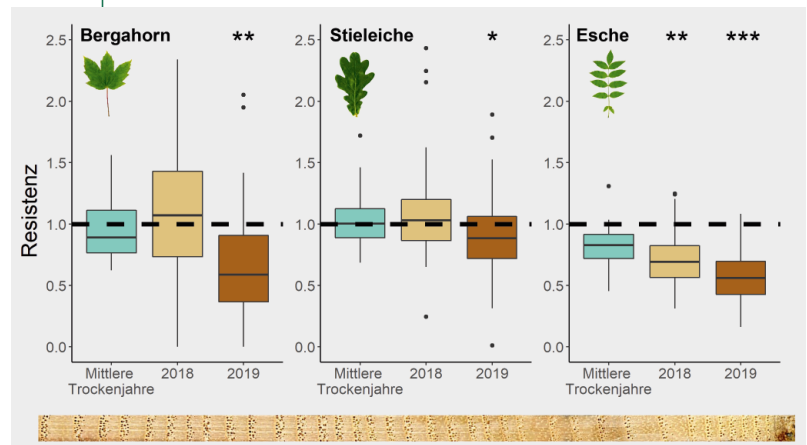
sofort mit Jungwuchs zu besetzen. So beschleunigt sich die „Verahornung“ trotz Rußrinden-Krankheit, und es entsteht als sogenanntes „*novel ecosystem*“ ein für diesen Lebensraum untypischer Dominanzbestand aus Ahornarten. Mit Verlust der charakteristischen Hauptbaumarten verschwinden unzählige an diese gebundene bedrohte Tierarten (siehe Abbildung 2). Der FFH-Schutzstatus geht verloren.

Ein optimistisches Szenario könnte so aussehen: Resistente Genotypen oder epigenetische Reaktionen bewahren die Esche mittelfristig im System. Die Eiche erweist sich als weitestgehend trockenheitsresistent. Sofortmaßnahmen des Landes Sachsen und der Stadt Leipzig stellen zeitnah ein Überflutungsregime wieder her, das den natürlichen Auwaldbedingungen entspricht und somit die Ahornverjüngung zurückdrängt. Die Öffnung des Bestands bei gleichzeitiger Kontrolle des Ahorns erlaubt eine Naturverjüngung der Eiche und der Esche. Die Flatterulme, die unter den drei Ulmenarten den höchsten Grad an Resistenz aufweist, wird gezielt gefördert und etabliert sich wieder.

Wasser ist die Lösung – aber gleichzeitig eine hart umkämpfte und knappe Ressource

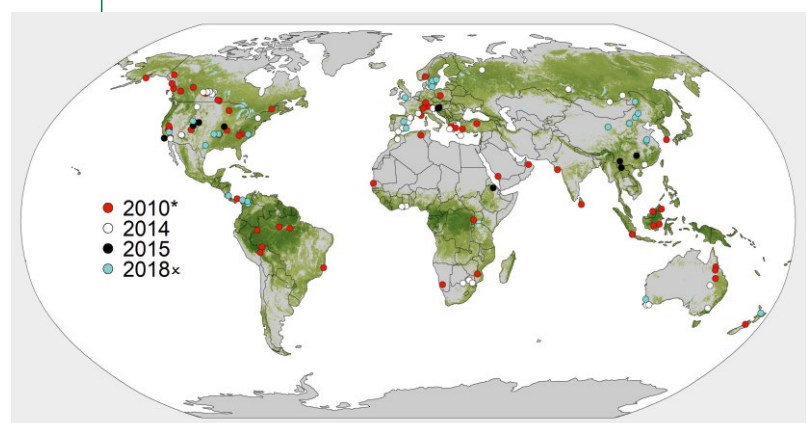
Wir müssen erkennen, dass die heutige Hydrologie der Leipziger Aue nicht die Kapazität hat, die derzeitigen Klimaextreme abzapfen. Bis hin zum Umweltminister von Sachsen, Wolfram Günther, ist die Erkenntnis gereift, dass unser Auwald nicht klimawandelfest ist und als FFH-Gebiet von nationaler Bedeutung Hilfe braucht. Es wurde eine Arbeitsgruppe einberufen, die Sofortlösungen und langfristige Rettungspläne erarbeitet. Die Wiederherstellung einer naturnahen Überflutungs- und Grundwasserdynamik auf möglichst großer Fläche, die auch ökologischen Hochwasserschutz gewährt, steht hierbei im Mittelpunkt. Dafür ist es notwendig, dass die Aue mit ausreichend Wasser versorgt wird. Aber es gibt konkurrierende Bedarfe. Die Stadtwerke benötigen Wasser zur Verdünnung ihrer geklärten Abwässer. Die Seen der Bergbaufolgelandschaft im Süden Leipzigs brauchen eine Wasserzufuhr, um ihren schwach sauren pH-Wert zu neutralisieren. Der Tourismus profitiert von aufgestauten Fließgewässern ohne Dynamik, die stromaufwärts mit Paddelbooten befahrbar sind. Gleichzeitig ist zu befürchten, dass das Wasserdargebot des Einzugsgebiets zurückgeht. Ohne Schnee in den Mittelgebirgen fällt nicht nur die Skisaison, sondern auch das Frühjahrshochwasser aus. Seit 2013 gab es keine nennenswerten Hochwasser mehr. Verdunstung und Rückhalt in Talsperren der Oberläufe aufgrund des Klimawandels könnte die Menge des zu verteilenden Wassers weiter reduzieren. Konkrete Lösungsmöglichkeiten werden in einem jüngst erschienenen Strategiepapier zusammengetragen und naturschutzfachlich bewertet [19]. Der Freistaat Sachsen und das BfN-Projekt „Lebendige Luppe“ erarbeiten derzeit ein Gesamtkonzept für das Leipziger Auensystem.

ABB. 8 | RESISTENZ DES JAHRRINGWACHSTUMS DES BERGAHORNS, DER STIELEICHE UND DER ESCHEN IN TROCKENJAHREN



Die Abbildung zeigt die Resistenz in den Extremjahren 2018 und 2019 im Vergleich zu der mittleren Resistenz in ausgewählten „normalen Trockenjahren“ (2003, 2006 und 2015 – SPEI-Werte < -1 in mindestens zwei von drei Zeitreihen: Ganzes Jahr, April–September, Mai–Juli). Ein Wert um 1 entspricht einem vergleichbaren Wachstum in Trocken- und Normaljahren. Die Abbildung darunter zeigt den Holzbohrkern einer Esche und illustriert den Jahrringzuwachs. Die Resistenz wurde als Jahringbreite in Trockenjahr(en)/mittlere Jahringbreite in klimatischen Normaljahren (2005, 2009, 2017 – SPEI-Wert > -1 und < 1) berechnet. Die Jahringbreiten wurden trendbereinigt. Statistisch signifikante Unterschiede in der Resistenz zwischen den Extremjahren 2018 und 2019 und normalen Trockenjahren wurden mit Linear Gemischten Modellen getestet und sind durch Asterisken über dem jeweiligen Jahr gekennzeichnet (**** $p < 0.001$; *** $p < 0.01$; ** $p < 0.05$). Schwarze Punkte = Extremwerte. Abb. aus [14].

ABB. 9 | EINFLUSS DES KLIMAWANDELS AUF DAS BAUMSTERBEN



Gezeigt ist der zeitliche Verlauf von Beobachtungen erhöhter Mortalität von Bäumen und verstärkter Waldschäden durch klimawandelbedingte Dürre- und/oder Hitzeereignisse. Alle hier markierten Ereignisse sind durch begutachtete wissenschaftliche Publikationen in den angegebenen Jahren belegt. Abb. aus * [16], * [17], Copyright: William Hammond.

Zusammenfassung

Der Leipziger Auwald ist ein streng geschützter Hartholzauenwald mit einer hohen und spezifischen Biodiversität. Diese verdankt er seiner langen Habitattradition, seinem Baumartenreichtum und seiner Nutzungsgeschichte. Flussregulierung und Deichbau in den 1930er Jahren haben das

GLOSSAR

FFH-Schutzgebiet: Hierbei handelt es sich um europäische bedeutsame Natur- und Landschaftsschutzgebiete, die nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG, 1992) ausgewiesen wurden. Diese sind Teil des Natura-2000-Netzwerks und dienen dem Erhalt und der Verbesserung besonders schutzwürdiger Lebensraumtypen und deren Charakterarten. Diese sind in den entsprechenden Anlagen zu den FFH-Richtlinien näher beschrieben. Hartholzauenwälder werden hierbei unter der Kennung LRT 91F0 geführt.

Forschungskran im Leipziger Auwald: Im Jahr 2001 hatte der im Jahr 2007 verstorbene Botaniker Prof. Wilfried Morawetz in Kooperation mit der Universität Leipzig, dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), der Firma Liebherr und der Stadt Leipzig den Kran im Leipziger Auwald errichten lassen, nachdem er zuvor fünf Jahre lang am oberen Orinoko, im venezolanischen Teil des Amazonastieflandes, Erfahrung mit dieser Art von Baumkronenforschung gesammelt hatte. Das Projekt wird seit 2014 durch das iDiv fortgeführt und fokussiert auf die Erforschung der Biodiversität der Baumkronen. Es ist das einzige Kranprojekt in einem Auwald.

iDiv: Das Deutsche Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig ist ein Forschungszentrum der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) mit über 300 Mitarbeiter*innen und Mitgliedern, die das Ausmaß, die Gründe und die Konsequenzen des Biodiversitätswandels der Erde sowie Möglichkeiten für den Schutz der Biodiversität erforscht (www.idiv.de).

Kreuzdatierung: Eine Methode der Dendrochronologie, bei der die Sequenzen von Jahrringbreiten einzelner Kerne anhand ihrer Korrelation mit regionalen Masterchronologien zeitlich korrekt eingepasst werden. Dies ist deswegen notwendig, weil bei Arten wie dem Bergahorn einzelne Jahrringe entweder komplett ausfallen oder nicht am gesamten Stammumfang ausgebildet werden.

Qualmwasser: Grundwasser, das in Geländesenken bei steigendem Grundwasserspiegel an die Oberfläche tritt und dort temporäre und typischerweise nährstoffarme Gewässer bildet.

SPEI: Standardised Precipitation Evaporation Index [18]. Ein vielfach verwendeter Index zur Charakterisierung von Trockenstress, der aus Niederschlagswerten und potenzieller Evapotranspiration eine Wasserbilanz annähert. Überdurchschnittlich trockene Jahre weisen Werte unter -1 auf.

Gebiet entwässert und die notwendigen Überflutungen unterbunden. Das hat die Struktur und die Artenzusammensetzung des Waldes stark verändert. Standortfremde Ahornarten sind auf dem Vormarsch, wodurch sich die Stieleiche nicht mehr verjüngt. Die extremen Trockenjahre 2018 und 2019 haben zu einem großflächigen Absterben vor allem der Esche geführt. Ökophysiologische Untersuchungen und Jahrringanalysen zeigen, dass die Stressbelastung in 2019 stark anstieg und das System an seine Belastungsgrenze geführt hat. Um den Hartholzauenwald zu retten, soll nun eine natürliche Überflutungs- und Grundwasserdynamik wiederhergestellt werden.

Summary Biodiversity conservation and climate change in the floodplain forest of Leipzig

The floodplain forest of Leipzig is strictly protected because of its high and unique biodiversity. This exists because of its continuous forest cover, its high richness of tree species and its management history. The river regulation in the 1930s has drained the forest and has prevented flooding which has strongly altered the structure and tree species compo-

sition of the forest. Shade-casting maple species, that were historically rare, are gaining dominance which suppresses the natural regeneration of pedunculate oak. The extreme drought years of 2018 and 2019 have led to a large-scale mortality, in particular of Common ash. Eco-physiological investigations and tree ring analyses show that the stress level in 2019 rose strongly and has pushed the system to its limits. To save the unique forest, revitalisation measures that restore the hydrological dynamics of the floodplain are planned.

Schlagworte

Hartholzauenwald, Naturschutz, Artenschutz, Klimawandel, Trockenheit

Danksagung

Wir danken allen Kolleg*innen und Studierenden, die mit ihrer Arbeit die Forschung im Leipziger Auwald befördert haben. Besonderer Dank gilt den Mitarbeiter*innen des Projekts „Lebendige Luppe“ für die Anlage des Plotnetzes, das uns heute repräsentative Aussagen ermöglicht. Wir danken auch den Kolleg*innen der AG Molekulare Evolution und Systematik der Tiere der Universität Leipzig für ihre entomologische Arbeit am Auwaldkran (Martin Schlegel, Detlef Bernhard, Ronny Wolf) sowie Klaus Henle. Wir danken Sarah Purrucker für ihre hervorragende Bachelorarbeit zu Wachstumsreaktionen auf Trockenstress sowie Andreas Sickert (Stadtforst) und Andreas Padberg (Sachsenforst) für die Möglichkeit, dafür Bohrkerne zu gewinnen. Unser Dank gilt auch Peter Gutte für seine grundlegenden Beiträge zur Botanik des Leipziger Auwalds. Das iDiv und die DFG finanzieren den Forschungskran.

Literatur

- [1] P. Gutte, Das Querco-Ulmetum minoris Issl. 1942, der Stieleichen-Ulmen-Hartholzauwald, in der Elster-Luppe-Aue bei Leipzig, Mauritiana (Altenburg), 2011, 22, 213–242.
- [2] E. Dister, E. Schneider, M. Scholz, M., Allgemeine Grundlagen, In: E. Schneider, M. Werling, B. Stammel, K. Januschke, G. Ledesma-Krist, M. Scholz, D. Hering, M. Gelhaus, E. Dister, G. Egger (Hrsg.), Biodiversität der Flussauen Deutschlands, Naturschutz und biologische Vielfalt, Bonn, 2017, 163, 25–40.
- [3] G. K. Müller, Die Leipziger Auen – Bestandsaufnahme und Vorschläge für eine Gebietsentwicklung, 1995, Hrsg. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung (SMU), 102 S.
- [4] M. Unterseher, W. Morawetz, S. Klotz, E. Arndt (Hrsg.), The canopy of a temperate floodplain forest – Results from five years of research at the Leipzig canopy crane, 2007, Leipzig: Universitätsverlag, Leipzig.
- [5] N. Haack et al., Patterns of richness across forest beetle communities – a methodological comparison of observed and estimated species numbers. Ecology and Evolution, 2020, <https://doi.org/10.1002/ece3.7093>
- [6] R. A. Engelmann et al., Reiner Prozessschutz gefährdet Artenvielfalt im Leipziger Auwald, 2019, UFZ Discussion Papers 08/2019, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, 14 S.
- [7] O. Kuntze, Taschen-Flora von Leipzig. Leipzig und Heidelberg, 1867, 298 S.
- [8] W. Härdtle et al., Pflanzengesellschaft des Jahres 2021: Hartholz-Auenwald (Ficario-Ulmetum). Tuexenia, 2020, 40, 373–399.
- [9] D. Haase, J. Gläser, Determinants of floodplain forest development illustrated by the example of the floodplain forest in the District of Leipzig, Forest Ecology and Management, 2009, 258, 887–894.
- [10] LRT 91F* – Hartholzauenwälder, https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/natura2000/Dokumente/91F0_Hartholzauenwaelder.pdf

- [11] M. Scholz et al., Ökosystemfunktionen von Flussauen – Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion, Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 124, 2012, 257 S.
- [12] N. G. McDowell, Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality, Plant Physiology, 2011, 155, 1051–1059.
- [13] H. Ballasus, Species effects on temperature regulation mechanisms in the tree canopies at the Leipzig Canopy Crane, 2019, Masterarbeit an der Universität Leipzig, Fakultät für Lebenswissenschaften, 2019, 90 S.
- [14] S. Purrucker, Drought stress of selected tree species in the summers 2018/19 in the Leipzig floodplain forest depending on the ground-water level, Bachelorarbeit an Universität Leipzig, Fakultät für Lebenswissenschaften, 2020, 88 S.
- [15] R. Matussek, H. Schnyder, W. Oßwald, D. Ernst, J.C. Munch, H. Pretzsch (Eds.), Growth and Defence in Plants. Ecological Studies Vol. 220, 2012.
- [16] C. D. Allen et al., A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests, 2010, Forest Ecology and Management, 2010, 259, 660–684.
- [17] H. Hartmann et al., Research frontiers for improving our understanding of drought-induced tree and forest mortality, 2018, New Phytologist, 2018, 218, 15–28.
- [18] S. M. Vicente-Serrano et al., A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, J. Climate, 2010, 23, 1696–1718.
- [19] C. Wirth et al., Dynamik als Leitprinzip zur Revitalisierung des Leipziger Auensystems - 10 Thesen zur Revitalisierung der Leipziger Aue, eine Vision, ein konkreter Maßnahmenkatalog mit Karte zu Dynamisierungsoptionen und ein Ausblick mit Realisierungsvorschlägen. UFZ Discussion Papers 9/2020.



Henrik Hartmann ist Gruppenleiter am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena, wo er sich mit Reaktionen von Bäumen und Wäldern auf den Klimawandel beschäftigt. Er ist zudem Koordinator der IUFRO Task Force zum globalen Monitoring von Baumsterben und des International Tree Mortality Networks.



Ronny Richter ist derzeit wissenschaftlicher Koordinator des Leipziger Auwaldkrans am Deutschen Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig. Das Augenmerk seiner Forschung gilt insbesondere der Regulation des Mikroklimas in Wäldern. Zudem beschäftigt er sich mit der Erfassung von Artenvielfalt und Ökosystemfunktionen mittels satelliten- und flugzeuggestützter Datenerhebung.



Florian Schnabel studierte Umweltnaturwissenschaften und Forstwissenschaften an der Universität Freiburg mit Studien und Forschungsaufenthalten in Südamerika, Südostasien und den Niederlanden. Aktuell arbeitet er als Doktorand am Deutschen Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig und an der Arbeitsgruppe für Spezielle Botanik und Funktionelle Biodiversität der Universität Leipzig. Als Teil des Internationalen Graduiertenkollegs TreeDi erforscht er den Einfluss von Baumartendiversität auf das Wachstum und die Stabilität von Wäldern unter Trockenstress.

Die Autoren



Christian Wirth ist Pflanzenökologe und Professor für funktionelle Biodiversitätsforschung an der Universität Leipzig. Er fungiert dort als Sprecher des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig und leitet den Botanischen Garten. Als Max-Planck-Fellow ist er mit dem Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena verbunden. Er erforscht die Bedeutung der Biodiversität für Ökosystemprozesse von der lokalen zur globalen Skala. Der Erforschung und dem Schutz der Wälder unserer Erde gilt sein besonderes Interesse.



Mathias Scholz arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Department Naturschutzforschung des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig und ist Leiter der Arbeitsgruppe Auenökologie. Seine Expertise umfasst Themen wie die Renaturierung von Flusslandschaften, Bewertung von Ökosystemfunktionen und -leistungen in Überschwemmungsgebieten oder die Auswirkungen des Klimawandels auf Auenfunktionen auf verschiedenen Skalenebenen.



Rolf A. Engelmann studierte Biologie an den Universitäten Halle (Saale) und Leipzig. Seit einigen Jahren erforscht er den Leipziger Auwald im Rahmen des Projekts „Lebendige Luppe“. Zurzeit arbeitet er am Leipziger Auwaldkran des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig und in der Arbeitsgruppe für Spezielle Botanik und Funktionelle Biodiversität der Universität Leipzig.



Carolin Seele-Dilbat studierte Biologie an den Universitäten Kassel und Leipzig. Sie ist aktuell Postdoktorandin in der Arbeitsgruppe Spezielle Botanik und Funktionelle Biodiversität der Universität Leipzig und forscht zu den ökologischen Konsequenzen von Auenregulierung und den Effekten von Revitalisierungsmaßnahmen in Auen.



Nora Haack studierte Biologie an den Universitäten Leipzig und Be'er Sheva, Israel. Sie promoviert aktuell am Deutschen Zentrum für Integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig und forscht zu den Faktoren, die Seltenheit und Abundanz von xylobionten Käfern im Leipziger Auwald beeinflussen.

Korrespondenz:

Prof. Dr. Christian Wirth
 AG Spezielle Botanik und funktionelle Biodiversität
 Fakultät für Lebenswissenschaften
 Universität Leipzig
 Johannisallee 21–23
 04301 Leipzig
 E-Mail: cwirth@uni-leipzig.de