



Scopus Indexed Journal

**Waldökologie, Landschaftsforschung und
Naturschutz – Forest Ecology, Landscape
Research and Nature Conservation**

www.afsv.de/index.php/waldoekologie-landschaftsforschung-und-naturschutz



Zur Natürlichkeit der Stieleiche (*Quercus robur* L.) in Flussauen Mitteleuropas – eine Fallstudie aus dem Naturschutzgebiet „Kühkopf-Knoblochsaue“ am hessischen Oberrhein

*Naturalness of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) on alluvial sites in Central Europe – case study from the Nature reserve “Kühkopf-Knoblochsaue” at the Upper Rhine River, Hesse*

Albert Reif, Ralph Baumgärtel, Emil Dister & Erika Schneider

Abstract

Hardwood floodplain forests can have as many as eight tree species in the forest canopy. This puts them among the forests with the highest tree species diversity in Europe. Additionally, these forests are home to a large number of endangered plant and animal species. However, the absence of oak seedlings during the stand establishment phase of hardwood riparian zones, in what are frequently oak forest communities, is a serious concern for nature conservation. In many places the establishment of oak has been assisted by expensive silvicultural procedures to ensure that Pedunculate oak will constitute at least a small proportion of the species composition in the next generation. An additional theoretical question is, whether Pedunculate oak is a natural component in such floodplain forests, or not. In the Hardwood Floodplain Nature Reserve Kühkopf-Knoblochsaue, located in the state of Hesse, Germany, Pedunculate oak regeneration was studied during an establishment phase on two different unmanaged areas. Here succession was occurring on land newly created by the deposition of sediments near the high water mark following heavy flooding. The data collected included site description, total number of Pedunculate oak, an assessment of their vitality as well as a characterization of their growth. The 4.53 hectare study area contained five structural vegetation types, namely (1) shrub-rich pioneer forest; (2) open to gappy woodland; (3) semi-open to closed woodland; (4) nearly closed woodland, fenced; (5) closed pioneer forest, fenced. On these a total of 155 oaks were inventoried (34 oak trees per ha). Although browsing had hindered the establishment of oak, many vigorous and sturdy specimens were found in all strata. There was strong competition from ground vegetation such as the shade produced which impaired oak seedling growth. Where especially dense stands of goldenrod (*Solidago canadensis*)

and reed grass (*Calamagrostis epigeios*) occurred, oak regeneration was absent.

The stands in the Kühkopf demonstrate that Pedunculate oak can establish successfully on newly created environments such as those resulting from sedimentation after large floods. In these hardwood riparian environments, where competition was initially low and wildlife controlled, the establishment of Pedunculate oak was natural and the trees grew into the tree canopy layer. This is evidence that oak is indeed a natural component of this biotope. The absence of Pedunculate oak natural regeneration, as seen today in many riparian oak stands, can be attributed to changes in flood deposition dynamics that fail to provide the appropriate conditions required for natural oak regeneration processes to occur, combined with high rowdeer densities.

Keywords: *Quercus robur*, Pedunculate Oak, regeneration, riparian forest, Rhine

Zusammenfassung

Hartholzauwälder gehören mit bis zu acht Baumarten in der Kronenschicht zu den Wäldern mit der höchsten Baumartenvielfalt in Europa und beherbergen eine Vielzahl gefährdeter Pflanzen- und Tierarten. Das Fehlen von Eichen in der Etablierungsphase in ansonsten eichenreichen Waldgesellschaften wie Hartholzauen ist daher naturschutzfachlich gravierend. Vielerorts wird mit starken waldbaulichen Eingriffen und finanziellem Aufwand versucht, zumindest einen Anteil an Stieleiche in die nächste Bestandesgeneration hinüber zu retten. Hinzu kommt die eher konzeptionelle Frage der Natürlichkeit der Stieleiche in Hartholzauwäldern.

In der Hartholzau im Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsaue in Hessen wurde Stieleichenverjüngung in der Etablierungsphase auf zwei unterschiedlichen ungesteuerten Sukzessionsflächen untersucht, welche nach starken

Hochwässern entstanden und von Hochwasser geprägt sind. Dies beinhaltet die Beschreibung des Standorts, die Quantifizierung der Eichenanteile, die Einschätzung ihrer Vitalität sowie die Charakterisierung des Wachses der Stieleiche. Auf der insgesamt 4,53 Hektar großen Inventurfläche fanden sich fünf Strukturtypen (Straten) in Form (1) eines strauchreichen Pionierwalds; (2) eines offenen bis lückigen Gehölzkomplexes; (3) eines halboffenen bis geschlossenen Gehölzkomplexes; (4) eines fast geschlossenen Gebüschkomplexes, gezäunt; sowie (5) eines geschlossenen Pionierwalds, gezäunt. Auf diesen kamen insgesamt 155 Stieleichen vor und wurden aufgenommen (34 Stieleichen/ha). Es zeigte sich, dass Wildverbiss die Etablierung der Eiche zwar behinderte, dennoch in allen Straten stabile, vitale Jungeichen heranwachsen konnten. Starke Überschirmung und Konkurrenz durch Bodenvegetation wirkten sich negativ auf das Wachstum aus, bis hin zum Ausfall von Eichenverjüngung in Herden von Goldrute (*Solidago canadensis*) und Reitgras (*Calamagrostis epigeios*).

Die Bestände am Kühkopf zeigen, dass sich die Stieleiche nach starken Hochwasserereignissen auf neu aufgelandetem Substrat unter den dann konkurrenzarmen Bedingungen und bei zugleich kontrolliertem Wildstand in Hartholzauen erfolgreich natürlich etabliert und auch in die Baumschicht einwächst, also Bestandteil der natürlichen Vegetation dieses Lebensraumes ist. Das Ausbleiben der natürlichen Eichenetablierung in den heutigen Überflutungsaunen ist demnach auf die dort weitgehend fehlende Substratdynamik nach starken Hochwässern und damit fehlende natürliche Auen-sukzession sowie hohe Rehwildichten zurückzuführen.

Schlüsselwörter: *Quercus robur*, Eiche, Verjüngung, Auwald, Rhein

1 Einleitung

Die Stieleiche (*Quercus robur* L.) ist eine der wichtigsten Baumarten Deutschlands und besitzt auch in der Mythologie eine hohe Bedeutung (HASEL & SCHWARTZ 2006, MANTEL 1990, ROLOFF & BÄRTELS 2014). Auf wechsellässigen, lehmigen Böden sowie in den Auen großer Flüsse ist sie in vielen Laubmischwäldern wichtige Mischbaumart (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010) und syntaxonomisch gesehen namensgebend für mehrere mitteleuropäische Waldgesellschaften auf einer Vielzahl von Standorten und Waldgesellschaften (OBERDORFER 1992).

Die Stieleiche ist in der Lage, Hochwasserperioden bis zu durchschnittlich drei Monaten pro Jahr, in Extremjahren bis über 200 Tage zu überleben (ASTRADE & BÉGIN 1997, DISTER 1983, FRYE & GROSSE 1992, SPÄTH 1988, 2002). Dies verdankt sie ihrer ausgeprägten Überflutungstoleranz, ermöglicht durch ihre Fähigkeit zur morphologischen und physiologischen Anpassung (GLENZ et al. 2006, KRAMER et al. 2008). Hervorgehoben sei die Fähigkeit der Stieleiche zu Energiegewinnung aus alkoholischer Gärung, indem die aerobe mitochondriale Respiration ersetzt wird durch die weit weniger effektive alkoholische Gärung. Hierbei wird das aus dem Glucoseabbau kommende Pyruvat mittels des Enzyms Pyruvatdecarboxylase und unter Abspaltung von CO₂ in Acetaldehyd, dieses wiederum durch Alkoholdehydrogenase unter Bildung des energiereichen NADH in Äthanol umgewandelt (KREUZWIESER et al. 2002, SCHMULL & THOMAS 2000). Dies ermöglicht Energiegewinnung und somit die Aufrechterhaltung des Stoffwechsels auch während einer längeren Überflutungsperiode. So finden sich in der

Stufe der Hartholz-Auenwälder vieler mitteleuropäischer Flüsse Eichen-Ulmen- oder Eichen-Hainbuchen-Wälder mit teilweise erheblichen Volumenvorräten an Eichen. Alle diese Bestände sind jedoch geprägt durch menschliche Förderung der Eiche, vor allem in Form der früher bedeutsamen Mittelwaldwirtschaft mit herrschenden Eichen im Oberstand. Die Eiche hatte früher zentrale Bedeutung zur Eichelmast sowie zur Gewinnung von Bau- und Brennholz (HASEL & SCHWARTZ 2006, MANTEL 1990).

Heute ist in vielen Beständen potenziell natürlicher wie auch sekundärer Eichen- und Eichen-Hainbuchen-Wälder ein Rückgang der Eichenanteile zu beobachten. Durch natürliches Absterben und Holzernte nehmen die Alteichen zunehmend ab, in vielen Naturwaldreservaten – also ohne steuernde Eingriffe – werden die ehemals waldbaulich geförderten Eichen durch Buche und andere Baumarten zunehmend verdrängt (BECKER 1990, HAUSCHILD 2006b). Keimlinge sterben in den dichter werdenden Beständen früh wieder ab. Dies zeigt, dass sich Eichensämlinge in Wäldern heute ohne menschliche Förderung in der Regel nicht etablieren können (REIF & GÄRTNER 2007). Hauptursachen scheinen Lichtmangel, eine dichte Konkurrenzvegetation sowie Wildverbiss zu sein (vgl. REIF & GÄRTNER 2007). Einzig in Saum- und Mantelstrukturen an Waldrändern oder in Gebüschern wird ihre Etablierung, also das Heranwachsen bis hin zur Beteiligung in der Baumschicht, häufiger beobachtet (REIF & GÄRTNER 2007), weshalb die Stieleiche als langlebige Pionierart eingestuft werden kann (IKAUNIECE et al. 2012, LAWESSON & OKSANEN 2002).

Auch in der Hartholzaue nehmen die Eichenanteile ab. Jedoch sind die natürlichen Anteile der Stieleiche in diesen Wäldern bis heute unklar und strittig. Sich selbst etablierende Jungeichen werden in den noch verbliebenen mitteleuropäischen Auenwäldern praktisch nirgends beobachtet (SIEBEL & BOUWMA 1998, KÜHNE & BARTSCH 2006). Aus diesem Grund wird von mehreren Autoren die Natürlichkeit der Stieleiche in der heutigen Hartholzaue bezweifelt, wird der Name „*Quercus-Ulmetum*“ als nicht adäquat verworfen und anstelle dessen in Anlehnung an OBERDORFER (1953) die Bezeichnung „*Fraxino-Ulmetum*“ vorgeschlagen (HAUSCHILD et al. 2006a).

Allerdings sind in fast allen Auenwaldgebieten Mitteleuropas der Standort und insbesondere das Wasserregime stark verändert (DÉCAMPS et al. 1988, DISTER 1999, BRUNOTTE et al. 2009). Während Hoch- und Niedrigwasserstände vielfach auch weiterhin wirksam sind, wurden Substratverlagerungen durch Erosion, Transport und Auflandung neuen Rohbodens, also von Zerstörung von Beständen und Neuentstehung an anderer Stelle, weitestgehend unterbunden. Hinzu kommt eine starke Überformung der meisten Auenlandschaften und auch Wälder durch Nutzungs- und Pflegeeingriffe sowie fast überall deutlich überhöhte Wildbestände. Somit ist der empirische Nachweis von sich natürlich, also ohne Hilfe des Menschen, etablierenden Jungeichen in einer Hartholzaue mit natürlicher Standortsdynamik nur an wenigen Stellen möglich (DISTER & DRESCHER 1987), somit konnte der Nachweis der Sukzession von einem Weiden-Pappel-Pionierwald zu Eichen-Ulmen-Waldgesellschaften bislang noch nicht erbracht werden (HAUSCHILD 2006).

Einzigartige Hinweise zur natürlichen Etablierung von Stieleichen im Bereich der Hartholzaue des Rheins verdanken sich der über Jahrzehnte ungestörten Waldentwicklung im Bereich des hessischen Naturschutzgebietes und FFH-

Gebiets „Kühkopf-Knoblochsau“ am nördlichen Oberrhein (Abb. 1). In diesem Gebiet der Mäanderzone des Rheins findet nicht nur eine deutlich veränderte, aber noch einigermaßen naturnahe Überflutungsdynamik mit wechselnden Hoch- und Niedrigwasserständen statt (DISTER 1999). Darüber hinaus haben langdauernde, starke Hochwässer eine seit etwa drei Jahrzehnten natürliche, ungesteuerte Substratverlagerung (Erosion, Transport, Sedimentation) induziert. Nach einem Dambruch durch das Hochwasser des Jahres 1983 wurden Sandrohböden frisch aufgelandet. In der Folgezeit führten Sukzessionsprozesse zu einer Neubesiedlung, damit zur Entstehung von Weichholz-Pionierwäldern mit dominierender Schwarzpappel (*Populus nigra* L.) mit Anteilen von Silberweide (*Salix alba* L.) und Stieleiche unterschiedlicher Häufigkeiten und Dimensionen.

Diese einzigartige Situation ermöglicht es, in einer vom Menschen kaum beeinflussten Aue die Einnischung der Stieleichen in der Etablierungsphase zu untersuchen. Damit lässt sich die Wissenslücke zwischen der Entwicklung der Stieleichenverjüngung im Sämlingsstadium, zu der es eine Vielzahl von Studien gibt (TERWEI et al. 2013), und ihrer Etablierung in natürlichen Hartholzaunen schließen. Daraus lassen sich wichtige Erkenntnisse zum Schutz dieser seltenen Lebensräume gewinnen.

Ziel der Arbeit ist es, den Kenntnisstand über die weitgehend ungestörte natürliche Verjüngung von Stieleichen unter den heutigen Standortverhältnissen in einer noch relativ intakten Flussaue zu erweitern, also die Einschätzung der Natürlichkeit der Stieleiche im Lebensraum Hartholzaue und ihren Anforderungen an den Standort. In der Hartholzaue im Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsau wird Stieleichenverjüngung in der Etablierungsphase auf zwei unterschiedlichen, ungesteuerten Sukzessionsflächen untersucht, welche nach starken Hochwässern entstanden und von Hochwasser geprägt sind (vgl. WAGNER 2015). Dies beinhaltet die Beschreibung des Standorts, die Quantifizierung der Eichenanteile, die Einschätzung ihrer Vitalität sowie die Charakterisierung des Wuchses der Stieleiche. Folgende Fragen werden beantwortet:

In welchen Dichten können erfolgreich etablierte junge Stieleichen in Lebensräumen der Hartholzaue auftreten?

Gibt es Zusammenhänge zwischen den Bestandesstrukturen, der Größe und sozialen Stellung der Eichen?

Lässt sich der Entwicklungszustand der Jungeichen bestimmten Bestandesstrukturtypen zuordnen?

Wie wirkten sich Konkurrenz durch Begleitvegetation und Überschirmung auf die Verjüngung der Stieleiche aus (Sprosswachstum, Kronenansatz, Relation zwischen Baumhöhe und Stammdurchmesser = h/d-Wert)?

Gibt es einen Zusammenhang zwischen Dichte und Entwicklungszustand der Jungeichen in Relation zum Wildverbiss?

2 Der Lebensraum Aue

Als Auen werden die Niederung entlang von Fließgewässern bezeichnet, die in die umgebende Landschaft eingetieft und mehr oder weniger regelmäßig überflutet werden (DISTER 1985). Ausgelöst durch Schwankungen des Abflusses ist der Lebensraum Aue von ständigen Veränderungen und dynamischen Prozessen von Erosion, Transport und Sedimentation

geprägt (DISTER 1995). Dies fördert die Entstehung einer einzigartigen Lebensraumvielfalt (REICHHOFF 2011).

Aufgrund des Grundrissbildes eines Flusses unterscheidet man verzweigte Flussabschnitte mit höherem Gefälle von mäandrierenden Abschnitten, in welchen ein geringeres Gefälle zu kleinerer Fließgeschwindigkeit führt, so auch im Bereich des Untersuchungsgebietes. Dort lassen sich verschiedene Auenstufen anhand der mittleren Überflutungsdauer pro Jahr sowie der Überflutungshäufigkeit einteilen (DISTER 1984, ALDINGER 2006). Baumarten wie die Silberweide können durchschnittlich bis über 190 Tage pro Jahr in überflutetem Boden stehen, in Extremjahren bis über 300 Tage. Die Stieleiche oder die Flatterulme (*Ulmus laevis*) schaffen dies nur bis zu ca. 90 Tage pro Jahr, in Extremjahren allerdings auch bis über 200 Tage (DISTER 1983). Entscheidend sind hier die Hochwasserereignisse während der Vegetationsperiode. In den mit Wasser aus den Alpen gespeisten Flüssen, also auch am Oberrhein, ist vor allem das Sommerhochwasser einflussreich, während an Flüssen weiter im Osten eher Sommertrockenheit eine Rolle spielt (FISCHER 2003). Grundsätzlich ist also die Stärke der Wasserschwankung bzw. Überflutungsdauer sowie die Fließgeschwindigkeit und die damit verbundene Erosion, Sedimentation und Bodentextur für die Differenzierung der Auenvegetation ausschlaggebend (DISTER 1980).

Die Weichholzaue entsteht flussnäher und tiefer gelegen auf stärker durch Hochwasser gestörten Standorten mit sandigem bis kiesigem Substrat oder nach Verlandungsprozessen im Uferbereich von Seitenarmen („nasse Weichholzaue“) (DISTER 1980, ELLENBERG & LEUSCHNER 2010). Weiden- und Pappelarten sind lichtliebende, schnellwüchsige Pionierarten, sie benötigen sofort nach der Keimung vegetationsfreie Flächen. Diese Voraussetzungen finden sich durch Erosion oder auch Auflandung des Bodens durch Hochwasser (DISTER 1980). Nach solchen Ereignissen bilden sich dort der Silberweiden-Auwald (*Salicetum albae*) mit dominierender Silberweide sowie Pappeln (*Populus nigra*, *P. alba*), welcher an den großen Flüssen Europas zu finden ist.

Auf den längerfristig stabilen, meist höher aufgelandeten lehmigen Böden der **Hartholzaue** findet sich der sog. Eichen-Ulmen-Wald (*Querc-Ulmetum*), erstmalig beschrieben von ISSLER (1926) mit den Baumarten Stieleiche, Ulme (*Ulmus minor*, *U. laevis*) und Esche (*Fraxinus excelsior*). Diese am Mittel- und Unterlauf von Flüssen auftretende Waldgesellschaft wird von langlebigen Baumarten mit „hartem Holz“ dominiert, daher der Name Hartholzaue. Diese Wälder liegen ebenfalls im Einflussbereich der Wasserstandsdynamik, sind jedoch schwächeren dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt und die Überflutungshäufigkeit und Dauer ist meist geringer. Die Hartholzaue lässt sich in drei Stufen unterteilen, welche abfallend stark durch die Flussdynamik beeinflusst sind und damit den Übergang zur zonalen Vegetation darstellen (BAUMGÄRTEL 2004).

3 Nutzungsgeschichte der Auen mit besonderer Berücksichtigung des Oberrheins

Schon seit Jahrtausenden werden die flussnahen Gebiete in Mitteleuropa stark durch den Menschen genutzt und verändert. Von einst bis zu mehreren Kilometern breiten Wäldern entlang der großen Flüsse ist nicht mehr viel übrig geblieben. Weich- und Hartholzaue sind vielmehr zu den am stärksten

bedrohten Waldgesellschaften geworden (BRUNOTTE et al. 2009, RENNWALD 2000, BAUMGÄRTEL 2007).

In Europa haben sich die meisten großen Flusssysteme seit dem beginnenden 19. Jahrhundert und spätestens seit Beginn der Industrialisierung noch stärker verändert. Durch Eingriffe in die Flussläufe wurde die Dynamik der meisten Flüsse schwer gestört. Begradigung, Staudämme, Seitendämme und Eindämmung zur Gewinnung von Kulturland schnitten große Flächen der ursprünglichen Aue von dem Wasserregime der Flüsse ab und zerstörten den komplexen Lebensraum Aue auf großer Fläche (BRUNOTTE et al. 2009).

Auch der Oberrhein zwischen Basel und Mainz wurde durch die Begradigung und Eindämmung durch den Ingenieur Johann Gottfried Tulla und seine Nachfolger im 19. und 20. Jahrhundert stark verändert. Die Fließgeschwindigkeit hat stark zugenommen und so zu einer Eintiefung des Flussbettes geführt (SCHÄFER 1973, DISTER 1999). Die stärksten Auswirkungen zeigen sich bei Niedrig- und Mittelwasser. Beispielsweise senkte sich der mittlere Grundwasserspiegel im Bereich der Kühkopf-Knoblochsau um fast 2 bzw. 1,6 Meter (DISTER 1980, 1999). Dadurch und bedingt durch Sedimentationsprozesse nach Hochwassern wachsen die Auen aus dem Überflutungsbereich heraus. So sind ehemalige Überflutungsflächen trocken gefallen und zu sogenannten Trockenauen geworden (FISCHER 2003, ALDINGER 2006).

Dies betrifft auch sehr stark die Mäanderzonen im nördlichen Oberrhein, wo der Wasserspiegel vieler Altrheinarme abgesunken ist, so dass diese zum Teil ganz trocken fallen und auch bei stärkeren Hochwassern nicht mehr gefüllt werden. Auch treten hier die Hochwasserwellen deutlich seltener über die Ufer und schaffen es nur selten, den gesamten Auenbereich zu überfluten (SCHÄFER 1973). Dies führt zu einer Verschiebung der Auenstufen (DISTER 1999). Wenn sich die Überflutungsdauer und Überflutungshöhe der rezenten Auen verändert, können hochwassersensiblere Arten wachsen und somit näher an die Fließgewässer vordringen.

Der weitere Ausbau des Rheins für die Schifffahrt unterband den Transport von Sedimenten im Fluss, da diese an Staustufen zurückgehalten werden, was wiederum ein schwerer Eingriff in die Dynamik der Auwälder bedeutet (SCHÄFER 1973). Der Bau von Staustufen führte zur Verringerung der Fließgeschwindigkeit, so dass Stillwasserlebensgemeinschaften diejenigen der Fließgewässer ersetzen (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010). Zusammenschauend muss der Zustand vieler Auen in Deutschland als naturschutzfachlich ungünstig beurteilt werden (BRUNOTTE et al. 2009). Vor allem die großen Flüsse wie Rhein, Elbe und Donau haben ihre meisten Auenflächen verloren. Darüber hinaus überwiegen sowohl in der rezenten Aue als auch in der Altaue die veränderten Zustandsklassen (BRUNOTTE et al. 2009). Durch den Staustufenausbau mit einhergehendem Verlust von weiteren Retentionsflächen (Oberrhein: 130 km²) wurde die Hochwassergefahr erhöht, fehlende Pufferflächen in Form von Auen führen zu einer Verstärkung der Hochwasserwellen. Durch Dammrückverlegungen entstehen heute neue Überflutungsauen, um die Hochwasserextreme abzumildern (MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG 2011).

Gegenmaßnahmen zu diesen Eingriffen finden sich durch Wiederanschluß ehemaliger Überflutungsgebiete an das Überflutungsregime großer Flüsse, in welchen die natürlichen Prozesse zumindest in Teilen erhalten bleiben oder

durch gezielte Maßnahmen wieder hergestellt und gefördert werden. Ein Beispiel hierfür ist das Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsau, in welchem Hochwasserschutz und Naturschutz seit 1983 vereint und Überflutungsflächen erhalten werden.

4 Untersuchungsgebiet am „Kühkopf“

Der Kühkopf ist Teil des Naturschutzgebietes Kühkopf-Knoblochsau, welches europaweit eine herausragende Stellung hat. Als eines der wenigen Schutzgebiete mit Ökosystemen unter relativ naturnahen Überflutungsbedingungen ist es eine wichtige Referenz für Naturschutz und Hochwassermanagement. Erkenntnisse über die Dynamik und Entwicklung des Gebietes waren unter anderem Grundlage für das ökologische Hochwasserschutzkonzept „Integriertes Rheinprogramm“ von Baden-Württemberg (DISTER 2002).

4.1 Lage und Klima

Das Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsau (Abb. 1a, b) liegt am nördlichen Oberrhein. Es ist mit einer Gesamtgröße von knapp 2400 ha das größte Naturschutzgebiet Hessens (DISTER 2002). Das rechtsrheinische Naturschutzgebiet befindet sich in etwa auf der Höhe von Darmstadt und liegt damit zwischen den Ballungsgebieten Rhein-Main und Rhein-Neckar. Dieser Rheinabschnitt wird zur Mäanderzone gezählt, welche sich von der Murg-Mündung südlich von Karlsruhe bis südlich von Mainz erstreckt. Aufgrund des geringen Gefälles floss der Rhein bis zur Begradigung im vergangenen Jahrhundert in diesen Bereichen in weiten Bögen (DISTER 1980).

Der das Gebiet prägende Mäanderbogen ist der ehemalige Stockstadt-Erfelder Rheinbogen. Dieser, und somit auch das gesamte Naturschutzgebiet, liegt in der im Holozän entstandenen Rheinaue. Die größten Erhebungen des Kühkopfs sind die Sommerdämme, ansonsten reichen die Höhen von 84,7 bis 87,1 m ü. NN. Das Schutzgebiet gehört zum Wuchsgebiet „Hessische Rhein-Main-Ebene“ (FORSTEINRICHTUNG 2000).

Entscheidend für das Klima ist die Lage des Kühkopfs am Rand des Trockengebietes „Mainzer Becken“, was ein subkontinental geprägtes Klima aufweist (DISTER 2002). Das Makroklima zeigt warme Sommer mit einer verlängerten Vegetationszeit von ca. 180 bis über 200 Tagen und milden Wintern mit Mittelwerten im Januar von über 0°C. Nach schneearmen Wintern kann es zu Spätfrösten kommen. Im Jahresmittel werden an der Bezugsstation Erfelden 9,5°C und 564 mm Jahresniederschlag gemessen. Des milden Klimas wegen wird das Gebiet der bioklimatischen Stufe „sehr mild“ zugeordnet (FORSTEINRICHTUNG 2000, REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT 2011).

4.2 Böden und Wasserhaushalt

Seit den Dambrüchen von 1983 konnte wieder vermehrt Hochwasser in den inneren Teil des Kühkopfs einströmen und eine naturnahe Auenentwicklung einleiten. Allerdings hat der Rheinausbau (Staustufen, Schifffahrtsstrasse) die Überflutungsdynamik des Rheins verändert. Für das Naturschutzgebiet hat sich die mittlere Überflutungsdauer und Häufigkeit von 38 Tagen im 19. Jahrhundert auf nur noch etwa 6 Tage pro Jahr gesenkt (HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEINRICHTUNG, WALDÖKOLOGIE UND WALDFORSCHUNG 2000, vgl. auch DISTER 1999). Der Rückgang der für das System

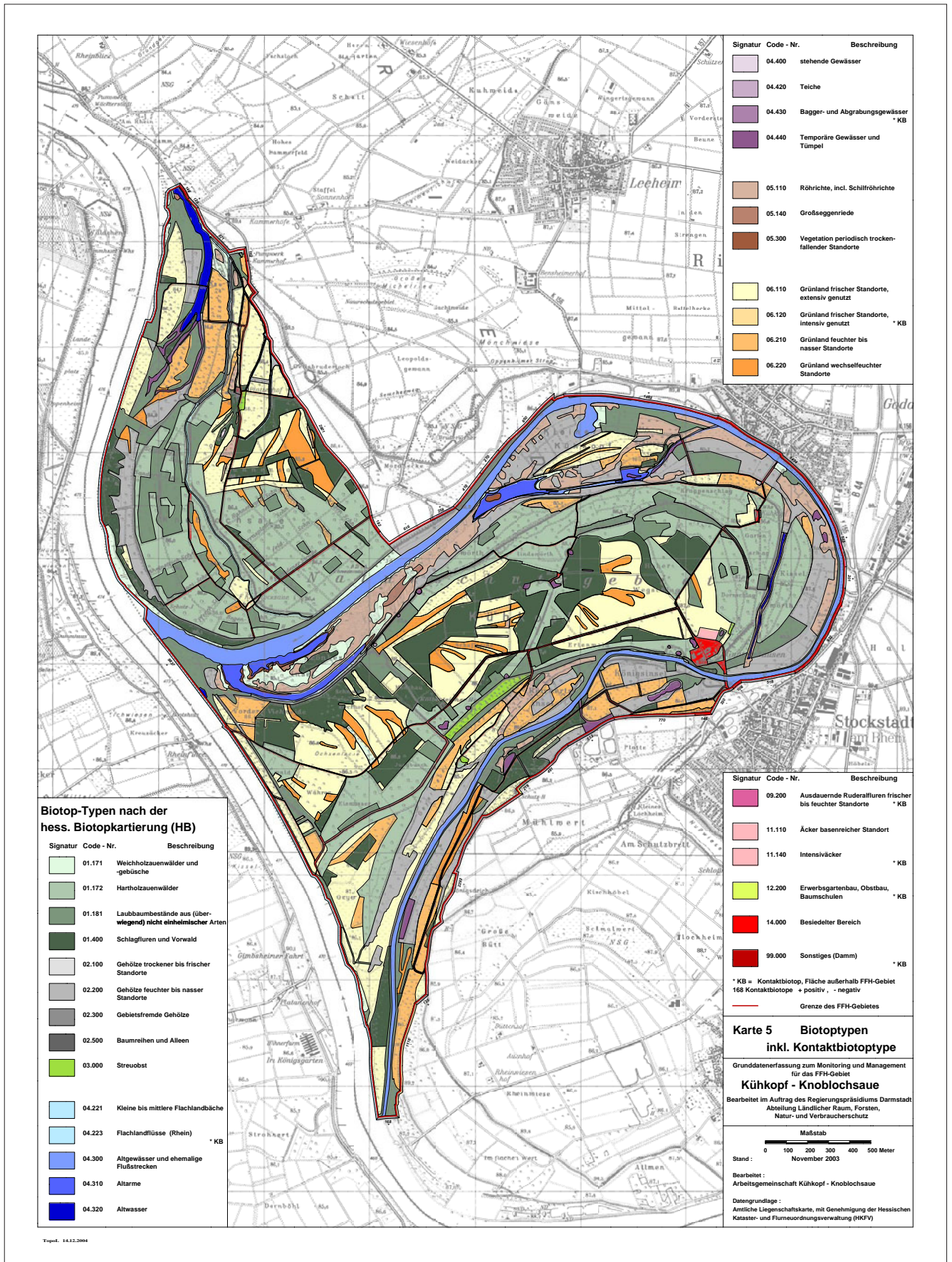


Abb. 1a: Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsau (Biototypenkarte) mit Lage der untersuchten Flächen Rindswörth (links) und Versuchsfeld (rechts). – Quelle: Arbeitsgemeinschaft Kühkopf-Knoblochsau 2003.

Fig. 1a: Nature reserve „Kühkopf-Knoblochsau“ and position of the two study localities „Rindswörth“ (left) and „Versuchsfeld“ (right). – Source: Arbeitsgemeinschaft Kühkopf-Knoblochsau 2003.

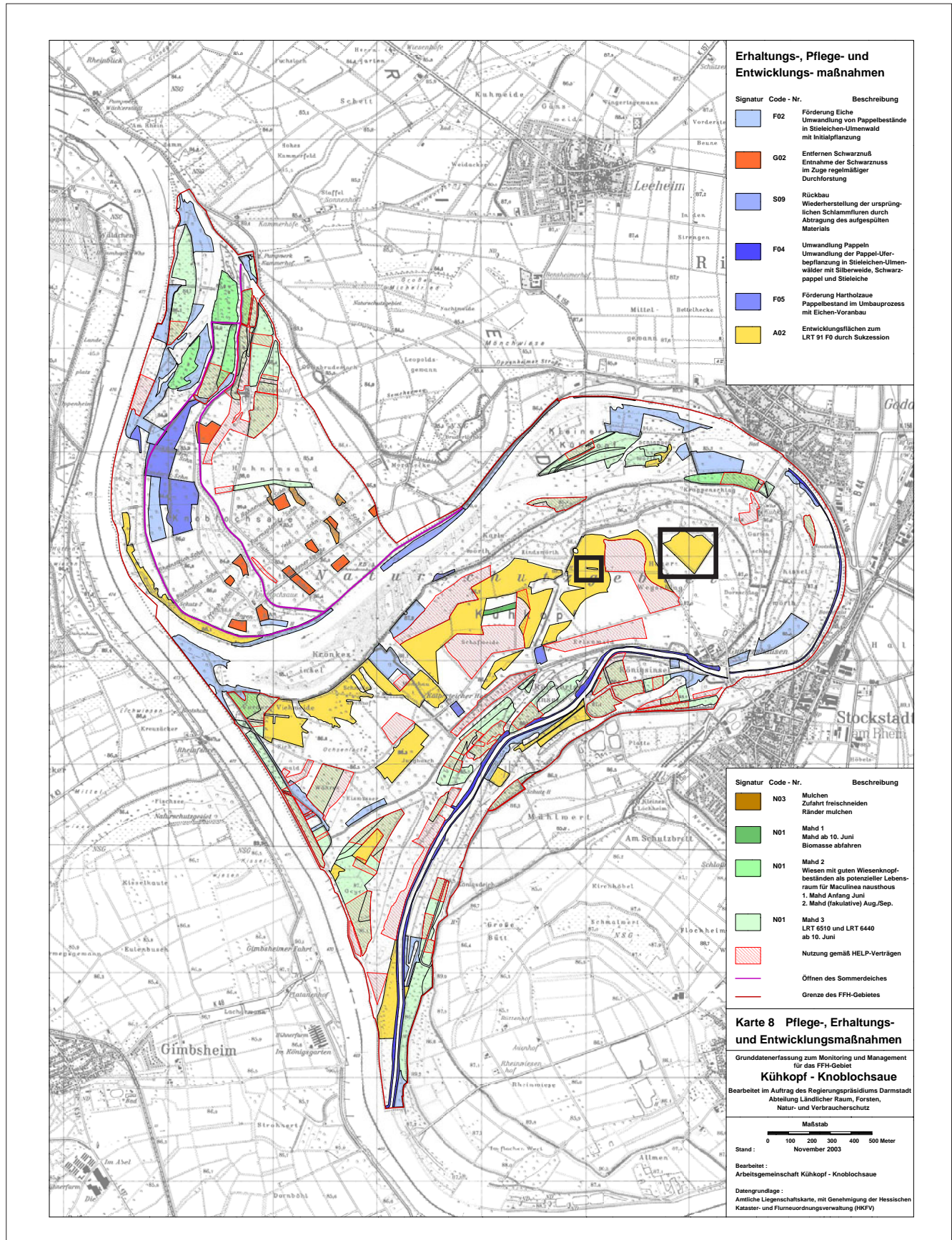


Abb. 1b: Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsau mit Lage der untersuchten Flächen Rindswörth (Rechteck, links) und Versuchsfeld (Quadrat, rechts). Gelb markiert sind die Flächen, die einer natürlichen Sukzession überlassen sind. – Quelle: Arbeitsgemeinschaft Kühkopf-Knoblochsau 2003.

Fig. 1b: Nature reserve „Kühkopf-Knoblochsau“ and position of the two study localities „Rindswörth“ (rectangle, left) and „Versuchsfeld“ (quadrat, right). – Source: Arbeitsgemeinschaft Kühkopf-Knoblochsau 2003.

wichtigen Hochwasser zeigt sich bei der Betrachtung der Wasserstände am Pegel Erfelden, welcher sich direkt am Naturschutzgebiet befindet. Erreichte der Pegel in der Zeit von 1821 bis 1830 die Höhe von 4 Metern noch an 180 Tagen, waren es im Zeitraum 1961 bis 1970 nur noch etwa 20 Tage pro Jahr (DISTER 1980, GONNERMANN 2002). Daher kommt es heute vermehrt zu Trockenstress für die Vegetation.

Trotzdem ist eine unregelmäßige Überflutung der gesamten Fläche möglich, so dass das Hochwasser des Rheins die anderen Standortseigenschaften überlagert. Überflutungen können zu jeder Jahreszeit stattfinden, mit Schwerpunkten der Wasserhochstände im Sommer (Einzugsgebiet ist Sommerregengebiet), aber auch im Winterhalbjahr können große Hochwasser auftreten (Regen plus Schneeschmelze). Neben der Überflutung der Fläche ist auch der mit dem Pegelanstieg direkt verbundene Anstieg des Grundwassers entscheidend. Dieser kann durch Druckwasser auch Bereiche unter Wasser setzen, welche durch Dämme vom direkten Überflutungsgebiet abgeschnitten sind.

Die flächige Überflutung prägt auch den für die Bodenentwicklung wichtigen Sedimentationsvorgang. Das Gebiet befindet sich im Bereich der schwach geneigten Mäanderstrecke mit geringen Fließgeschwindigkeiten, so dass hauptsächlich feine Sedimente der Schluff- und Tonfraktion transportiert und in den Hartholzauen abgelagert werden. Dies prägt den Nährstoff-, Wasser- und Sauerstoffgehalt des Bodens. Bei nur kurz anhaltenden Überflutungen oder Grundwasseranstiegen kann es sein, dass – abgesehen von der Flutung von Tiergängen – kein Wasser in die Auenlehmedecke eindringt. Erst bei längerer Überflutung sickert Wasser in die feinporigen Sedimente ein. Wenn das passiert, wird das aufgenommene Wasser auch über längere Zeit gehalten. Dadurch kann nach Abfließen des Hochwassers oder dem Sinken des Grundwasserstandes für längere Zeit Sauerstoffarmut im Bodengefüge induziert werden (DISTER 1980).

Die abgelagerten Lehmschichten variieren in ihrer Mächtigkeit von über 150 cm bis stellenweise nur 30 cm. Es gibt sowohl allochthone als auch autochthone Bodentypen, vor allem Auengley-Auenbraunerden, Vegen und Parabraunerden (HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEINRICHTUNG, WALDÖKOLOGIE UND WALDFORSCHUNG 2000, RP DARMSTADT 2011).

Probleme bereitet die durch das langsame Abfließen der Hochwasser fehlende Erosion, da dies zu einer weiteren Aufwindung des Gebiets führt (HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEINRICHTUNG, WALDÖKOLOGIE UND WALDFORSCHUNG 2000).

4.3 Geschichte

Der Kühkopf entstand in seiner heutigen Form durch den künstlichen Durchstich des Mäanders im Jahr 1828 bis 1829 (DISTER 1980; Abb. 2). Seit diesem ist der Kühkopf eine Insel zwischen dem Neurhein und dem Stockstadt-Erfelder Altrhein. Der Altrhein markiert die ursprüngliche Schlinge, welche der Rhein vor seiner Begradigung machte. Der Name der Insel Kühkopf entspringt dem altdeutschen "Kuningskopf", was wiederum Königskopf bedeutet. Der Name erklärt sich damit, dass der Kühkopf Teil des ökonomisch wichtigen kaiserlichen Bannforstes im Mittelalter war. Nach dem Durchstich, geplant vom hessischen Baumeister Claus Kröncke, verringerte sich die Breite des Altrheins durch Ablagerungen enorm. Vor dem Eingriff betrug die Strombreite etwa 300 Meter (ROTHMANN 1979). Durch die zunehmende

Sedimentation, die mit dem Durchstich verbunden war, verschwanden die im heutigen Altrhein liegenden Inseln (kleiner Kühkopf, Schlappeswörth), welche nur bei Hochwasser noch von der Insel Kühkopf getrennt sind (DISTER 1980).

Die Besitzverhältnisse des Kühkopfs wechselten im Laufe der letzten Jahrhunderte häufig. Erst Ende des 19. Jahrhunderts wurden die kleinen Einzelbesitze durch den Freiherrn von Heyl zu Herrnsheim aufgekauft und so zu einem Besitz zusammengeschlossen. Dieser erhielt die Landschaft aus jagdlichem Interesse in seiner Eigenart. 1961 kaufte das Land Hessen den Heyl'schen Besitz und verpachtete die landwirtschaftlichen Flächen (ROTHMANN 1979). Die Knoblochsau ging bereits vorher im Laufe der Zeit von der namengebenden Familie Knobloch an die Landgrafen von Hessen über (ROTHMANN 1979).

4.4 Das Naturschutzgebiet und seine Entstehung

Die erste Ausweisung eines Teils des heutigen Naturschutzgebietes fand im März 1952 durch Anträge der Grundbesitzer und der Vogelwarte Helgoland statt. Im Schutzgebiet wurden Nutzung sowie Boots- und Kfz-Betrieb eingeschränkt. Es fehlte allerdings an allgemeingültigen gesetzlichen Grundlagen im Naturschutz.

Mit der Naturschutzverordnung von 1969 wurde das Gebiet mit genau festgelegten Grenzen unter Schutz gestellt. Außerdem wurden einige Bereiche und Altrheininseln als Naturreservate ausgewiesen (MECKE 2002). Bereits 1968 wurde das Gebiet durch die deutsche Sektion des Internationalen Rates für Vogelschutz zum Europareservat erklärt. Aufgrund von Missständen im Schutzgebiet verlor das Gebiet diesen Status bereits im Jahr 1973 wieder (ERNST 2002). 1978 wurden mit einer weiteren Einschränkung der Befahrung des Gebietes und der Reduktion der Forstwirtschaft weitere Störquellen beseitigt. In den 1980er Jahren wurde die intensive Landwirtschaft nach den Sommerdeichbrüchen von 1983 aufgegeben (MECKE 2002).

Nach diesen naturschutzfachlichen Verbesserungen wurde dem Schutzgebiet im Jahr 1985 erneut der Titel Europareservat verliehen, da es eine herausragende Funktion als Rastplatz für Zugvögel innehatte und eine große Diversität an Wasservögeln aufwies (ERNST 2002).

Ab 1996 wurde unter Einbeziehung aller Interessengruppen eine Arbeitsgemeinschaft zur Beseitigung der Defizite der Naturschutzverordnung gegründet. In den folgenden Jahren wurden Regelungen zur Fischerei, Wassernutzung, Jagd, Wegenutzung sowie Besucherlenkung beschlossen. Bereits 1995 wurde die forstwirtschaftliche Nutzung beendet, also noch vor der NSG-Verordnung des Jahres 1998. Aufgrund des hohen ökologischen Wertes des gesamten Naturschutzgebietes Kühkopf-Knoblochsau ist es heute FFH-Gebiet und Bestandteil eines ca. 6.000 ha umfassenden europäischen Vogelschutzgebietes (ERNST 2002, RP DARMSTADT 2011).

4.5 Vegetation auf dem Kühkopf

Um zu verstehen, wie es zur heutigen Artenzusammensetzung kam, müssen vergangene Entwicklungen und Einflüsse berücksichtigt werden. Durch die Sohleneintiefung des Rheins nach dessen Begradigung liegt der Kühkopf heute etwa 1,8 Meter „höher“ in Bezug zum Mittelwasser. Das begünstigte die Einwanderung überflutungsempfindlicher



Abb. 2: Rheinverlauf im Bereich des „Kühkopf“ mit dem Durchstich der Rheinschleife bei der Rheinbegradigung. Karte aus dem Jahr 1829 oder kurz danach. Quelle: Großherzogtum Hessen (1823–1850).

Fig. 2: Course of the Rhine river with cutting of meander through the river correction. Map from 1829 or shortly afterwards. Source: Grand Duchy Hesse (1823-1850).

Arten wie Esche und Bergahorn (GONNERMANN 2002). Dennoch ist die Wasserschwankung in der Aue auch heute noch der prägende Faktor für die Vegetation. In den von der Hydrodynamik unterschiedlich stark beeinflussten Teilgebieten finden sich Gewässer-, Offenland- und Waldlebensräume (DISTER 1980, BAUMGÄRTEL & GRÜNEKLEE 2002, BAUMGÄRTEL & ZEHN 1999).

Im Rahmen der Forsteinrichtung wurde für das Gebiet ein Biomonitoring für die vorhandenen Waldbestände durchgeführt. Die bewaldete Fläche des Naturschutzgebiets beträgt in etwa 1.150 ha (GONNERMANN 2002). Davon entfallen auf die Weichholzaue ca. 14 ha (HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEINRICHTUNG, WALDÖKOLOGIE UND WALDFORSCHUNG 2000). Die Hartholzaue ist die für diese Studie entscheidende Auenstufe, da sich die untersuchten Flächen in dieser befinden. Die Hartholzaue am Kühkopf lässt sich nach DISTER (1980) in

drei Stufen gliedern. Dies geschieht nach der mittleren Überflutungsdauer- und Höhe über die Vegetationszeit. Unterteilt werden diese in die tiefe, mittlere und hohe Hartholzaue. Nach dieser Einteilung entfallen auf die Hartholzaue auf tiefem Niveau 377 ha, auf die mittlere Hartholzaue 547 ha und auf die Hartholzaue auf hohem Niveau 244 ha (HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEINRICHTUNG, WALDÖKOLOGIE UND WALDFORSCHUNG 2000). Diese drei Stufen wurden im Naturschutzgebiet von DISTER (1980) und BAUMGÄRTEL (2004) wie folgt beschrieben:

Die untere Hartholzaue mit einer mittleren Überflutung von 7 bis 16 Tagen ist in ihrer Natürlichkeit stark gestört, da sie hauptsächlich von Pappel- und Kopfweidenbeständen geprägt ist, die überwiegend im verlandeten alten Flussbett des Altrheins stocken. Mit 190 ha machen Kopfweidenbestände den größten Teil aus, die übrige Fläche ist mit

Pappelbeständen mit vereinzelt Stieleichen bestockt. Diese Baumarten sind in der Lage, die dort bis zu 62 Tagen dauernde Überflutung langfristig zu überleben. Die Bestände werden als „stark verändert“ eingestuft. In der Krautschicht finden sich Kratzbeere (*Rubus caesius*) und Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*). Nässe ertragende Hochstauden wie Gilbweiderich (*Lysimachia vulgaris*), Gelbe Schwertlilie (*Iris pseudacorus*) oder Sumpf-Greiskraut (*Senecio paludosus*) kommen vor (BAUMGÄRTEL 2004).

Die mittlere Hartholzauwe wird pro Jahr durchschnittlich schon nur noch 2 bis 5 Tage überflutet. Dies führt zu einem struktur- und artenreichen Wald mit vielen Straucharten. Vor allem der Eingriffliche Weißdorn (*Crataegus monogyna*) hat große Anteile. Auch die Stieleiche ist hier im Altbestand stark vertreten, in den jüngeren Altersklassen ist sie praktisch völlig fehlend. Die Krautschicht ist geprägt durch Nitrophyten wie Brennnessel (*Urtica dioica*), Gundermann (*Glechoma hederacea*) und Kletten-Labkraut (*Galium aparine*) (BAUMGÄRTEL 2004).

Die hohe Hartholzauwe findet sich hauptsächlich im Sommerpolder in der Knoblochsauwe sowie auf den höher gelegenen Flächen auf dem Kühkopf. Sie weist eine mittlere Überflutung während der Vegetationsperiode von einem Tag auf. Unter diesen Bedingungen herrschen neben der Stieleiche vor allem die Esche und der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) (DISTER 1980, BAUMGÄRTEL 2004) vor.

Im herrschenden Bestand waren zum Zeitpunkt der Forstinventur 1999 die Esche (37%), Weide (22%), Pappel (19%), Eiche (12,7%) und (Berg-)Ahorn (5,5%) die am stärksten vertretenen Baumgattungen. Danach folgten Schwarz-Nuss (*Juglans nigra*), Wildobst und Ulme. In der Strauchschicht war und ist jedoch ein höherer Anteil des Bergahorn zu beobachten, welcher durch seine Schattentoleranz im Unterstand der Baumschicht gedeiht und von der reduzierten Überflutungshäufigkeit profitiert. Ähnliches gilt auch für die Esche (BAUMGÄRTEL 2004, GONNERMANN 2002). Die Silber-Weide hat zwar mit 22% einen hohen Anteil an der herrschenden Schicht, ist jedoch hauptsächlich auf Standorte der Weichholzauwe begrenzt und tritt kaum in Konkurrenz mit den anderen Arten. Pappeln zeigen vor allem in den jungen Altersstufen von 20 bis 40 Jahren Dominanz. Dies ist wesentlich auf die Sukzessionsflächen nach 1983 zurückzuführen. Der hohe Anteil in den älteren Stufen ist der gezielten Förderung von Hybridpappeln bis in die 1970er Jahre zuzuschreiben. Ähnliches zeigt sich auch beim Ahorn, welcher ebenfalls durch Pflanzung eingebracht und gefördert wurde.

Bei den Eichen finden sich vor allem große Anteile in den alten, starken Dimensionen von bis zu 120 cm BHD (BAUMGÄRTEL 2004, DISTER 1985a, GONNERMANN 2002). Diese Eichenbestände stammen zum Teil aus der Zeit vor der Begradigung. Die damaligen Bedingungen mit stärkeren und häufigeren Überflutungen brachten der Stieleiche Vorteile gegenüber



Abb. 3: „Versuchsfeld“ (weiß umrandet) mit Lage der Untersuchungsflächen (Straten) 1 bis 4 (schwarz umrandet), ArcGIS 2015. © Landesbetrieb Hessen Forst.

Fig. 3: „Versuchsfeld“ (white margin) with localisation of the strata 1 to 4 (black margins), ArcGIS 2015. © Forest Service Hesse.

den heute konkurrenzstarken Eschen und Ahornen. Der hohe Eichenanteil wurde wahrscheinlich auch durch die Bewirtschaftung in der Vergangenheit gefördert (BAUMGÄRTEL 2004). Durch Waldweide, Nieder- und Mittelwaldbewirtschaftung in der Vergangenheit waren die Bestände deutlich lichter. Die Eiche spielte eine wichtige Rolle als Futter in der Schweinemast (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010). Heute kann sich die Eiche kaum mehr natürlich in Waldbeständen etablieren, junge und schwache Dimensionen fehlen in Altbeständen fast vollständig, so auch am Kühkopf (DISTER 1985a). Auf den angesprochenen Sukzessionsflächen finden sich hingegen nennenswerte Eichenanteile in der Verjüngungsphase (BAUMGÄRTEL & GRÜNEKLEE 2002).

4.6 Die Untersuchungsflächen

Die untersuchten Flächen liegen in zwei räumlich voneinander getrennten Beständen der mittleren Hartholzauenstufe auf der Insel Kühkopf und sind nach der FFH-Richtlinie zur Entwicklung „unbegrenzter Sukzession“ vorgesehen. Entstanden sind sie durch den Bruch des Sommerdammes im

Jahr 1983; bis dahin waren es landwirtschaftlich genutzte Ackerbauflächen (GONNERMANN 2002, RP Darmstadt 2011).

Auf der Fläche „Versuchsfeld“ (Abb. 3) wurde nach dem Dammbbruch zuerst versucht, die Entwicklung in Richtung Auenwiese zu lenken. Durch das starke Umbrechen der Fläche durch Wildschweine wurde die Mahd jedoch Mitte der 1990er Jahre eingestellt und die Sukzession setzte ein (SCHNEIDER 2002).

Auf dem Rindswörth (Abb. 4) ist durch die damals schnelle Sedimentation einer bis zu 50 cm mächtigen Sandschicht eine vegetationsfreie Fläche ohne Pflanzenwuchs und vorhandene Diasporen entstanden. Diese wurde bereits nach dem Dammbbruch 1983 zur natürlichen Sukzession und Wiederbewaldung freigegeben. Hier samten sich bereits im gleichen Jahr Weiden und Pappeln an, und es konnte über die vergangenen Jahrzehnte eine natürliche Sukzession ablaufen.

Insgesamt gesehen sind Weißdorn (*Crataegus monogyna*), Roter Hartriegel (*Cornus sanguinea*) und in der Baumschicht



Abb. 4: „Rindswörth“ mit Umriss der Untersuchungsfläche (schwarz umrandet). ArcGIS 2015. © Landesbetrieb Hessen Forst.

Fig. 4: „Rindswörth“ (white margin) with localisation of stratum 5 (black margin), ArcGIS 2015. © Forest Service Hesse.

Esche (*Fraxinus excelsior*) die vorherrschenden Gehölze der heutigen Sukzessionsstadien. Die meisten Eschenindividuen sind durch das Eschentriebsterben stark geschädigt. Vor allem in reinen Eschenbeständen ist der Kronenraum heute sehr licht.

Die Flächen zeigen eine erfolgreiche Etablierung der Stieleiche und sind als repräsentative Flächen zur Untersuchung der Etablierung der Eichen in der rezenten Aue geeignet. Auf beiden Beständen befinden sich bereits untersuchte umzäunte Daueruntersuchungsflächen des Auen-Instituts in Rastatt (SCHNEIDER 2002).

5 Methode

5.1 Stratifizierung

Die ausgewählten Untersuchungsflächen wurden aufgrund von Unterschieden in der Vegetationsstruktur in fünf Straten, also Untersuchungsflächen mit jeweils ähnlicher Struktur und Standortseigenschaften, eingeteilt. Sie repräsentieren einen Gradienten zunehmender Übershirmung durch Gehölze (Straten 1 bis 3) bzw. gezäunte Varianten (Stratum 4 und 5). Die Straten 1 bis 4 liegen auf der Fläche Versuchsfeld, das Stratum 5 liegt im Rindswörth (Abb. 3, 4, 6). Die Straten 1, 3 und 4 wurden als Vollaufnahme erhoben. Stratum 2 wurde zur Hälfte erfasst, dies unter Ausschluss von Lücken mit Dominanzbeständen der Kanadischen Goldrute (*Solidago canadensis*) und des Land-Reitgrases (*Calamagrostis epigeios*), da sie ohne Eichenverjüngung waren. Von dem waldartigen Stratum 5 wurde eine als repräsentativ erachtete Teilfläche aufgenommen.

- Stratum 1 (0,8 ha) zeigt eine fast geschlossene gebüschartige Gehölzformation mit Schwarzpappel, Zitterpappel (*Populus tremula*), Silberweide, Esche, Eiche in etwa 400 Metern Entfernung zu einem Alteichen-Bestand. Am westlichen Waldrand finden sich verschiedene Straucharten mit Dominanzstrukturen von Hartriegel und Schwarzdorn (*Prunus spinosa*). Das Stratum wird in nordwestlicher Richtung von einem Schlutenausläufer durchzogen. Innerhalb dieses Bereiches kam es nach Sommerhochwassern (1999, 2013) zu Absterbeprozessen bei Esche und Ahorn.
- Stratum 2 (2,9 ha) ist ein offener bis lückiger Gehölzkomplex vorwiegend aus Esche mit Bergahorn, Wildobst, Weide und Schwarzpappel. Es umfasst den zentralen Bereich des Versuchsfeldes mit einem größeren Abstand zu den angrenzenden Altbeständen. Teilweise gedeihen Polykormone aus Schwarzdorn, vereinzelt Weißdorn. Die auftretenden Gruppen von Eschenstangenholz sind unterschiedlich hoch, alle sind verhältnismäßig licht. Dies wird auch durch den hohen Befall der Eschen durch das Eschentriebsterben bedingt. In der Bodenvegetation dominiert Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*), unterbrochen von Gruppen von Kanadischer Goldrute und Land-Reitgras. Eingesprengt sind Wühlstellen von Schwarzwild mit Bingelkraut (*Mercurialis perennis*), Brennessel, Gänsefußgewächsen.
- Stratum 3 (0,5 ha) ist ein halboffener bis geschlossener Gehölzkomplex am östlichen, von Eichen dominierten Waldrand mit Esche, Bergahorn, Eiche, Weide, Schwarzpappel und Wildobst. Die Strauch-

schicht bilden ausgeprägte Polykormone von Schwarzdorn, hinzu kommt Eingrifflicher Weißdorn, dazwischen halboffene Strukturen mit Dominanzbeständen aus Kratzbeere (*Rubus caesius*), Glatthafer und Land-Reitgras mit Beteiligung von Kanadischer Goldrute. Stratum 3 grenzt an einen Alteichen-Bestand, Samenbäume der Stieleiche sind in nächster Nähe vorhanden.

- Stratum 4 (0,33 ha) ist ein nahezu geschlossener Gebüschkomplex, er beinhaltet zwei umzäunte Teilflächen auf dem Versuchsfeld. Die Bestandentwicklung ist weiter fortgeschritten, so dass sich in diesem Alteichen-fernen Stratum bereits eine nahezu flächige Baumschicht etabliert hat.
- Stratum 5 (0,2 ha) befindet sich auf dem Rindswörth und ist ebenfalls umzäunt. Es besteht aus einem geschlossenen Gehölzkomplex mit Schwarzpappel und Silberweide im Oberstand, mitherrschend sind einzelne Stieleichen und Eschen. Die Strauchschicht ist hoch deckend und artenreich mit Dominanz von Hartriegel (*Cornus sanguinea*). Aufgrund der Beschattung ist eine kaum ausgeprägte Krautschicht, an Störstellen vereinzelt Hohes Veilchen (*Viola elatior*) zu beobachten.

In jedem Stratum wurden die vorkommenden Jungeichen erfasst und vermessen. Zwei weitere Straten auf dem Versuchsfeld, nämlich Dominanzbestände der Kanadischen Goldrute sowie des Land-Reitgrases, sind mosaikartig eingesprengt. Sie enthielten keine Jungeichen und wurden daher nicht aufgenommen.

5.2 Datenerhebung

Nennenswerte Anteile von jungen Stieleichen in der Etablierungsphase fanden sich in insgesamt zwei durch frühere starke Hochwässer veränderte Standorte am Kühkopf, nämlich dem „Versuchsfeld“ und dem „Rindswörth“ (Abb. 1, 3, 4). Da die Bestände im Bereich „Versuchsfeld“ strukturell sehr heterogen waren, wurden sie für die Datenerfassung wie oben beschrieben in vier Straten unterteilt. Somit konnten Jungeichen aus insgesamt 5 Straten erfasst werden. In jedem Stratum erfolgte eine Vollaufnahme der Jungeichen, also ohne die einjährigen Sämlinge. Hieraus kann die Eichen-dichte hektarbezogen errechnet werden.

Bestandesbeschreibung

Im Umfeld jeder Eiche wurden mehrere Parameter erhoben. Zur genaueren Bestandesbeschreibung der einzelnen Strata wurden die unterschiedlichen vertikalen Schichten des Standortes untersucht. Die vertikale Schichtung wurde in Anlehnung an DIERSCHKE (1994) in Baumschicht (B; >5 Meter), Strauchschicht (S; 1,5–5 Meter) und Krautschicht (K; <1,5 Meter) unterteilt. Für die Strauchschicht und die Baumschicht wurden prozentual die absolute Deckung bestimmt, alle Arten mit einer Deckung von über 5 % aufgenommen. Um die Lichtkonkurrenz weiter beschreiben zu können, wurde der prozentuale Kronenschlussgrad der Baumschicht in Zehnerschritten geschätzt und in Anlehnung an RITTERSHOFER (1999) eingeteilt:

Gedrängt:	Kronen greifen tief ineinander über;
Geschlossen:	Kronen berühren sich mit den Zweigspitzen;

- Locker:** Kronen haben einen solchen Abstand, dass eine weitere Krone mittlerer Größe nicht dazwischen Platz findet;
- Licht:** Kronen haben einen solchen Abstand, dass eine weitere Krone mittlerer Größe dazwischen Platz findet;
- Räumig:** Kronen haben einen solchen Abstand, dass mehrere Kronen dazwischen Platz finden.

Morphologische Erfassung der Eichen

Alle aufgenommenen Stieleichen wurden hinsichtlich ihres Wachstums und ihrer Vitalität beschrieben, ihre Lage mittels GPS Daten (UTM Koordinaten) kartiert.

Die Eichen waren sehr unterschiedlich weit entwickelt, ihre Baumhöhe wurde gemessen oder bei Eichen >2,5 m Höhe in Meterabständen geschätzt. Die Lage des größten Kronenkompartiments bestimmte ihre Zuordnung zu einer der drei Bestandesschichten (Beispiel: Eine Eiche wurde erst dann zur nächst höheren Schicht gezählt, sobald mehr als die Hälfte ihrer Krone außerhalb der niedrigeren Schicht lag).

Sowohl der **Brusthöhendurchmesser** (BHD) als auch der Durchmesser am Stammansatz bzw. am Wurzelhals wurden mittels Messschieber oder Umfangmaßband gemessen. Für die Eichen der Baumschicht wurde aus Höhe und dem BHD der h/d-Wert (Verhältnis zwischen Durchmesser und Höhe) ermittelt (BURSCHEL & HUSS 2003). Obwohl dies eigentlich als Mittel zur **Stabilitätsbestimmung** von Nadelbäumen genutzt wird, lässt sich der Wert zur Entwicklungseinschätzung der Eichen mit größeren Dimensionen nutzen (Tab. 1).

Als weiterer Vitalitätsparameter wurden die Kronenlänge und die Triebblängen gemessen. Letzterer Wert konnte nur bei Stieleichen ermittelt werden, bei welchen ein Zugriff auf den Haupttrieb möglich war. Die Messung beschränkt sich somit auf die Jungeichen der Krautschicht. Mittels Gesamthöhe und Kronenlänge konnte der Kronenanteil (prozentualer Anteil der Kronenlänge an der Baumhöhe) ermittelt werden, dieser wird als Indikator für die Vitalität des Einzelbaumes herangezogen. Eine befriedigende Vitalität ist ab 40% Kronenanteil erreicht (BURSCHEL & HUSS 2003). Außerdem wurde jeder Baum dieser Schicht auf Verbiss untersucht. Dabei wurde in Anlehnung an VEBLEN et al. (1989) eine Einteilung in vier Klassen vorgenommen: 3 (stark verbissen), 2 (moderat verbissen), 1 (leicht verbissen), 0 (kein Verbiss).

Für jede Stieleiche wurde die soziale Stellung erhoben

Tab. 1: Beziehung zwischen Baumhöhe und Stammdurchmesser (h/d-Wert) und der zugeordneten Stabilitätsklasse der Jungeichen, in Anlehnung an BURSCHEL & HUSS (2003).

Tab. 1: Relationship between tree height and stem diameter, and the related stability class of the juvenile oak, according to BURSCHEL & HUSS (2003).

h/d	>1	sehr instabil
h/d	0,8 - 1	instabil
h/d	0,45 - 0.8	stabil
h/d	<0,45	Solitärbäume

(Baumklassensystem nach KRAFT 1884 in: BURSCHEL & HUSS 2003). Jedoch wurde auf eine weitere Unterteilung der Klasse 4 sowie der Klasse 5 verzichtet. Folgende Baumklassen wurden zugeordnet:

- Klasse 1: Vorherrschende Bäume mit ausnahmslos kräftig entwickelten Kronen.
- Klasse 2: Herrschende, in der Regel den Hauptbestand bildende Bäume mit verhältnismäßig gut entwickelten Kronen.
- Klasse 3: Gering mitherrschende Bäume. Kronen zwar noch ziemlich normal geformt (ähnlich Klasse 2), aber verhältnismäßig schwach und eingengt.
- Klasse 4: Beherrschte Bäume. Kronen mehr oder weniger verkümmert, entweder von allen Seiten zusammengedrückt oder einseitig fahnenförmig entwickelt.
- Klasse 5: Ganz unterständige Bäume.

Dies ermöglichte ebenfalls die Einstufung der Konkurrenz-kraft der Eiche gegenüber den Nachbarbäumen (DAMMANN et al. 2001). Aufgrund des häufig auftretenden fließenden Übergangs von Strauch- zur Baumschicht wurden auch in der Strauchschicht wachsende Jungeichen teilweise den höheren Baumklassen zugeordnet, beispielsweise wenn nur einzelne Überhälter eine offene Baumschicht bilden, die Eiche aber dominant in der „mitherrschenden“ Strauchschicht wächst.

5.3 Auswertung

Es wurden Tabellen für die baumbezogenen Daten sowie die dominanten Arten der Begleitvegetation angelegt. In letzteren wurden die Arten nach Straten und Schichtzugehörigkeit sortiert. Zur Auswertung und Erstellung der Grafiken und Tabellen sowie zur Berechnung der statistischen Werte wurde Microsoft Excel sowie R-Studio verwendet. Zusammenhänge wurden mittels Korrelation, Unterschiede mittels Whitney-U-Test nachgewiesen. Aufgrund der trotz Vollaufnahme begrenzten Anzahl erfasster Jungeichen konnten nicht alle Zusammenhänge statistisch getestet bzw. abgesichert werden (vgl. Tab. 4).

6 Ergebnisse

Gezeigt werden die Verteilung der Eichen auf der Untersuchungsfläche (6.1), das Wachstum der Jungeichen in der Etablierungsphase (Vorkommen in der Krautschicht $\leq 1,5$ m) und ihre Verbissbelastung (6.2), Entwicklungszustand in den drei Schichten einschließlich Höhen- und Durchmesser-Verteilung, Kronenprozent, h/d-Wert sowie soziale Stellung der Jungeichen (6.3.).

6.1 Verteilung der Eichen auf der Fläche

Auf der insgesamt 4,53 Hektar großen Inventurfläche (alle Straten) wurden insgesamt 155 Stieleichen aufgenommen (34 Stieleichen/ha; Vollaufnahme). Die Unterschiede zwischen den Straten bewegten sich zwischen 11 und 144 Jungeichen je Hektar (Tab. 2). Innerhalb der Straten war die Dichte der Eichen in Wegnähe und entlang der Bestandesränder am höchsten.

6.2 Wachstum der Eichen in der Etablierungsphase

Zwischen dem Wachstum der Eichen in der Krautschicht (<1,5 m) und der Deckung der Krautschicht, Strauchschicht und dem Kronenschluss konnte keine signifikante Korrelation

ermittelt werden. Unterschiede zeigten sich jedoch bei der Häufigkeitsverteilung: Mit steigendem Deckungsgrad der Krautschicht, bei zunehmender Deckung der Strauchschicht sowie bei geschlossenem Kronendach nahm die Zahl an Jungeichen ab.

Tab. 2: Flächengrößen und Anzahl an Eichenindividuen je Hektar in den fünf Straten. 1 = strauchreicher Pionierwald; 2 = offener bis lückiger Gehölzkomplex; 3 = halboffener bis geschlossener Gehölzkomplex; 4 = fast geschlossener Gebüschkomplex, gezäunt; 5 = geschlossener Pionierwald, gezäunt.

Tab. 2: Size of the Strata and number of oak individuals (in numbers per hectare) for the 5 strata. 1 = shrub-rich pioneer forest; 2 = open to gappy woodland; 3 = semi-open to closed woodland; 4 = nearly closed woodland, fenced; 5 = closed pioneer forest, fenced.

	Versuchsfeld					Rindswörth
	gesamt	Stratum 1	Stratum 2	Stratum 3	Stratum 4	Stratum 5
Flächengröße in ha	4,53	0,8	2,9	0,5	0,33	0,2
Baumzahlen absolut	155	26	32	72	13	12
Baumzahlen pro ha	34	33	11	144	39	60

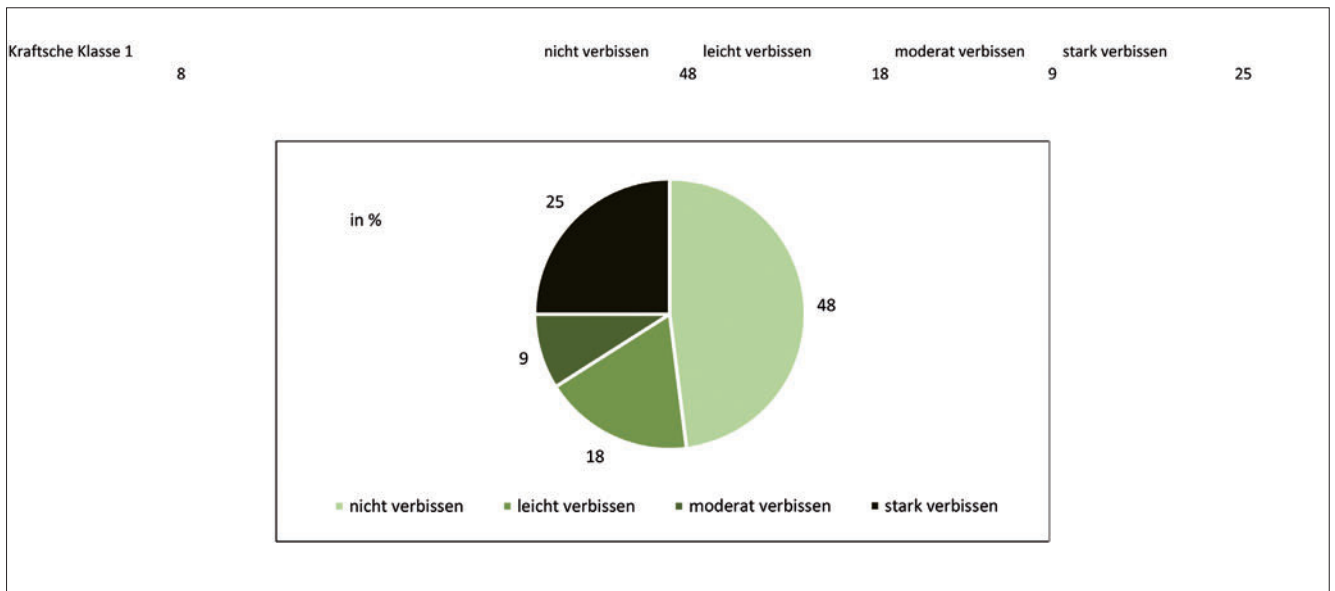


Abb. 5: Jungeichen in der Krautschicht - Verteilung der Verbissklassen.

Fig. 5: Juveniles oaks in the ground layer – distribution of browsing classes.

Tab. 3: Anzahl der Jungeichen in der Krautschicht (Etablierungsphase) und ihre jeweilige Verbissbelastung. 1 = strauchreicher Pionierwald; 2 = offener bis lückiger Gehölzkomplex; 3 = halboffener bis geschlossener Gehölzkomplex; 4 = fast geschlossener Gebüschkomplex, gezäunt; 5 = geschlossener Pionierwald, gezäunt.

Tab. 3: Number of oak juveniles in the ground vegetation and related browsing class. 1 = shrub-rich pioneer forest; 2 = open to gappy woodland; 3 = semi-open to closed woodland; 4 = nearly closed woodland, fenced; 5 = closed pioneer forest, fenced.

	Versuchsfeld					Rindswörth
	gesamt	Stratum 1	Stratum 2	Stratum 3	Stratum 4	Stratum 5
Nicht verbissen	31	2	19	7	1	2
Leicht verbissen	12	1	4	7	0	0
Moderat verbissen	6	0	3	3	0	0
Stark verbissen	16	3	3	10	0	0

Tab. 4: Statistische Unterschiede zwischen den Straten bezüglich der Parameter Wuchshöhe, Wurzelhalsdurchmesser, Kronenanteil, Schichtzugehörigkeit, Soziale Klasse zwischen den Straten 1 bis 4 (Versuchsfeld). *** = höchst signifikant, ** = signifikant, * = schwach signifikant, n.s. = nicht signifikant, nach Whitney-U-Test.

Tab. 4: Statistical difference between the strata of the parameters tree height, root collar diameter, proportion of crown, vertical position (vegetation layer), social position after Kraft, for the strata 1 to 4 ("Versuchsfeld"). *** = most significant, ** = significant, * = weakly significant, n.s. = not significant, based on Whitney-U-Test.

		Stratum 1	Stratum 2	Stratum 3	Stratum 4
Anzahl (n)		26	32	72	13
Stratum 2	Höhe	***			
	Durchmesser am Wurzelhals	***			
	Kronenanteil	n.s.			
	Schichtzugehörigkeit	***			
	Soziale Klasse	***			
Stratum 3	Höhe	n.s.	***		
	Durchmesser am Wurzelhals	n.s.	***		
	Kronenanteil	n.s.	*		
	Schichtzugehörigkeit	n.s.	***		
	Soziale Klasse	n.s.	***		
Stratum 4	Höhe	***	***	***	
	Durchmesser am Wurzelhals	***	***	***	
	Kronenanteil	n.s.	**	n.s.	
	Schichtzugehörigkeit	**	***	***	
	Soziale Klasse	**	***	**	
Stratum 5	Höhe	n.s.	***	n.s.	**
	Durchmesser am Wurzelhals	n.s.	***	n.s.	***
	Kronenanteil	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Schichtzugehörigkeit	n.s.	***	n.s.	*
	Soziale Klasse	n.s.	***	n.s.	***

Nach dem Hochwasserereignis 2013 muss für das Untersuchungs-jahr von einem eher geringen Rehwildbestand ausgegangen werden. Fast die Hälfte der Eichen in der Krautschicht wies daher keine Symptome rezenter Verbisses auf, ein Viertel der Eichen war jedoch stark verbissen (Abb. 5). Bei der Betrachtung der einzelnen Straten zeigten sich große Unterschiede. Auffallend war der große Unterschied zwischen Stratum 2 (Gebüsch; kaum Verbiss) und Stratum 3 (halboffener bis geschlossener Gehölzkomplex; hoher Verbissgrad) (Tab. 3). In Stratum 3 waren etwa die Hälfte der Eichen moderat verbissen oder „bonsaiartig“ verbuscht (Tab. 3). Für die Jungeichen innerhalb der Krautschicht konnte keine Korrelation zwischen Verbiss und Höhenwachstum nachgewiesen werden.

6.3 Entwicklungszustand der Eichen

Die Größen der Jungeichen (Schichtzugehörigkeit) und ihre Vitalität (Indikatoren: Höhen- und Durchmesser-Verteilung, Kronenprozent, h/d-Wert, soziale Stellung), damit der Entwicklungszustand der Eichen, waren zwischen den Straten auf dem „Versuchsfeld“ sehr unterschiedlich (Tab. 4).

Schichtzugehörigkeit

In allen fünf Straten fanden sich Eichen der Etablierungsphase in allen Schichten (Abb. 6). Bemerkenswert für das offene Stratum 2 war der mit 29 Jungeichen (91% der Individuen) sehr hohe Anteil an mehrjährigen Jungeichen in der Krautschicht. Im strauchreichen Pionierwald (Stratum 1) befand sich etwa die Hälfte der Jungeichen in

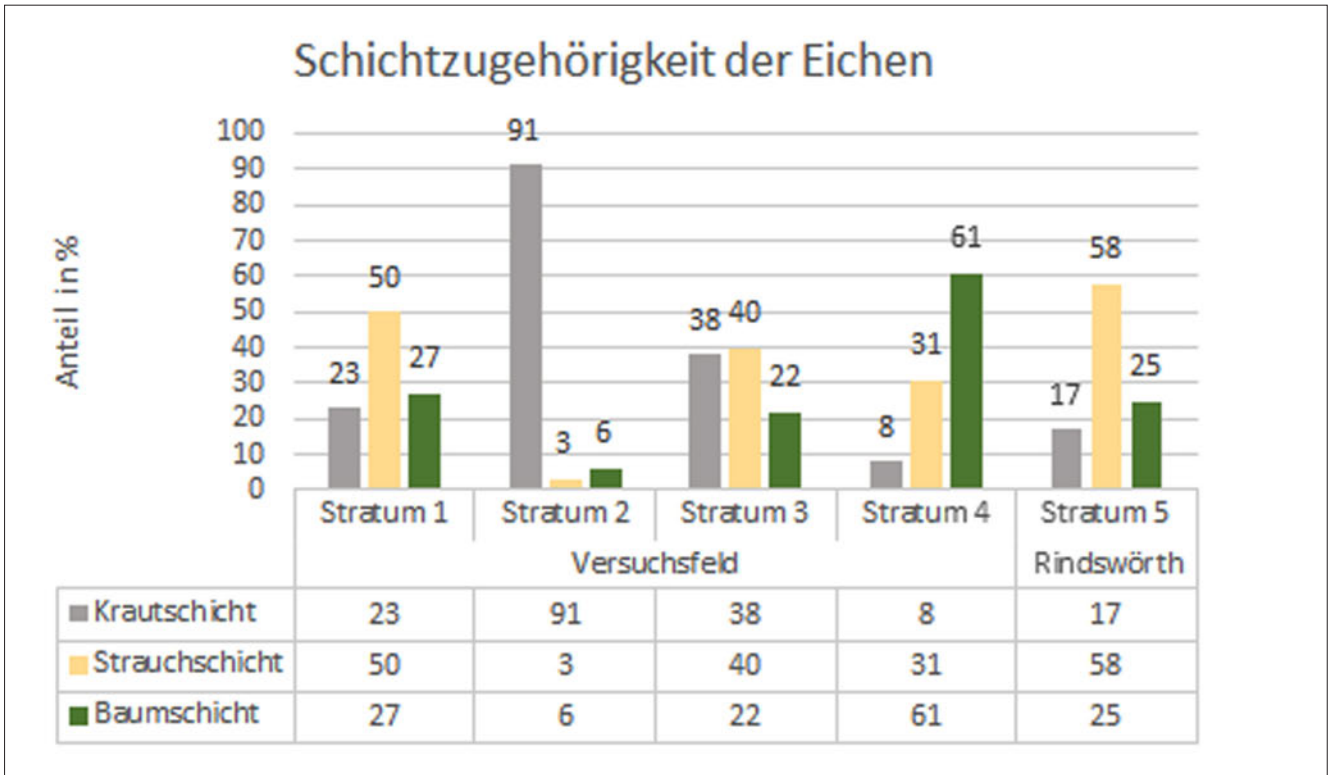


Abb. 6: Schichtzugehörigkeit der Jungeichen der fünf Straten. Angegeben sind die prozentualen Anteile und die absoluten Individuenzahlen. 1 = strauchreicher Pionierwald; 2 = offener bis lückiger Gehölzkomplex; 3 = halboffener bis geschlossener Gehölzkomplex; 4 = fast geschlossener Gebüschkomplex, gezäunt; 5 = geschlossener Pionierwald, gezäunt.

Fig. 6: Vertical position of juveniles oaks of the 5 strata: Percentual share and absolute numbers of individuals. 1 = shrub-rich pioneer forest; 2 = open to gappy woodland; 3 = semi-open to closed woodland; 4 = nearly closed woodland, fenced; 5 = closed pioneer forest, fenced.

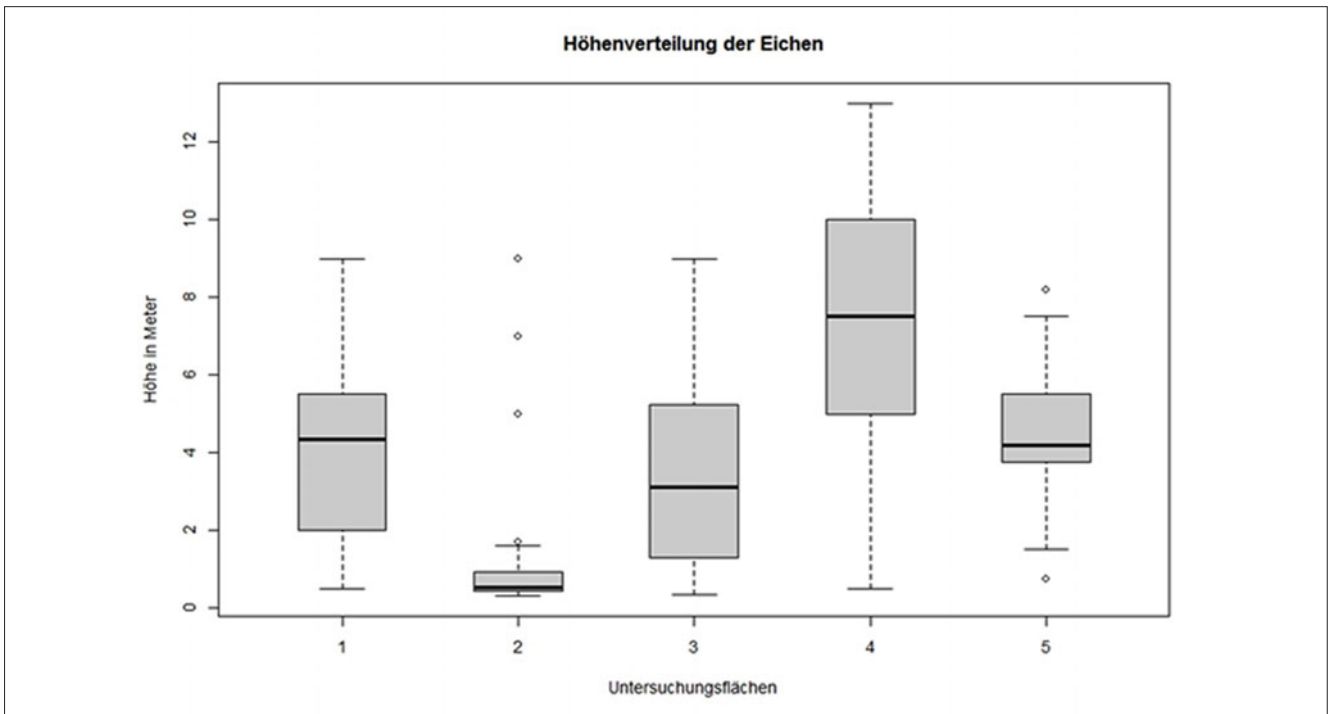


Abb. 7: Wuchshöhen der Eichen der fünf Straten. 1 = strauchreicher Pionierwald; 2 = offener bis lückiger Gehölzkomplex; 3 = halboffener bis geschlossener Gehölzkomplex; 4 = fast geschlossener Gebüschkomplex, gezäunt; 5 = geschlossener Pionierwald, gezäunt.

Fig. 7: Height of the oaks of the 5 strata. 1 = shrub-rich pioneer forest; 2 = open to gappy woodland; 3 = semi-open to closed woodland; 4 = nearly closed woodland, fenced; 5 = closed pioneer forest, fenced.

der Strauchschicht (n = 13), 7 in der Baumschicht. Relativ viele Jungeichen der beiden Straten mit Anteilen gras- und staudenreicher Bodenvegetation (Stratum 1, 3) haben trotz Wildverbiss Wuchshöhen über der Reichhöhe des Rehwildes erreicht. In dem umzäunten fast geschlossenen Gebüschkomplex (Stratum 4) fanden sich über 90% der Individuen in Strauch- und Baumschicht. Auch der umzäunte geschlossene Pionierwald (Stratum 5) wies erhebliche Anteile an Jungeichen in der Strauch- und Baumschicht auf, und nur mehr wenige Individuen in der Krautschicht (Abb. 6).

Höhen- und Durchmesserverteilung, Kronenprozent, h/d-Wert

Wuchshöhen und Stammdurchmesser waren zwischen den verschiedenen Straten sehr unterschiedlich (Abb. 7, 8). Bemerkenswert ist das Vorkommen auch großer Jungeichen in allen Straten, jedoch unterschiedlicher Häufigkeit. Besonders das relativ offene Stratum 2 sticht heraus, hier waren Wuchshöhe und Wurzelhalsdurchmesser deutlich kleiner. Die gebüschartigen Straten 1 und 3 hatten sehr ähnliche Wuchshöhen (im Mittel zwischen etwa 3 bis 4 Meter) und Stammdurchmesser. Auf den umzäunten Flächen (Stratum 4, 5) waren die Eichen bezüglich Wuchshöhe und Durchmesser am besten entwickelt.

Die an der Kronenentwicklung (Kronenanteil) bemessene Vitalität der Eichen unterscheidet sich nur wenig, der Median ist auf allen Flächen im Bereich von 50% oder höher. Einen etwas höheren mittleren Kronenanteil zeigend die umzäunten Flächen (4, 5). Bei ihnen ist auch die Streuung der Werte am geringsten. Signifikante Unterschiede zeigten sich beim Anteil der Kronen in den unterschiedlichen Wuchshöhen nicht (Abb. 9, 10).

Für die Individuen der Jungeichen in der Strauch- und Baumschicht wurde die Relation zwischen Wuchshöhe und Stammdurchmesser als Maß der einzelbaumweisen Stabilität ermittelt (Tab. 5, 6). Stabil waren die meisten baumförmigen Eichen in den umzäunten Flächen von Stratum 4 und die beiden Solitäräume im ansonsten offenen Stratum 2. Überwiegend instabile Eichen fanden sich in der Strauchschicht aller Straten sowie in der Baumschicht vor allem im gebüschartigen Stratum 1 und im Sukzessionswald Rindswörth (Stratum 5). In Stratum 3 war etwa die Hälfte der Bäume als instabil einzustufen.

Soziale Stellung

Die Stellung der Bäume im Waldbestand wird durch die Kraft'schen Klassen charakterisiert (BURSCHEL & HUSS 2003). Die meisten Jungeichen waren demnach als „beherrscht“ oder „unterdrückt“ anzusprechen (Abb. 11). Insbesondere waren dies die Jungeichen in der Krautschicht. Bemerkenswert ist jedoch auch der mit 40 Individuen insgesamt hohe Anteil an vorherrschenden und herrschenden Eichen (Tab. 7). Signifikante Unterschiede zeigen sich vor allem zwischen Stratum 2 und den anderen Flächen, sowie zwischen den umzäunten Bereichen und den sonstigen Untersuchungsflächen. In Stratum 2 sind fast ausschließlich Eichen im übershirmten Bereich vorhanden. Die gezäunten Flächen weisen hingegen den höchsten Anteil an mitherrschenden, herrschenden und vorherrschenden Stieleichen auf.

7 Diskussion

Die Anteile der Baumarten in den natürlichen Waldgesellschaften der „potenziellen natürlichen Vegetation“

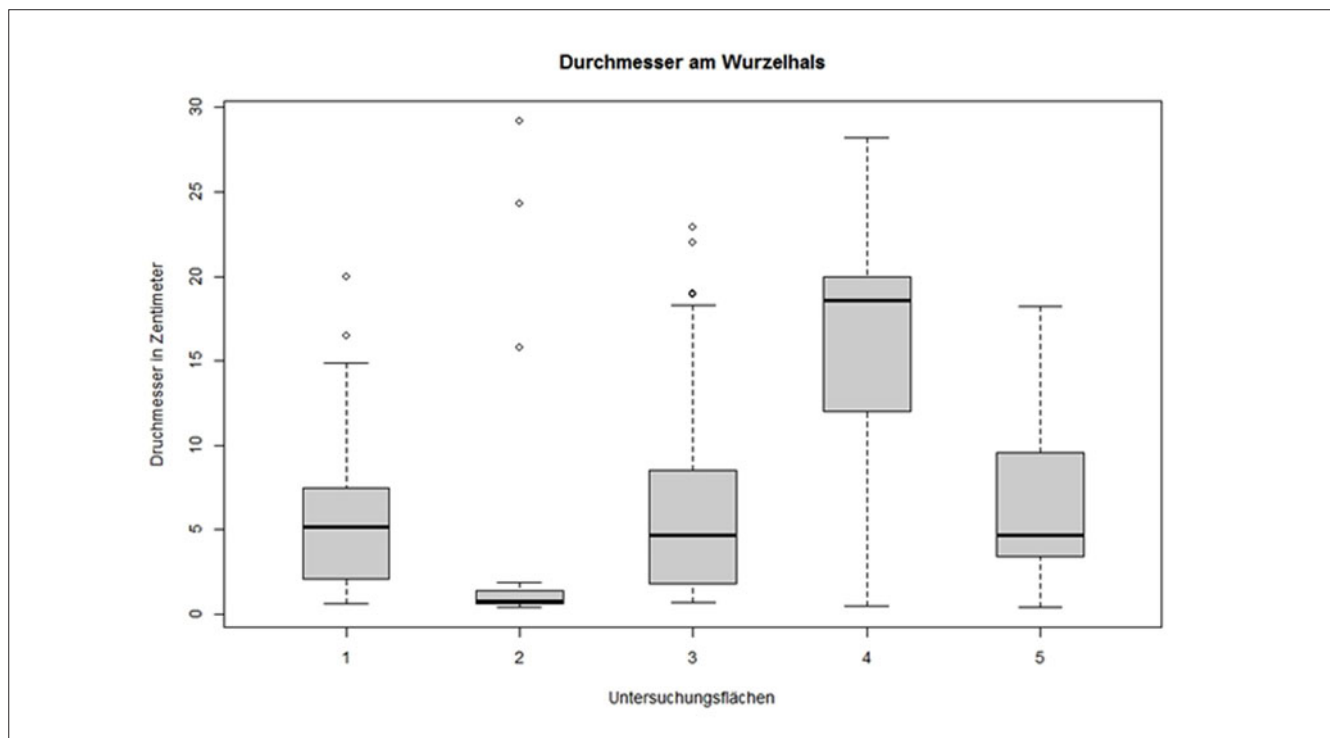


Abb. 8: Durchmesserverteilung am Wurzelhals der Eichen der fünf Straten. 1 = strauchreicher Pionierwald; 2 = offener bis lückiger Gehölzkomplex; 3 = halboffener bis geschlossener Gehölzkomplex; 4 = fast geschlossener Gebüschkomplex, gezäunt; 5 = geschlossener Pionierwald, gezäunt.

Fig. 8: Distribution of root collar diameter classes of the 5 strata. 1 = shrub-rich pioneer forest; 2 = open to gappy woodland; 3 = semi-open to closed woodland; 4 = nearly closed woodland, fenced; 5 = closed pioneer forest, fenced.

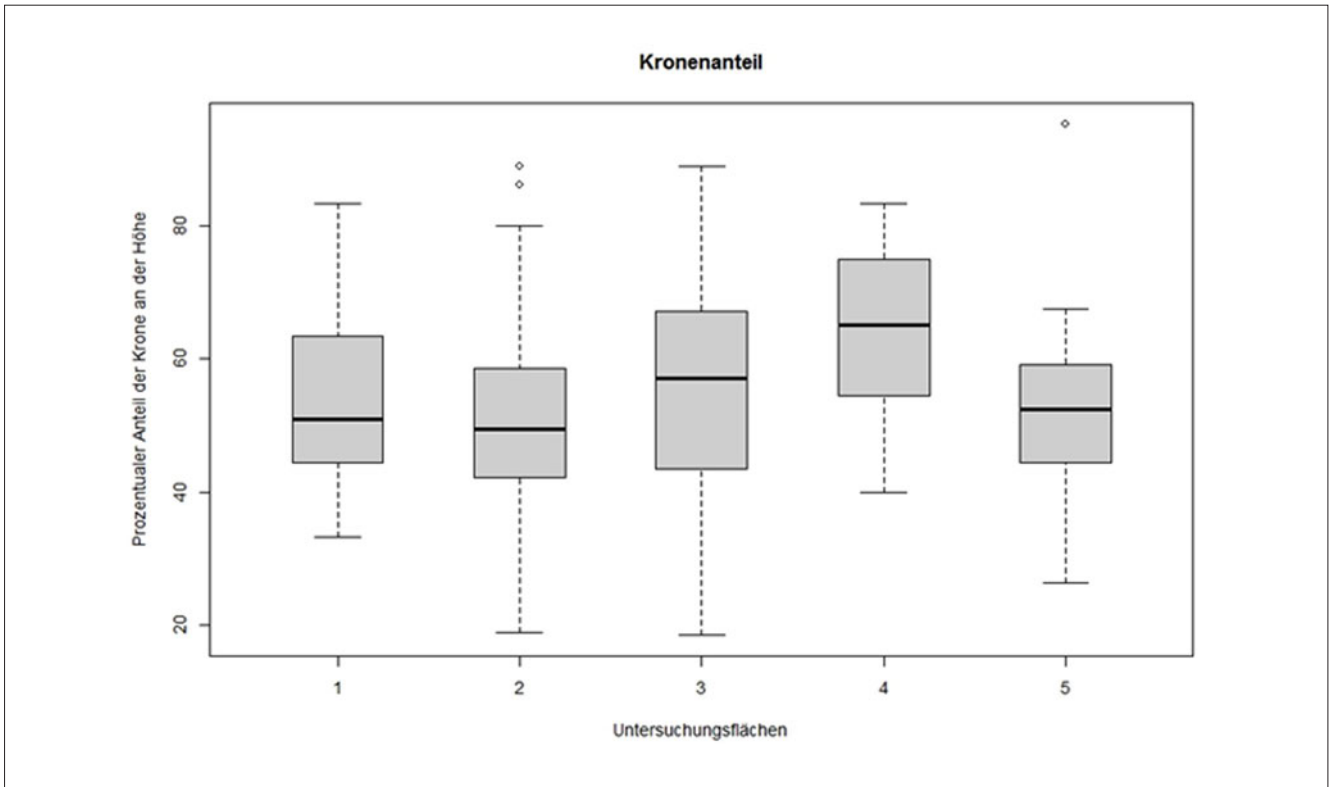


Abb. 9: Kronenanteil der Eichen der fünf Straten in Relation zur Wuchshöhe. 1 = strauchreicher Pionierwald; 2 = offener bis lückiger Gehölzkomplex; 3 = halboffener bis geschlossener Gehölzkomplex; 4 = fast geschlossener Gebüschkomplex, gezäunt; 5 = geschlossener Pionierwald, gezäunt.

Fig. 9: Proportion of crown in relation to height of the 5 strata. 1 = shrub-rich pioneer forest; 2 = open to gappy woodland; 3 = semi-open to closed woodland; 4 = nearly closed woodland, fenced; 5 = closed pioneer forest, fenced.

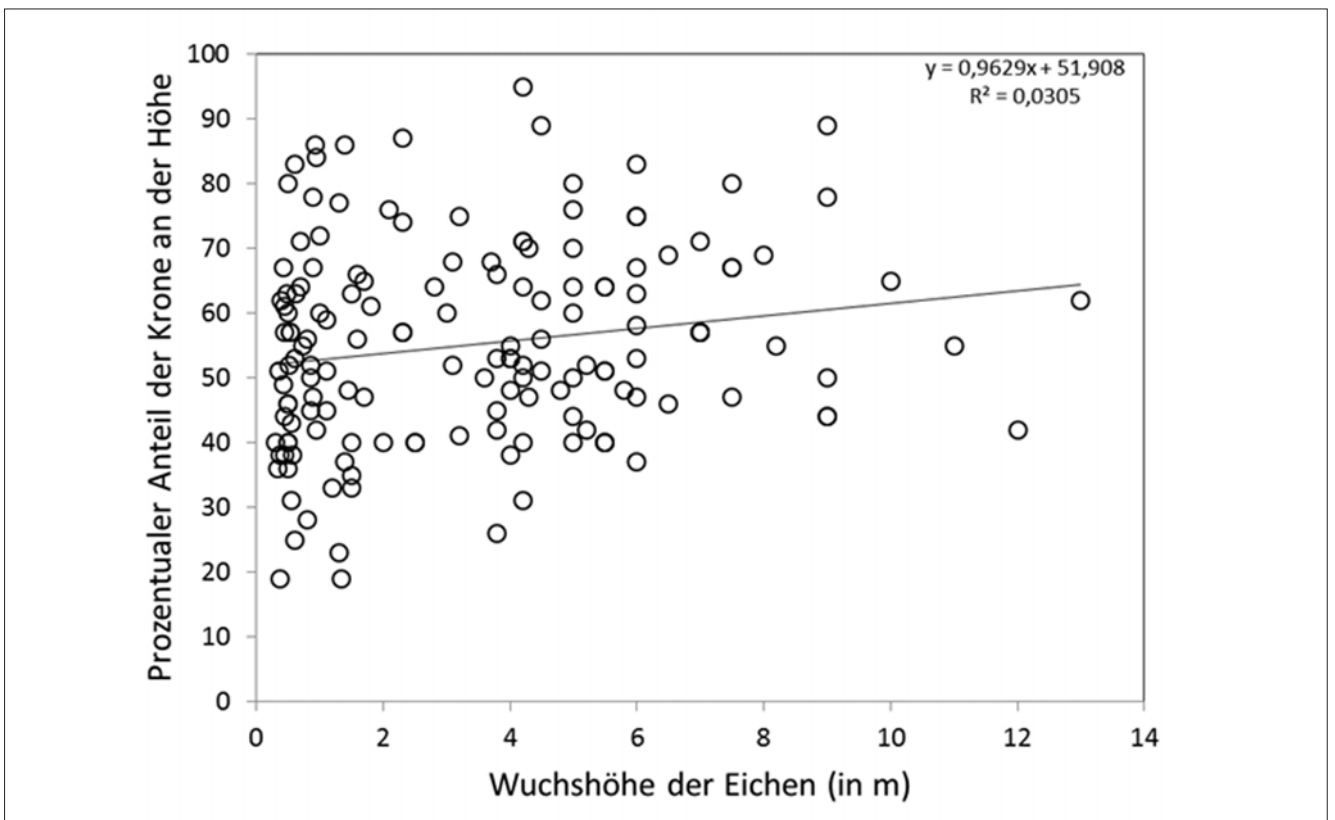


Abb. 10: Beziehung zwischen Kronenanteil und Wuchshöhe aller untersuchten Jungeichen.

Fig. 10: Relation between crown in relation to height of all recorded oak individuals.

Tab. 5: Stabilität der Eichen in der Baumschicht der fünf Straten, abgeleitet über den h/d-Wert. 1 = strauchreicher Pionierwald; 2 = offener bis lückiger Gehölzkomplex; 3 = halboffener bis geschlossener Gehölzkomplex; 4 = fast geschlossener Gebüschkomplex, gezäunt; 5 = geschlossener Pionierwald, gezäunt.

Tab. 5: *Stability of the oaks in the tree layer, indicated by the relation between tree height and stem diameter. 1 = shrub-rich pioneer forest; 2 = open to gappy woodland; 3 = semi-open to closed woodland; 4 = nearly closed woodland, fenced; 5 = closed pioneer forest, fenced.*

	Stratum 1		Stratum 2		Stratum 3		Stratum 4		Stratum 5	
	Anzahl		Anzahl		Anzahl		Anzahl		Anzahl	
	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %
sehr instabil	9	25	5	71	0	0	0	0	0	0
instabil	7	19	1	15	0	0	0	0	2	67
stabil	19	53	1	15	1	50	8	100	1	33
solitär	1	3	0	0	1	50	0	0	0	0

Tab. 6: Stabilität der Eichen in der Strauchschicht der fünf Straten, abgeleitet über den h/d-Wert. 1 = strauchreicher Pionierwald; 2 = offener bis lückiger Gehölzkomplex; 3 = halboffener bis geschlossener Gehölzkomplex; 4 = fast geschlossener Gebüschkomplex, gezäunt; 5 = geschlossener Pionierwald, gezäunt.

Tab. 6: *Stability of the oaks in the shrub layer, indicated by the relation between tree height and stem diameter. 1 = shrub-rich pioneer forest; 2 = open to gappy woodland; 3 = semi-open to closed woodland; 4 = nearly closed woodland, fenced; 5 = closed pioneer forest, fenced.*

	Stratum 1		Stratum 2		Stratum 3		Stratum 4		Stratum 5	
	Anzahl		Anzahl		Anzahl		Anzahl		Anzahl	
	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %
sehr instabil	32	58	7	54	0	0	1	25	6	85
instabil	11	20	3	23	0	0	0	0	0	0
stabil	11	20	3	23	1	100	3	75	1	15
solitär	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 7: Anteile junger Stieleichen in den fünf sozialen Klassen der untersuchten Straten. 1 = strauchreicher Pionierwald; 2 = offener bis lückiger Gehölzkomplex; 3 = halboffener bis geschlossener Gehölzkomplex; 4 = fast geschlossener Gebüschkomplex, gezäunt; 5 = geschlossener Pionierwald, gezäunt.

Tab. 7: *Social classes (after KRAFT) of the juvenile oaks and their distribution in the 5 strata. 1 = shrub-rich pioneer forest; 2 = open to gappy woodland; 3 = semi-open to closed woodland; 4 = nearly closed woodland, fenced; 5 = closed pioneer forest, fenced.*

	Versuchsfeld								Rindswörth	
	Strat.1		Strat.2		Strat.3		Strat.4		Strat.5	
	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %
Kraftsche Klasse 1	1	3,8	1	3,1	7	9,7	3	23,1	0	0,0
Kraftsche Klasse 2	5	19,2	1	3,1	16	22,2	4	30,8	2	16,7
Kraftsche Klasse 3	7	26,9	1	3,1	9	12,5	4	30,8	1	8,3
Kraftsche Klasse 4	6	23,1	2	6,3	12	16,7	1	7,7	6	50,0
Kraftsche Klasse 5	7	26,9	27	84,4	28	38,9	1	7,7	3	25,0

Mitteleuropas sind lediglich indizien- und expertengestützt einschätzbar. Insbesondere bezüglich der natürlichen Eichenanteile in Auwäldern gehen die Meinungen auseinander. Eine Verifizierung durch empirische Daten ist in dieser seit Jahrhunderten überformten Kulturlandschaft nicht möglich. Daher sind Zustandsvergleiche oder langfristige Monitoring-Daten zentrale Hilfsmittel zur standortsbezogenen Konstruktion von Naturzuständen sowie dynamischen Prozessen.

Besonders strittig ist die Konkurrenzfähigkeit von Lichtbaumarten bei Anwesenheit von Halbschatt- und Schattbaumarten, so auch der Stieleiche im Hartholzauenwald. Natürlich angesamte und sich ohne menschliche Unterstützung erfolgreich etablierende junge Stieleichen kommen heute in den wenigen verbliebenen, fast immer stark menschlich überformten Hartholzauen nicht oder nur selten vor (SIEBEL & BOUWMA 1998, KÜHNE & BARTSCH 2006). Dieses Ausbleiben der Eichenverjüngung hat praktische Auswirkungen auf die Entwicklung der Biodiversität in Schutzgebieten, den Schutzstatus („Pfleger oder Prozessschutz“) sowie die Bewirtschaftungs- und Pflegepraxis. Besonders komplex ist die Situation in Flussauen, denn dort überlagern sich natürliche Dynamiken des Standortes mit den Dynamiken der sukzessionalen Waldentwicklung. Aus diesem Grund ist die Analyse der seit Jahrzehnten ablaufenden Dynamiken in der weitgehend naturnahen Flussau der Mäanderzone am „Kühkopf“ für Renaturierungsmaßnahmen (DÉCAMPS et al. 1988) außergewöhnlich wertvoll, selbst wenn sie als lokale Fallstudie nur bedingt generalisierbar sein sollte.

Ansamung und Etablierung

Im Bereich des „Kühkopf“ entstanden auf dem standörtlichen Niveau der Hartholzau nach Perioden langer Überflutung, gefolgt von Sequenzen weniger extremer Hochwässer, in natürlicher Sukzession strukturreiche Entwicklungsstadien des Auwaldes (DISTER et al. 1992, BAUMGÄRTEL 2004). Mittlere Hochwasser wie in 2013 scheinen stellenweise zwar die Bodenvegetation gestört zu haben, ein flächiges Absterben der Verjüngung überflutungsempfindlicher Baumarten, wie BAUMGÄRTEL & GRÜNEKLEE (2002) es nach dem Hochwasser von 1999 beobachten konnten, wurde jedoch nicht beobachtet. Dem entspricht, dass sich für das Stratum 2, für welches frühere Inventurdaten vorliegen, die Anzahl der etablierten Eichen kaum veränderte (11 Individuen pro Hektar 1999; BAUMGÄRTEL & GRÜNEKLEE 2002; 12 Individuen pro Hektar im Jahr 2015).

Die inzwischen erfolgte Sukzession verlief unterschiedlich, die Sukzessionsstadien konnten in fünf Bestandestypen (Straten) eingeteilt werden. Strukturell sind dies teilweise stärker lückige, teilweise eher geschlossene strauchreiche Pionierbestände mit wechselnden Anteilen von Silberweide und Schwarzpappel in der Baumschicht. Zu diesen treten einzelne Flatterulmen und eine wechselnde Anzahl an Stieleichen. Bergahorn und Esche profitieren von den in den letzten 15 Jahren schwächeren Überflutungsereignissen (GONNERMANN 2002). Bei der Esche ist ein beinahe flächiger Befall durch das Eschentriebsterben erkennbar. Wie sich die Bestände daher zukünftig entwickeln, bleibt abzuwarten. Eichensämlinge sowie etablierte Eichen aller Größenklassen konnten auf der gesamten Fläche verteilt gefunden werden.

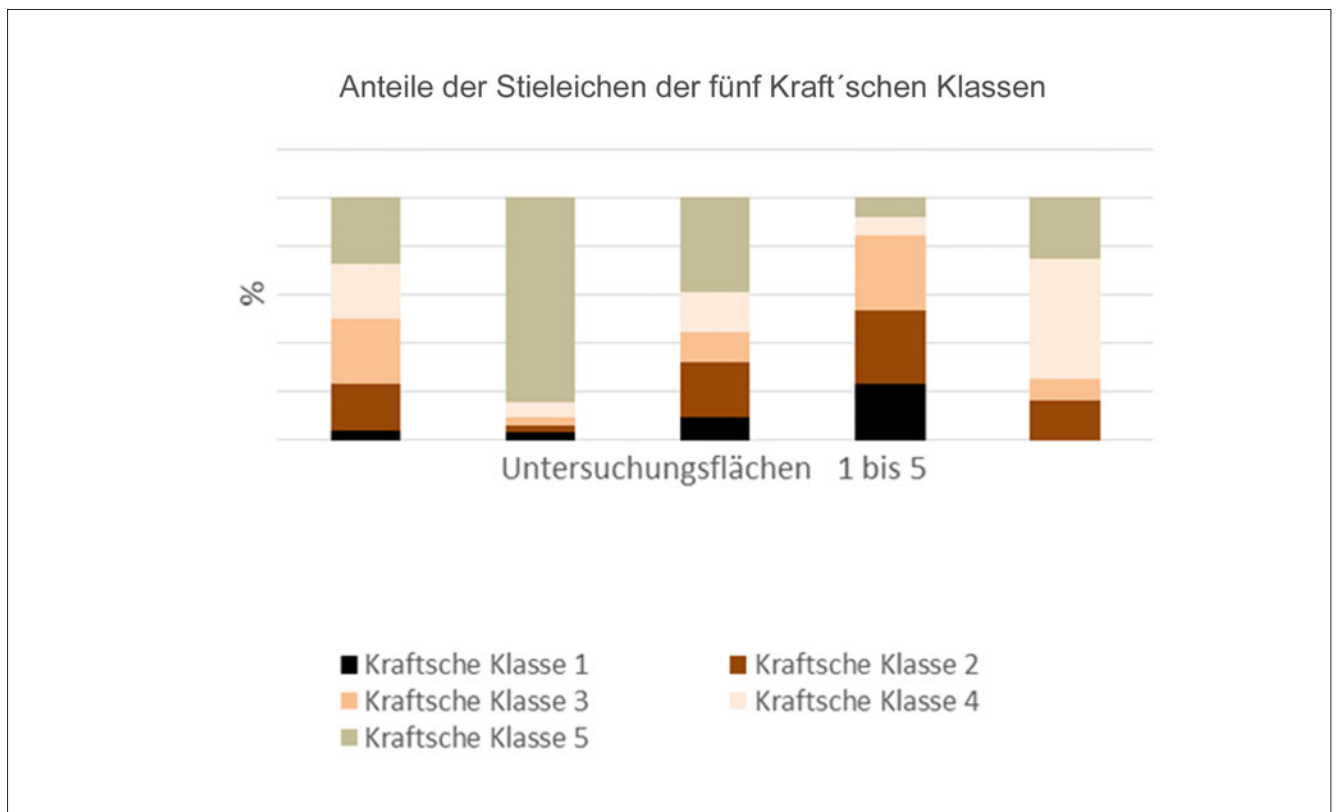


Abb. 11: Anteile der Stieleichen der fünf Kraft'schen Klassen (1 = vorherrschend; 2 = herrschend; 3 = mitherrschend; 4 = beherrscht; 5 = unterständig) in der Etablierungsphase in den fünf Untersuchungsflächen (Straten).

Fig. 11: Proportion of oaks in the 4 social classes (after KRAFT) in the establishing phase of the 5 strata. 1 = shrub-rich pioneer forest; 2 = open to gappy woodland; 3 = semi-open to closed woodland; 4 = nearly closed woodland, fenced; 5 = closed pioneer forest, fenced.

Auf dem Rindswörth (Stratum 5) wurde im Rahmen dieser Studie ein umzäunter Teilbereich untersucht. Dort hatte sich ein geschlossener Weiden-Pappel-Pionierwald entwickelt, in dem kaum mehr Jungeichen in der Krautschicht vorkommen. Einigen Eichen gelang es, auch noch nach 30 Jahren mitherrschend in der Baumschicht beteiligt zu bleiben, jedoch mit ungünstigen h/d-Werten (Tab. 5). Allerdings entstehen bereits erste Lücken durch absterbende Weichlaubholzbäume, welche das Überleben der Eichen fördern.

Als besonders günstig für eine Eichenetablierung erwiesen sich gebüschartige Sukzessionsstadien. Insbesondere wenn Alteichenbestände angrenzten, wurden hohe Eichendichten gemessen (144 Eichen je Hektar, Stratum 3). Ebenfalls hohe Dichten fanden sich im mit Lücken durchsetzten Gebüschstadium (Stratum 2), dort vor allem im Saumbereich der Gehölze. Dieses Verjüngungsmuster entspricht der Situation in anderen Eichengebieten wie etwa der „Trockenaue“ am südlichen Oberrhein (UHL 2008).

Wachstum der Eichen

In den untersuchten Straten waren Eichen in allen Schichten und Größenklassen vorhanden. Dies weist darauf hin, dass Eichen seit Sukzessionsbeginn auf der Fläche keimten und sich etablierten. Ein Großteil der Bäume war stabil und vital (BURSCHEL & HUSS 2003), mit Kronenanteilen von 40 bis 60%. Eine positive Korrelation von Kronenanteil und Höhe war nur sehr schwach erkennbar. Das zeigt, dass in allen Größenklassen vitale Individuen als auch weniger vitale Individuen zu finden waren.

Ein großer Anteil der bereits etablierten, mehrjährigen Individuen war in der Krautschicht zu finden, insbesondere des offenen bis lückigen Gehölzkomplexes (Stratum 2). Besonders erfolgreich war die langfristige Etablierung der Stieleichen in der Strauch- und Baumschicht des fast geschlossenen, gezäunten Gebüschkomplexes von Stratum 4 (Tab. 7, Abb. 11). Dort weisen die relativ große Zahl an Eichen in der Baumschicht, ihr Stammdurchmesser und h/d-Wert auf günstige Anwuchsbedingungen hin. Dies zeigt, dass das Schützen der Stieleichen vor Wildverbiss durch Zäunung zumindest in der Vergangenheit das Wachstum der Stieleichen förderte. Dies zeigt sich auch in Stratum 3, wo an mehreren vorherrschenden, baumförmigen Eichen-Individuen Einzelschutz in Form von Drahtthosen vorgefunden wurde.

Einfluss von Wildverbiss

Verbiss durch Wild zeigte sich in allen nicht gezäunten Straten des „Versuchsfeldes“ (Stratum 1, 2, 3; Tab. 3, Abb. 5). Immerhin knapp die Hälfte der Stieleichen in Verbisshöhe weisen zumindest aktuell keine Verbissspuren auf. Dieser hohe Anteil ist vermutlich auf die intensive Bejagung in den 90er Jahren und die anhaltende jagdliche Wildtierregulation sowie die natürlichen Abgänge durch das Hochwasser 2013 zurückzuführen (vgl. BAUMGÄRTEL & GRÜNEKLEE 2002). Unterschiede im Verbisssdruck zeigen sich bei Betrachtung der einzelnen Straten. Im offeneren Stratum 2 ist der Verbiss deutlich geringer, was auf Jagddruck und Störung des Wildes durch Wanderer bedingt sein mag. Im Gegensatz dazu sind in deckungsreichen Gebüschstadien des Stratum 3 prozentual höhere Zahlen verbissener Eichen vorhanden (Tab. 3). Mehrere Jungeichen waren durch Verbiss „verbuscht“, konnten jedoch durch kräftige Seitentriebe aus der Verbisshöhe entwachsen. Mit Einzelschutz versehene Eichen erwiesen sich als vitaler und waren in die Baumschicht eingewachsen.

Gleiches gilt auch für die Eichen in den umzäunten Arealen. Dies zeigt, dass der Verbiss in der Vergangenheit Einfluss auf das Wachstum der Stieleichen hatte.

8 Schlußfolgerung

Hartholzauwälder gehören mit bis zu acht Baumarten in der Kronenschicht zu den Wäldern mit der höchsten Baumartenvielfalt in Europa. Ihre Kraut- und Strauchschicht ist sehr divers (LAIBACH 1941, LÖTSCHERT & LAIBACH 1979, ELLENBERG & LEUSCHNER 2010) und sie beherbergen eine Vielzahl gefährdeter Tierarten, für die insbesondere die Stieleiche eine wesentliche Schlüsselart ist (HEYDEMANN 1982, MÜLLER et al. 2005, DOLEK et al. 2008, BLASCHKE et al. 2009, BUSSLER & SCHMIDL 2009). Das Fehlen von Eichen in der Etablierungsphase in ansonsten eichenreichen Waldgesellschaften ist daher naturschutzfachlich gravierend (BAUMGÄRTEL 2004). Daher wird in den wenigen verbliebenen Hartholzauwäldern der Flüsse und Ströme mit großem waldbaulichem und finanziellem Aufwand versucht, zumindest einen Anteil an Stieleiche in die nächste Bestandesgeneration hinüber zu retten.

Das Ausbleiben der natürlichen Verjüngung der Stieleiche in Hartholzauen muss jedoch auf die heute weitgehend fehlende Substrat- und Vegetationsdynamik bei starken Hochwässern sowie auf den Wildverbiss zurückgeführt werden (vgl. SCHNITZLER & HEUZE 2006). Das Beispiel am Kühkopf zeigt, dass nach starken Hochwasserereignissen die Stieleiche auf neu aufgelandetem Substrat und unter konkurrenzarmen Bedingungen sich in Hartholzauen erfolgreich natürlich etabliert und in die Baumschicht einwächst (vgl. BAUMGÄRTEL & GRÜNEKLEE 2002). Untersuchungen von gepflanzten Eichen an der Elbe zeigen, dass besonders die Stieleiche mit den häufigen Überflutungen zurechtkommt und vitale, stabile Bäume aufwachsen können (vgl. OSTERLOH et al. 2010; Abb. 12). Lange Überflutungen reduzieren die Vitalität vieler mit der Eiche konkurrierender Gehölze oder der Bodenvegetation, während bereits etablierte Eichen überleben (KRAMER et al. 2008). Auf neu aufgelandetem Substrat entstehen auch auf dem Niveau der Hartholzauwälder mit Dominanz von eher kurzlebigen Weiden- und Pappelarten sowie Anteilen der langlebigen Stieleiche.

Trotz des großen Einflusses des Hochwassers auf die Sukzessionsdynamik sind auch andere Faktoren wie Licht, Verbiss, Konkurrenz, etc. entscheidend (REIF & GÄRTNER 2007, UHL 2008). Je nach Entwicklungszustand wirken diese Faktoren mehr oder weniger stark auf die Pflanzen ein. Entscheidend ist jedoch, dass bei ausreichender Bejagung oder Zäunung in der Sukzession eine überlebensfähige und konkurrenzfähige Eichenverjüngung heranwächst. Ganz ähnliche Faktoren werden auch für den Erfolg der Eichenverjüngung in nordamerikanischen Flussauen beschrieben (SWEENEY et al. 2002).

Aufgrund des praktisch vollständigen Fehlens naturbelassener Hartholzauen in Mitteleuropa müssen Aussagen über die Stieleichenanteile in der Naturlandschaft zwangsläufig spekulativ bleiben. Dies betrifft die Eichenanteile in den entsprechenden Waldgesellschaften der potenziellen natürlichen Vegetation (pnV). Diese wiederum werden von vielen Autoren als Referenz benutzt, um die Naturnähe der Bestockung von Wirtschaftswäldern abzuleiten (MICHIELS & ALDINGER 2002, REIDL et al. 2013, SUCK et al. 2014). In Umkehrung hierzu wird die fehlende natürliche Eichenetablierung als Bestätigung ihrer Künstlichkeit gesehen (HAUSCHILD 2006), beispielsweise wenn über die Verpflichtung zum Erhalt von Natura 2000-Gebieten diskutiert wird (SCHMACK et al. 2013).

Auf der Grundlage der Beobachtungen am „Kühkopf“ kann angenommen werden, dass die Stieleiche in Hartholzauen als Bestandteil der pnV anzusehen ist und auch zukünftig mit teilweise erheblichen Anteilen eine Rolle bei der Waldentwicklung spielen wird, wenn (1) das natürliche Überflutungsregime

unter Einschluss der natürlichen Morphodynamik gesichert ist, (2) die Habitattradition von samenspendenden Alteichen weitergeführt wird, und (3) eine Wildbestandsregulierung gewährleistet ist (Abb. 12, 13, 14, 15).



Abb. 12: Fast geschlossenes Gebüsch. Hartriegel, Schlehe, Schwarzpappel, Zitterpappel, Silberweide, Esche, Eiche (Stratum 1). 14.4.2015. © Albert Reif.

Fig. 12: *Nearly closed successional shrubland.* *Cornus sanguinea*, *Prunus spinosa*, *Populus nigra*, *P. tremula*, *Salix alba*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur* (Stratum 1). 14.4.2015. © Albert Reif.



Abb. 13: Junge Stieleiche, aufgewachsen im Schutz eines dichten Schlehengebüsches am Kühkopf. 4.12.2015. © Herbert Zettl.

Fig. 13: *Young Pedunculate oak, established in the shelter of a dense Prunus spinosa-shrubland at Kuehkopf.* 4.12.2015. © Herbert Zettl.



Abb. 14: Etablierte junge Eiche am Rande eines Schlehengebüsches. Infolge eines Hochwassers starben die nicht überflutungstoleranten Schlehensträucher ab, die Eiche überlebte. 23.10.2006. © Herbert Zettl.

Fig. 14: *Established young oak at the border of a Prunus spinosa-shrubland. Because of flooding, the Prunus spinosa-shrubs have died, they are intolerant to flooding. The oak survived.* 23.10.2006. © Herbert Zettl.



Abb. 15: Junge Eiche am Kühkopf, etabliert in natürlicher Sukzession nach starkem Hochwasser und nachfolgender Aufgabe der Ackerwirtschaft 1983. 4.12.2015. © Herbert Zettl.

Fig. 15: Young oak at "Kühkopf", established through natural succession after a severe inundation period, and subsequent abandonment of farming in 1983. 4.12.2015. © Herbert Zettl.

Literatur

- ALDINGER, E. (2006): Standörtliche Grundlagen der südlichen Oberrheinaue. In: BÜCKING, W. (2006): Entwicklung und Behandlung dealpiner Auwälder. Waldschutzgebiete Baden-Württemberg **10**: 15-18.
- ASTRADE, L., BÉGIN, Y. (1997): Tree-ring response of *Populus tremula* L. and *Quercus robur* L. to recent spring floods of the Saône River, France. *Écoscience* **4**: 232-239.
- BAUMGÄRTEL, R., ZEHEM, A. (1999): Zur Bedeutung von Fließgewässern – Dynamik für naturnahe Rheinufer unter besonderer Betrachtung der Schwarzpappel (*Populus nigra*) und Sandrasen. *Natur und Landschaft* **74**: 530-535.
- BAUMGÄRTEL, R., GRÜNEKLEE, W. (2002): Sukzession nach Dammbbruch auf ehemaligen Ackerflächen in der Rheinaue: Ergebnisse nach 17 Jahren ungestörter Sukzession auf der Rheininsel Kühkopf. *Natur und Landschaft* **77**: 269-273.
- BAUMGÄRTEL, R. (2004): Zur aktuellen Situation der Hartholzauenwälder im Naturschutzgebiet „Kühkopf-Knoblochsaue“. *Botanik und Naturschutz in Hessen* **17**: 53-61.
- BAUMGÄRTEL, R. (2007): Anlage von Auwald durch Umbau von Hybridpappelbeständen am nördlichen Oberrhein. *Forst und Holz* **62**: 26-29.
- BECKER, A. (1990): Veränderungen im Mischungsverhältnis von Buche und Eiche in einem zehnjährigen Beobachtungszeitraum. *Schriftenreihe der Landesanstalt f. Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung* **12**: 80-85.
- BLASCHKE, M., HELFER, W., OSTROW, H., HAHN, C., LOY, H., BUSSLER, H., KRIEGLSTEINER, L. (2009): Naturnähezeiger – Holzbewohnende Pilze als Indikatoren für Strukturqualität im Wald. *Naturschutz und Landschaftspflege* **84**: 560-566.
- BRUNOTTE, E., DISTER, E., GÜNTHER-DIRINGER, D., KOENZEN, U., MEHL, D. (2009): Flussauen in Deutschland – Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Bonn-Bad Godesberg: 36 S.
- BURSCHHEL, P., HUSS, J. (2003): Grundriss des Waldbaus; ein Leitfaden für Studium und Praxis. Ulmer Verlag, Stuttgart: 487 S.
- BUSSLER, H., SCHMIDL, J. (2009): Die xylobionte Käferfauna von sechs Eichen im Naturwaldreservat Eichhall im bayerischen Hochspessart (Coleoptera). *Entomologische Zeitschrift* **119**: 115-123.
- DAMMANN, I., HERRMANN, T., KÖRVER, F., SCHRÖCK, H.W., ZIEGLER, C. (2001): Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden im Level-II-Programm-Methoden und Ergebnisse der Kronenansprache seit 1983. BMVEL, Bonn: 85 S.
- DÉCAMPS, H., FORTUNÉ, M., GAZELLE, F., PAUTOU, G. (1988): Historical influence of man on the riparian dynamics of a fluvial landscape. *Landscape Ecology* **1**: 163-173.
- DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie: Grundlagen und Methoden, Ulmer Verlag, Stuttgart: 638 S.
- DISTER, E. (1980): Geobotanische Untersuchungen in der hessischen Rheinaue als Grundlage für die Naturschutzarbeit. Dissertation, Universität Göttingen: 170 S.
- DISTER, E.R. (1983): Zur Hochwassertoleranz von Auenwaldbäumen an lehmigen Standorten. *Verh. Ges. f. Ökol.* **10**: 325-336.
- DISTER, E. (1984): Bemerkungen zur Ökologie und soziologischen Stellung der Auenwälder am nördlichen Oberrhein (Hessische Rheinaue). *Colloques phytosociologiques* **9** (Les forêts alluviales, Strasbourg 1980): 343-363.
- DISTER, E. (1985a): Zur Struktur und Dynamik alter Hartholzauenwälder (*Quercus-Ulm* etum Issl. 24) am nördlichen Oberrhein. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich* **123**: 13-31.
- DISTER, E. (1985b): Auenlebensräume und Retentionsfunktion. ANL-Tagungsberichte (Die Zukunft der ostbayer. Donaulandschaft, 1985) **3**: 74-90.
- DISTER, E., DRESCHER, A. (1987): Zur Struktur, Dynamik und Ökologie lang überschwemmter Hartholzauenwälder der unteren March (Niederösterreich). *Verh. Ges. Ökol.* **15**: 295-302.
- DISTER, E., SCHNEIDER, E., SCHNEIDER, E., FRITZ, H.-G., WINKEL, S., FLÖSSER, E. (1992): Großflächige Renaturierung des „Kühkopfes“ in der hessischen Rheinaue – Ablauf, Ergebnisse und Folgerungen der Sukzessionsforschung. In: Auen – gefährdete Lebensadern Europas. Renaturierung von Flußauen. Tagungsdokumentation des internationalen Kongresses in Rastatt. Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg **13b**: 20-36.
- DISTER, E. (1995): Die Ökologie der Flußauen und ihre Beeinträchtigung durch den Verkehrswasserbau. In: Das 2. Elbe-Colloquium, Edition Arcum: 56-64
- DISTER, E. (1999): Folgen der Sohleneintiefung für die Ökosysteme der Aue. IHP/OHP Berichte **13** (Hydrologische Dynamik im Rheingebiet): 157-165.

- DISTER, E. (2002): Der Kühkopf – ein Auen-Schutzgebiet von europäischer Bedeutung. In: RP DARMSTADT (Hrsg.): 50 Jahre Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsau: 5-10.
- DOLEK, M., BUSSLER, H., SCHMIDL, J., GEYER, A., BOLZ, R., LEIGL, A. (2008): Vergleich der Biodiversität verschiedener Eichenwälder anhand xylobionter Käfer, Nachtfalter und Ameisen. In: BAYER. LANDESANSTALT F. WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.): Ökologische Bedeutung und Schutz von Mittelwäldern in Bayern: 5-37.
- ELLENBERG, H., LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Ulmer Verlag, Stuttgart: 1333 S.
- ERNST, M. (2002): Internationaler Schutz: Europareservat, FFH-Gebiet, EU-Vogelschutzgebiet. In: RP DARMSTADT (Hrsg.): 50 Jahre Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsau: 21-22.
- FISCHER, A. (2003): Forstliche Vegetationskunde – eine Einführung in die Geobotanik. Ulmer Verlag, Stuttgart: 421 S.
- FRYE, J., GROSSE, W. (1992): Growth responses to flooding and recovery of deciduous trees. – J. Biosci. **47**: 683-689.
- GLENZ, C., SCHLAEPFER, R., IORGULESCU, I., KIENAST, F. (2006): Flooding tolerance of Central European tree and shrub species. For. Ecol. Manag. **235**: 1-13.
- GONNERMANN, H. (2002): Die Wälder des Naturschutzgebietes – von der Pappelwirtschaft zum Prozeßschutz. In: RP DARMSTADT (Hrsg.): 50 Jahre Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsau: 28-42.
- GROSSHERZOGTUM HESSEN (1823–1850): Karte von dem Großherzogthume Hessen. – Das trigonometrische Netz der allgemeinen Landesvermessung aufgenommen von dem Grossherzoglich Hessischen Generalquartiermeisterstabe. In: Historische Kartenwerke **22**: Darmstadt [1 : 50 000]. <http://www.lagis-hessen.de/de/subjects/idrec/sn/hkw/id/75>.
- HASEL, K., SCHWARTZ, E. (2006): Forstgeschichte. Ein Grundriss für Studium und Praxis. 3. Aufl., Kessel, Remagen: 394 S.
- HAUSCHILD, R. (2006a): Das Quercu-Ulmetum Issler 1924 als „nomen ambiguum“. In: Bücking, W. (2006): Entwicklung und Behandlung dealpiner Auwälder. – Waldschutzgebiete Baden-Württemberg **10**: 19-38.
- HAUSCHILD, R. (2006b): Dynamik des Auewaldes im Waldschutzgebiet Tauebergießen. In: Bücking, W. (2006): Entwicklung und Behandlung dealpiner Auwälder. Waldschutzgebiete Baden-Württemberg **10**: 95-115.
- HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEINRICHTUNG, WALDÖKOLOGIE UND WALDFORSCHUNG (2000, unveröffentlicht): Schlussverhandlung zur Forsteinrichtung des Staatswaldes Kühkopf-Knoblochsau vom 01.01.2000.
- HEYDEMANN, B. (1982): Der Einfluss der Waldwirtschaft auf die Waldökosysteme aus zoologischer Sicht. Schr.R. Dt. Rat f. Landespf. **40**: 926-943.
- IKAUNIECE, S., BRUMELIS, G., KONDRATOVICS, T. (2012): Naturalness of *Quercus robur* stands in Latvia, estimated by structure, species, and processes. Estonian J. Ecol. **61**: 64-81.
- ISSLER, E. (1926): Les associations végétales des Vosges méridionales et de la plaine rhenane acoisante, 1. Partie. Les forêts. Documents sociologiques, Colmar, 109 S.
- KREUZWIESER, J., FÜRNISS, S., RENNENBERG, H. (2002): Impact of waterlogging on the N-metabolism of flood tolerant and non-tolerant species. Plant, Cell and Environment **25**: 1039-1049.
- KRAMER, K., VREUGDENHIL, S.J., VAN DER WERF, D.C. (2008): Effects of flooding on the recruitment, damage and mortality of riparian tree species: A field and simulation study on the Rhine floodplain. For. Ecol. Managem. **255**: 3893-3903.
- KÜHNE, C. (2004): Verjüngung der Stieleiche (*Quercus robur* L.) in oberrheinischen Auenwäldern. Dissertation Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Universität Göttingen: 187 S.
- KÜHNE, C. BARTSCH, N. (2006): Verjüngung der Stieleiche am Oberrhein zwischen Karlsruhe und Speyer. In: BÜCKING, W. (2006): Entwicklung und Behandlung dealpiner Auwälder. Waldschutzgebiete Baden-Württemberg **10**: 75-84.
- LAIBACH, F. (1941): Die Pflanzenwelt des Kühkopfs und benachbarter Altrheingebiete. In: PFEIFER, S. (Hrsg.): Die Rheininsel „Kühkopf“. Eberling, Frankfurt a.M.: 17-28.
- LAWESSON, J.E., OKSANEN, J. (2002): Niche characteristics of Danish woody species as derived from coenoclines. J. Veg. Sci. **13**: 279-290.
- LECHNER, A. (2011): Rezente Auenwälder in Mitteleuropa – Relikte alter Naturlandschaften? Ein Beitrag zur Natürlichkeit komplexer Ökosysteme in alten Kulturlandschaften. In: Der Leipziger Auwald – ein dynamischer Lebensraum. Tagungsband zum 5. Leipziger Auensymposium am 16. April 2011 (Nr. 06/2011). UFZ-Bericht, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung: 17-28.
- LÖTSCHERT, W., LAIBACH, F. (1979): Die Pflanzenwelt des Kühkopfs und benachbarter Altrheingebiete. In: PFEIFER, S. (Hrsg.): Kühkopf-Knoblochsau – Das größte Hessische Naturschutzgebiet, Strohbach, Frankfurt am Main: 21-33.
- MANTEL, K. (1990): Wald und Forst in der Geschichte. Parey, Hamburg u. Hannover: 258 S.
- MECKE, T. (2002): Das Naturschutzgebiet im Spiegel der Verordnungen. In: RP DARMSTADT (Hrsg.): 50 Jahre Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsau: 18-20.
- MICHIELS, H.-G., ALDINGER, E. (2002): Forstliche Standortsgliederung in der badischen Rheinaue. AFZ-DerWald **15**: 811-815.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2011): Das Integrierte Rheinprogramm. Hochwasserschutz und Auenrenaturierung am Oberrhein. Stuttgart: 17 S.
- MÜLLER, J., BUSSLER, H., BENSE, U., BRUSTEL, H., FLECHTNER, G., FOWLES, A., KAHLER, M., MÖLLER, G., MÜHLE, H., SCHMIDL, J., ZABRANSKY, P. (2005): Urwald relict species-Saproxilic beetles indicating structural qualities and habitat tradition – Urwaldrelikt-Arten - Xylobionte Käfer als Indikatoren für Strukturqualität und Habitattradition. Waldökologie online **2**: 106-113.
- ÖBERDORFER, E. (1953): Der europäische Auenwald. Beitr. z. Naturk. Forsch. SW-Dtld. **12**: 22-69.
- ÖBERDORFER, E. (1992): Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil IV: Wälder und Gebüsche. G. Fischer, Stuttgart - New York: 282 S. Textband, 580 S. Tabellenband.
- OSTERLOH, S., FELINKS, B., KREIBICH, M., GLAESER, J. (2010): Waldrandetablierung in der Elbaue – Ergebnisse einer Erfolgskontrolle im Biosphärenreservat Mittelbe. Naturschutz und Landschaftsplanung **42**: 48-54.
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT (Hrsg.) (2002): 50 Jahre Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsau. 52 S.
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT (Hrsg.) (2011): Maßnahmenplan (Bewirtschaftungsplan) für das FFH/VS Gebiet Kühkopf-Knoblochsau. Darmstadt: 95 S. (unveröffentlicht).
- REICHHOFF, L. (2011): Bedeutung und Förderung auendynamischer Prozesse. 5. Leipziger Auensymposium. In: WIRTH, C., REIHER, A., ZÄUMER, U., KASPERIDUS, H.D. (2011): Der Leipziger Auwald – ein dynamischer Lebensraum. Tagungsband zum 5. Leipziger Auensymposium am 16. April 2011 (Nr. 06/2011). UFZ-Bericht, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung: 19-25.

- REIDL, K., SUCK, R., BUSHART, M., HERTER, W., KOLTZENBURG, M., MICHIELS, H.-G., WOLF, TH., unter Mitarbeit von AMINDE, E., BORTT, W. (2013): Potentielle Natürliche Vegetation von Baden-Württemberg. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Naturschutz – Spectrum Themen 100, Karlsruhe.
- REIF, A., GÄRTNER, S. (2007): Die natürliche Verjüngung der laubabwerfenden Eichenarten Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* Liebl.) – eine Literaturstudie mit besonderer Berücksichtigung der Waldweide. *Waldökologie online* **5**: 79-116.
- RENNWALD, E. (2000): Verzeichnis und Rote Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands. Schriftenreihe für Vegetationskunde **35**: 800 S.
- RIITERSHOFER, F. (1999): Waldpflege und Waldbau für Studium und Praxis. Gisela Rittershofer Verlag, Freising: 492 S.
- ROLOFF, A., BÄRTELS, A. (2014): Flora der Gehölze – Bestimmung Eigenschaften Verwendung. Ulmer, Stuttgart: 915 S.
- ROTHMANN, K. (1979): Aus der Geschichte des Naturschutzgebietes Kühkopf-Knoblochsaue. In: PFEIFER, S. (Hrsg.): Kühkopf-Knoblochsaue – Das größte hessische Naturschutzgebiet. Strobach, Frankfurt: 21-33.
- SCHÄFER, W. (1973): Altrhein-Verbund am nördlichen Oberrhein. (Hrsg.) Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft, Frankfurt am Main: 63 S.
- SCHMACK, S., AICHHOLZ, R., HARTEBRODT, CH. (2013): Naturschutzfachliche Einschränkungen der Forstwirtschaft. Ökonomische Katastrophe oder Bagatelle? *Schr.-R. Freib. Forstl. Forsch.* **97**: 112 S.
- SCHMULL, M., THOMAS, F.M. (2000): Morphological and physiological reactions of young deciduous trees (*Quercus robur* L., *Q. petraea* [Matt.] Liebl., *Fagus sylvatica* L.) to waterlogging. *Plant Soil* **225**: 227-242.
- SCHNEIDER, E. (2002): Vom Acker zur Auenwiese, 20 Jahre Grünlandsukzession am Kühkopf. In: RP DARMSTADT (Hrsg.): 50 Jahre Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsaue. S. 43-49.
- SCHNITZLER, A., HEUZE, P. (2006): Naturalité et biodiversité: enjeux de gestion compatibles? In: BÜCKING, W. (2006): Entwicklung und Behandlung dealpiner Auwälder. Waldschutzgebiete Baden-Württemberg **10**: 43-49.
- SIEBEL, H.N., BOUWMA, I.M. (1998): The occurrence of herbs and woody juveniles in a hardwood floodplain forest in relation to flooding and light. *J. Veg. Sci.* **9**: 623-630.
- SPÄTH, V. (1988): Zur Hochwassertoleranz von Auenwaldbäumen. *Natur u. Landschaft* **63**: 312-315.
- SPÄTH, V. (2002): Hochwassertoleranz von Waldbäumen in der Rheinaue. *AFZ-DerWald* **57**: 807-810.
- SUCK, R., BUSHART, M., HOFMANN, G., SCHRÖDER, L. (2014): Karte der Potentiellen Natürlichen Vegetation Deutschlands. Band I Grundeinheiten. BfN-Skripten **348**: 449 S.
- SWEENEY, B.W., CZAPKA, S.J., YERKES, T. (2002): Riparian Forest Restoration: Increasing Success by Reducing Plant Competition and Herbivory. *Restoration Ecol.* **10**: 392-400.
- TERWEI, A., ZERBE, S., ZEILEIS, A., ANNIGHÖFER, P., KAWALETZ, H., MÖLDER, I. (2013): Which are the factors controlling tree seedling establishment in North Italian floodplain forests invaded by non-native tree species? *For. Ecol. Managem.* **304**: 192-203.
- UHL, A. (2008): Naturverjüngung der Stieleiche (*Quercus robur* L.) im Gebiet der „Trockenaue“ am südlichen Oberrhein (Südwestdeutschland). *Carolinea* **66**: 15-34.
- VEBLEN, T., MERMOZ, M., MARTIN, C., RAMILO, E. (1989): Effects of exotic deer on forest regeneration and composition in northern Patagonia. *Journal of Applied Ecology* **26**: 711-724.
- WAGNER, J. (2015): Natürliche Etablierung der Stieleiche (*Q. r. L.*) in der rezenten Aue des Oberrheins im Naturschutzgebiet Kühkopf, Hessen. Bachelorarbeit, Fak. UNR, Universität Freiburg: 64 S.

submitted: 02.02.2016

reviewed: 29.03.2016

accepted: 23.06.2016

Autorenanschrift:

Prof. Dr. Dr. h.c. Albert Reif
 Professur für Standorts- und Vegetationskunde
 Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen
 Universität Freiburg
 Tennenbacherstr. 4
 79085 Freiburg
 E-Mail: albert.reif@waldbau.uni-freiburg.de

Ralph Baumgärtel
 Umweltbildungszentrum
 Außerhalb 27
 64589 Stockstadt am Rhein
 E-Mail: ralph.baumgaertel@forst.hessen.de

Prof. Dr. Emil Dister i.R., Dr. Erika Schneider
 Professur für Fluss- und Auenökologie
 KIT - Institut für Geographie und Geoökologie
 Außenstelle WWF-Auen-Institut
 Josefstraße 1
 76437 Rastatt
 E-Mail: er.dister@neuf.fr
erika.schneider@partner.kit.edu