

# Verjüngung der Stieleiche am Oberrhein zwischen Karlsruhe und Speyer

Christian Kühne und Norbert Bartsch

## 1 Einleitung

In der aktuellen Waldbauplanung für die Rheinauenwälder in Rheinland-Pfalz findet die Stieleiche wieder stärker Berücksichtigung. Die Erhaltung der an die periodisch überfluteten Auenstandorte sehr gut angepassten Baumart durch Naturverjüngung, Saat und Pflanzung verursachte jedoch bereits in früherer Zeit immer wieder große waldbauliche Schwierigkeiten. Die Erhöhung des Stieleichenanteils soll in Zukunft durch die gezielte Förderung der Baumart auf geeigneten Standorten und der Abkehr vom Anbau der Edellaubhölzer (*Acer pseudoplatanus* und *Fraxinus excelsior*) erreicht werden. Die seit der Überführung der ehemaligen Mittelwälder in Hochwald üblichen waldbaulichen Verfahren der Eichenverjüngung auf der Freifläche oder durch Großschirmschlag führten aber trotz eines hohen Pflegeaufwandes sehr selten zu befriedigenden Ergebnissen.

Aufgrund weitreichender waldbaulicher Unsicherheiten hinsichtlich der Bewirtschaftung der bisher von Stieleichen dominierten Auenwälder wurde im Jahr 1998 durch das Institut für Waldbau der Universität Göttingen und die Landesforstverwaltung Rheinland-Pfalz ein Forschungsvorhaben zur natürlichen und künstlichen Verjüngung der Stieleiche in den Pfälzer Rheinauen begonnen. Ziel des Forschungsprojektes war es, in Zusammenarbeit mit der forstlichen Praxis Verjüngungsverfahren zu testen, mit denen sich der Stieleichenanteil unter den gegenwärtigen Standorts- und Bestockungsverhältnissen der Rheinauenwälder erhöhen, zumindest aber erhalten lässt.

Das Untersuchungsgebiet liegt im ursprünglichen Überschwemmungsgebiet des Rheins zwischen Karlsruhe und Speyer und wird nach Westen hin durch das Hoch-

gestade des ursprünglichen Rheinlaufes begrenzt. Durch vielfache wasserbauliche Eingriffe zum Ausbau des Stromes als Handelsweg, zur Energie- und Materialgewinnung, durch Straßenbau und Industrieansiedlung wurde die ehemalige Aue in ihrem Landschaftsgefüge fast völlig umgewandelt. Die Veränderungen werden noch fortgesetzt. Bei starkem Hochwasser des Rheins sollen Teile der Aue Retentionsräume bilden, mit denen Spitzen der Hochwässer kurzfristig gespeichert und danach wieder dem Rhein zugeführt werden. Die Auswirkungen in unregelmäßigen Zeitabständen mit unterschiedlicher Dauer und Intensität kontrolliert eingeleiteter Flutungen auf die Waldvegetation und deren Regeneration lassen sich zurzeit kaum abschätzen. Das wird nicht zuletzt die Stieleiche betreffen (RÖHRIG u. KÜHNE 2005).

## 2 Versuchsflächen und Verjüngungsverfahren

Die Versuchsflächen liegen am Oberrhein nördlich der Staustufe Iffezheim (Abb. 1). Die Versuchsfläche Potaschbuckel am Rheinkilometer 377 ist Teil der Überflutungsau des Naturschutzgebietes Hördter Rheinaue, ebenso der südlich bei Rheinkilometer 374 gelegene Bestand Oberer Karlskopf. Die Versuchsfläche Oberer Salmengrund liegt am Rheinkilometer 395. Als

Vergleichsfläche zu den Flächen der Überflutungsau dient der Bestand Lohbusch in der durch Hochwasserdeiche geschützten Altaue. In den Beständen hatte die Stieleiche (120- bis 155-jährig) hohe Anteile in der Oberschicht.

Im April 1999 wurden die Bestände aufgelichtet. Die waldbaulichen Eingriffe beschränkten sich auf den Unterstand und auf einzelne Bäume des Oberstandes

bzw. kleine Baumgruppen. Die Versuchsflächen wurden nach den Hiebseingriffen vollständig von Stammholz, Schlagabraum und Strauchwerk geräumt und nach den Hiebseingriffen gezäunt. Die Versuchsfläche Oberer Karlskopf blieb ohne waldbauliche Eingriffe während des Untersuchungszeitraumes und diente der Erfassung der Samenproduktion.

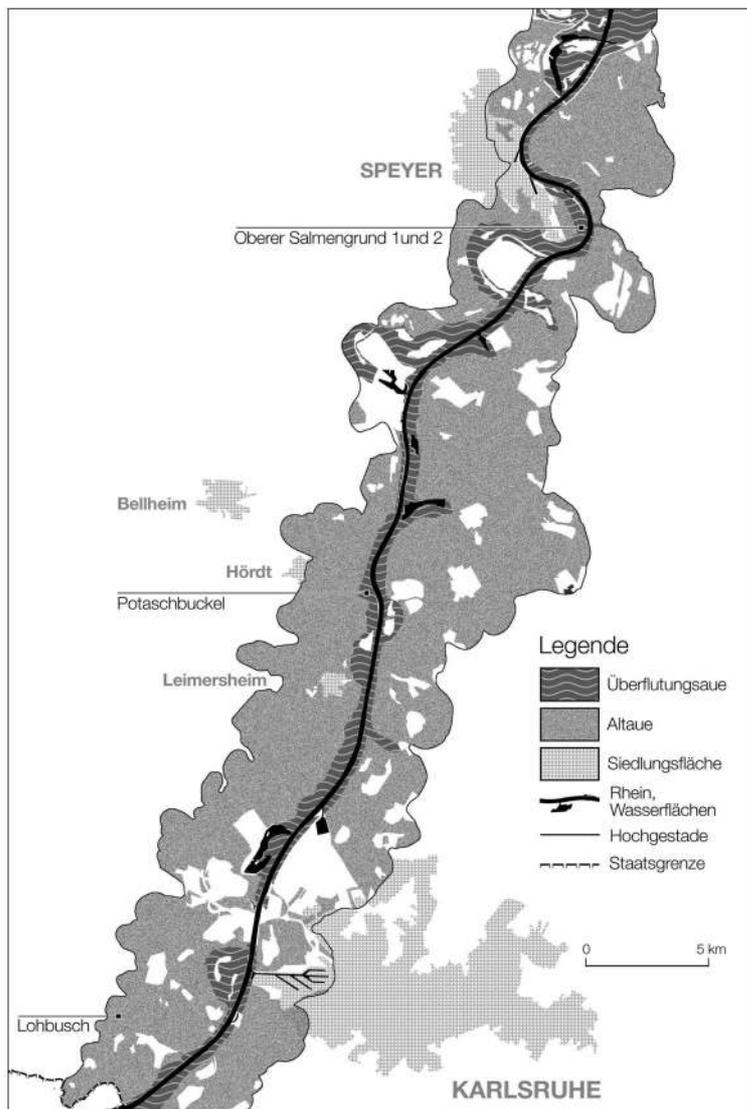


Abb. 1: Lage der Versuchsflächen in Überflutungs- und Altaue

Tab. 1: Saaten

Versuchsfläche	Saat-termin	Herkunft*	Saat-plätze	Eicheln pro Saatplatz	Eicheln pro Fläche
Potaschbuckel	April 1999	1	60	230 (1 kg)	13800 (60 kg)
	Okt. 2000	2	30	270 (1 kg)	8100 (30 kg)
	April 2001	2	30	270 (1 kg)	8100 (30 kg)
Oberer Salmengrund	April 1999	1	60	230 (1 kg)	13800 (60 kg)
Lohbusch	April 1999	3	60	220 (1 kg)	13200 (60 kg)

\* 1: Herkunft Oberrheingraben aus den Pflanzkämpen Büchelberg und Hördt im Verhältnis 2 zu 1

2: Herkunft Oberrheingraben aus dem Pflanzkamp Hördt

3: Herkunft Oberrheingraben aus dem Pflanzkamp Büchelberg

Nach der femelartigen Auflichtung ergaben sich unter dem Kronenschirm Mittelwerte der Strahlung, die in etwa dem Mindestlichtbedarf von jungen Eichen entsprechen. Dieser liegt nach HAUSKELLER-BULLERJAHN (1997) und LÜPKE (1998) bei 15-20 % der Freilandstrahlung.

Der Samenfall wurde jährlich auf allen Versuchsflächen erfasst. Hierzu wurden unter den Kronen der Alteichen 30 Samenfänge je Versuchsfläche mit einer Auffangfläche von 0,25 m<sup>2</sup> in 1 m Höhe aufgestellt.

Das Auflaufen der Naturverjüngung der Stieleiche und der Mischbaumarten sowie die Entwicklung der Bodenvegetation wurden auf Probeflächen (60-80 pro Versuchsfläche) von 1 bis 2 m<sup>2</sup> erfasst.

Saaten wurden auf den Versuchsflächen Potaschbuckel, Oberer Salmengrund und Lohbusch im April 1999 durchgeführt. Im Herbst 2000 und im Frühjahr 2001 wurden auf der Versuchsfläche Potaschbuckel zusätzliche Saaten angelegt.

Das von den Forstämtern Hagenbach, Bellheim und Speyer zur Verfügung gestellte Saatgut der Herkunft Oberrheingraben hatte 1999 eine Keimfähigkeit von 33 % (Aussaat von 538 Eicheln in feuchtem Sand bei ca. 20 °C). Bei der Herbstsaat 2000 betrug das Keimprozent knapp 95 % (N = 310) und bei der Frühjahrssaat 2001 85 % (N = 294).

Angaben zu den Saatterminen und zur Saatedichte enthält Tab. 1. Auf jedem Saatplatz wurde ein Kilogramm Eicheln (220-270 Eicheln) gleichmäßig auf 2 m<sup>2</sup> ausgelegt und mit Laubstreu bedeckt.

Auf den Versuchsflächen Potaschbuckel, Oberer Salmengrund und Lohbusch wurden im April 1999 Stieleichen gepflanzt. Aufgrund hoher Ausfälle im Jahr der Pflanzung und um den Anwuchs bei unterschiedlichen Hochwassersituationen zu untersuchen, wurden im Februar 2000 (Oberer

Tab. 2: Pflanzungen

Versuchsfläche	Pflanztermin	Sortiment	Pflanzplätze	Pflanzen/Pflanzplatz	Pflanzen/Fläche
Potaschbuckel	April 1999	3+0, 80/120	87	10	870
	Febr. 2001	4+0, 120/180	70/2/1/	21/20/16	1526
Oberer Salmengrund	April 1999	3+0, 50/80	21	21	441
	Febr. 2000	3+0, 80/120	39/20/1	21/9/20	1019
	Febr. 2001	4+0, 120/180	15/2	21/20	355
Lohbusch	April 1999	3+0, 50/80	91/9	11/10	1091

Salmengrund) und im Februar 2001 (Potaschbuckel, Oberer Salmengrund) zusätzliche Pflanzungen durchgeführt. Das Saatgut der Stieleiche zur Pflanzenanzucht wurde in Beständen des Forstam-

tes Pfälzer Rheinauen gesammelt. Die Pflanzen wurden in den Pflanzkämpen Büchelberg und Schaidt angezogen. Die Stieleichen wurden auf Teilflächen als Nesterpflanzung eingebracht. Die

Pflanzplätze wurden ebenso wie die Saatplätze in einem 10 m-Raster über die Versuchsflächen verteilt. Die Verfügbarkeit von Pflanzenmaterial der Herkunft Oberrheingraben bestimmte die verwendeten Pflanzensortimente (Tab. 2). Obwohl die Pflanzen nicht verschult waren, übertrafen sie die Güteanforderungen der EU (ANONYMUS 2000). Das Spross/Wurzelverhältnis wurde durch einen Wurzelschnitt, bei dem die Wurzeln vor der Pflanzung auf 25-30 cm gekürzt wurden, ungünstiger. Die Pflanzung erfolgte mit dem Hohlspaten. Näheres zu den Verjüngungsverfahren und zur Aufnahmemethodik siehe KÜHNE (2005).

### 3 Standörtliche Besonderheiten

Der Wuchsbezirk „Rheinauen“ des Wuchsgebietes „Nördliches Oberrheinisches Tiefland“ zählt zu den wärmsten Gebieten Deutschlands. Daneben kennzeichnet der vom Flusswasser überlagerte Wasserhaushalt die bewaldeten Gebiete entlang des Rheins. Der vom Strom bestimmte Gang der ober- und unterirdischen Wasserstände hat zudem entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung und Nährstoffversorgung der Waldböden (KÜHNE u. BARTSCH 2005).

Die hydrologischen Verhältnisse am Oberrhein wurden seit Anfang des 19. Jahrhunderts durch wasserbauliche Maßnahmen stark verändert (BÄRTHEL 1965; MUSALL 1969). Durch das veränderte Wasserregime des Rheins tritt ein Teil dieser Hochwasser auch innerhalb der Vegetationszeit auf und sind die stromseits der Deiche gelegenen Waldstandorte häufiger von höheren Überflutungen betroffen (HÜGIN u. HENRICHFREISE 1992).

Für den Untersuchungszeitraum 1999 bis 2003 wurde die Hochwassersituation auf den Flächen Potaschbuckel und Oberer Sal-

mengrund bestimmt und mit dem 30-jährigen Mittel verglichen. Hierzu wurden Daten vom Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz zur Verfügung gestellt. Die Datenreihen der Jahre 1971 bis 2003 umfassen Abflüsse und Wasserstände der Pegel Maxau und Speyer. Aus Abfluss-Wasserstand-Beziehungen für die den Standorten entsprechenden Rheinkilometer wurden Wasserstandshöhen in m ü. NN berechnet. Die Abflüsse des Pegels Max-

au wurden für die Wasserstände des Standortes Potaschbuckel verwendet, die Abflüsse des Pegels Speyer für den Standort Oberer Salmengrund. Anhand von eigenen Beobachtungen von Hochwasserereignissen im Zeitraum 1999 bis 2003 wurden die berechneten Wasserstände validiert.

Starke Schwankungen in den Fluss- und Grundwasserständen treten innerhalb kurzer Perioden auf (Abb. 2). Das Jahr 1999 war durch das schwerste Hochwasser

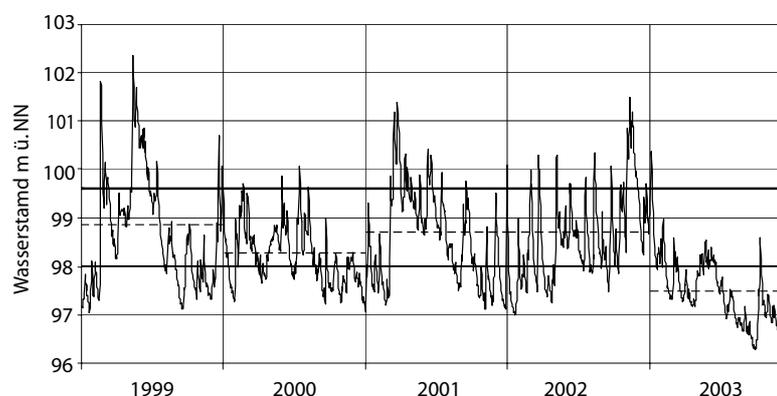


Abb. 2: Gang des Wasserstandes (Höhe Flusswasserspiegel) bei Rheinkilometer 377 (Standort Potaschbuckel) in den Jahren 1999 bis 2003.

— — : durchschnittlicher Wasserstand in einem Jahr,  
 — : durchschnittlicher Wasserstand im Zeitraum 1971-2000,  
 — : Wasserstand bei beginnender Überflutung des Standortes Potaschbuckel

Tab. 3: Anzahl der Überflutungstage für Senken des Standortes Potaschbuckel in Abhängigkeit von der Geländehöhe und dem Mindestwasserstand (Überflutungshöhe) in den Jahren 1999 bis 2003 (Überflutungstage in der Vegetationsperiode grau unterlegt)

Jahr	1999			2000			2001			2002			2003			
	99,3	100	101	99,3	100	101	99,3	100	101	99,3	100	101	99,3	100	101	
Überflutungshöhe (cm)	10	101	50	15	22	2	0	85	29	4	79	28	3	7	2	0
		64	38	11	12	2	0	60	9	0	32	4	0	0	0	0
	50	66	35	10	3	0	0	47	11	0	44	14	1	4	0	0
		48	29	6	3	0	0	25	0	0	9	0	0	0	0	0
	100	43	19	3	0	0	0	16	5	0	21	4	0	2	0	0
		36	14	3	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0
	200	12	3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
		9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

des vergangenen Jahrhunderts geprägt, das Jahr 2003 infolge der lang anhaltenden Sommertrockenheit durch stark abgesenkte Pegelstände. Der stetige Wechsel zwischen Wasserüberschuss und Wassermangel ist der entscheidende Standortfaktor in den Auenwäldern am Rhein. Überflutung und Trockenstress sind im Auenwald Ereignisse, die innerhalb einer Vegetationsperiode mehrmals nacheinander auftreten können. Dadurch werden das Pflanzenwachstum und vor allem die Verjüngung der Gehölzflora wesentlich beeinflusst.

Die Dauer von Überflutung und Grundwasserstau können auf kleiner Fläche erheblich räumlich variieren. Geringe Differenzen im

Relief sind entscheidend dafür, dass bei erhöhten Pegelständen kleinflächige Areale ober- und unterirdischem Wasserüberschuss ausgesetzt sind oder nicht (Tab. 3). Auch standortspezifische Besonderheiten, wie der an den Standort Potaschbuckel angrenzende Altrheinarm oder der parallel zum Rhein verlaufende Höhenzug im Oberen Salmengrund, beeinflussen das hydrologische Regime und somit den Bodenwasserhaushalt. Dieser wird zudem während langanhaltender Trockenheit und nach Hochwasserereignissen nachhaltig durch die sehr inhomogene Schichtung im Bodenprofil geprägt. Einerseits kann der Oberbodenkörper viel Wasser speichern, es im ungesättigten Zu-

stand aufgrund hoher Ton- und Schluffgehalte aber nur sehr langsam in den sandigen Untergrund abführen. Andererseits verhindert grobkörniger Untergrund den kapillaren Aufstieg von Wasser aus tiefen Schichten, wenn Fluss- und Grundwasser stark abgesenkt sind.

Das milde Klima kann in langen Phasen mit geringen Niederschlägen und tiefen Pegelständen den im Oberboden auftretenden Trockenstress zusätzlich verstärken. Die Bodenvegetation und die Gehölzverjüngung können in Trockenperioden daher verstärkt unter Wassermangel leiden. Für Altbäume und Straucharten gilt dies weniger, da die Auenlehme einen tiefen Bodenaufschluss ermöglichen.

## 4 Verjüngung der Stieleiche

### Naturverjüngung

Im Untersuchungszeitraum fruktifizierte die Stieleiche in jedem Jahr, jedoch nicht auf jeder Versuchsfläche. Gering waren die Samenmengen in den Jahren 1999, 2002 und 2003 (Abb. 3). In den Jahren 2000 und 2001 ergaben sich hingegen starke Masten mit mehr

als 50 Eicheln  $m^{-2}$ . Im Jahr 2000 betrug die mittlere Keimfähigkeit des Saatgutes aller Versuchsflächen 70 %, im Folgejahr betrug sie 77 %. Unterschiede zwischen den Flächen der Überflutungs- und Altaue ergaben sich bei der Keimfähigkeit nicht. Die ergiebigen Masten hatten jedoch einen höheren Anteil

an keimfähigem Saatgut als die schwächeren Ernten.

Ein Großteil der im Herbst 2000 auf den Boden gefallenen Eicheln war im Dezember 2000 durch Tiere gefressen oder verschleppt worden. An den Überresten der Samenschalen war erkennbar, dass vor allem Mäusefraß die Ursache für die Samenverluste war. Die

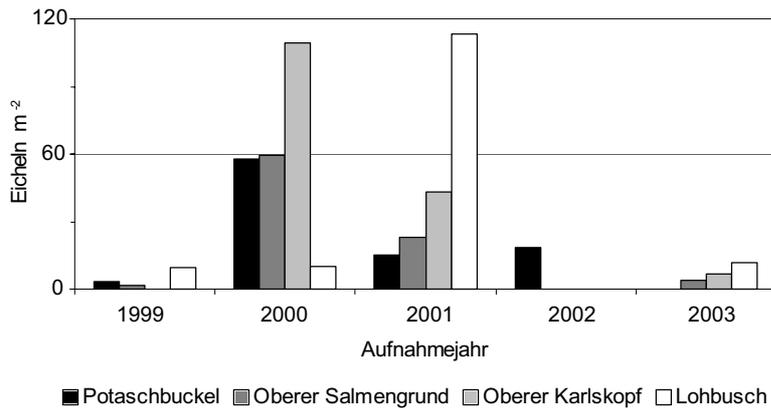


Abb. 3: Fruktifikation (mittlere Anzahl Eicheln  $m^{-2}$ ) der Stieleichen im Zeitraum 1999 bis 2003 auf den Versuchsflächen Potaschbuckel, Oberer Salmengrund, Oberer Karlskopf (2000, 2001 und 2003) und Lohbusch

höchsten Verluste wurden mit 92 % auf der Versuchsfläche Potaschbuckel festgestellt. Die mittleren Verluste im Oberen Salmengrund waren mit ca. 75 % geringer. Hohe Eicherverluste gab es auch in der Altaue (Lohbusch).

Auf den Flächen in der Überflutungsau wurden nur wenige Eichensämlinge aus Naturverjüngung gezählt. Im Lohbusch (Altaue) entwickelte sich aus der Mast von 1998 eine Eichennaturverjüngung mit durchschnittlich 0,8 Sämlingen  $m^{-2}$ . Die Sämlingsdichte ging bis Ende 2001 auf 0,6 Sämlinge  $m^{-2}$  zurück. Im Trauf des östlich an die Versuchsfläche angrenzenden Bestandes liefen im Jahr 2002 infolge der Mast des vorherigen Jahres zahlreiche Sämlinge auf. Im Zentrum der Versuchsfläche erhöhte sich die Sämlingsdichte aufgrund der fehlenden Alteichen (als Folge des Sturms Lothar) nicht.

## Saat

Die Keimung der Eicheln der im April 1999 angelegten Saaten verzögerte sich auf den Versuchsflächen innerhalb der Überflutungsau durch das Hochwasser im Mai/Juni 1999 um rund 2 Monate. Das Hochwasser führte nicht zu einer Verdriftung der Eicheln. Nach Ablauf des Wassers waren die Eicheln von einer wenige Mil-

limeter mächtigen Schlickschicht bedeckt.

Der Anteil der gekeimten Eicheln lag Ende 1999 im Potaschbuckel bei 9,1 %, im Lohbusch bei 6,6 % und im Oberen Salmengrund bei nur 3,8 bzw. 2,1 %. Die Mortalitätsraten in den folgenden drei Jahren waren in der Überflutungsau sehr hoch, wobei sich starke Unterschiede zwischen den Jahren und Flächen ergaben. Im Lohbusch waren die Ausfälle mit 11,3 bis 23,9 % in den 3 Jahren vergleichsweise niedrig und gleichmäßig. Am Ende der vierten Vegetationsperiode waren die Saaten von 1999 auf den Flächen der Überflutungsau fast vollständig ausgefallen. Im Potaschbuckel war die Pflanzendichte mit 0,9 Pflanzen  $m^{-2}$  noch am höchsten. Im Lohbusch waren im Oktober 2002 hingegen 4,4 Pflanzen  $m^{-2}$  vorhanden.

Die zusätzlich im Herbst 2000 und Frühjahr 2001 auf der Versuchsfläche Potaschbuckel angelegten Saaten zeigten ebenfalls sehr geringe Keimungsprozente. Im Herbst 2001 lagen sie für beide Teilsaaten bei 1 % (1,2 Pflanzen  $m^{-2}$ ). Von den aufgelaufenen Sämlingen fielen bis zum Herbst 2002 drei Viertel aus. Aus den rund 16.200 ausgebrachten Eicheln entwickelten sich bis zum Ende der zweiten Vegetationspe-

riode 38 Pflanzen. Zwischen den Saatterminen gab es keinen Unterschied im Keimungserfolg.

In der Überflutungsau stockten die Eichen aus der Saat im Höhenzuwachs. Auf der Versuchsfläche Lohbusch in der Altaue dagegen stieg die mittlere Höhe von 16 cm im Jahr 1999 auf 109 cm im Jahr 2002. Der relative Höhenzuwachs betrug durchschnittlich 52 % im Jahr 2000 und jeweils 40 % in den Jahren 2001 und 2002. Am Ende der vierten Vegetationsperiode waren rund 10 % aller Eichen über 200 cm hoch. Einzelne Pflanzen erreichten Höhenwerte von über 250 cm.

## Pflanzung

Vierzehn Tage nach der Pflanzung im April 1999 wurden je nach Sortiment und Versuchsfläche zwischen 84 und 99 % der Eichen als vital eingeschätzt (Beginn des Blattaustriebs). Das folgende Jahrhunderthochwasser führte zu hohen Ausfällen. Viele Eichen trieben nach dem Rückgang des Hochwassers nicht wieder aus oder vergingen innerhalb weniger Wochen nach dem Neuaustrieb. Auf der Versuchsfläche Potaschbuckel gab es die höchste Mortalitätsrate (Tab. 4). Nur jede fünfte Pflanze trieb im folgenden Jahr aus. Im Oberen Salmengrund fielen über 50 % der Pflanzen aus. In den Folgejahren gingen die Pflanzenzahlen weiter zurück. In der Altaue (Lohbusch) gab es deutlich weniger Ausfälle. Ohne den Verlust von Nestern als Folge des Sturms Lothar hätte die Mortalitätsrate bei 24 % gelegen. Am Ende der vierten Vegetationsperiode war in der Altaue noch rund die Hälfte der Ausgangspflanzenzahl vorhanden. Auf den Flächen in der Überflutungsau waren am Ende der vierten Vegetationsperiode die Pflanzungen hingegen nahezu vollständig ausgefallen.

Die Ausfälle der Ergänzungspflanzung von 2000 waren gerin-

Tab. 4: Anteil vitaler Eichenpflanzen und Mortalitätsrate der Eichenpflanzen der Pflanzung 1999 für die Jahre 1999 bis 2002

Versuchsfläche	Sortiment	Austrieb (%) 1999	Mortalität (%)				
			1999	2000	2001	2002	1999-2002
Potaschbuckel	80/120	98,2	81,3	46,3	36,1	41,8	96,3
Oberer Salmengrund	50/80	83,7	57,7	59,6	57,1	29,6	94,6
Lohbusch	50/80	99,0	30,5	13,2	9,4	9,5	50,4

ger als die der Pflanzung von 1999. Die Mortalitätsraten für die Pflanzungen von 2001 lagen zwischen denen der Pflanzungen von 1999 und 2000. Wie im Jahr 1999 fielen bei den Ergänzungspflanzungen des Jahres 2001 auf der Versuchsfläche Potaschbuckel mehr Eichen in den Vegetationsperioden nach der Pflanzung aus als auf der Versuchsfläche Oberer Salmengrund.

Bei der Mehrzahl der gepflanzten Eichen zeigten sich im Laufe des Untersuchungszeitraumes Absterbeerscheinungen in unterschiedlichen Sprossbereichen mit nachfolgendem Austrieb unterhalb der Gipfelknospe. Bei allen im Jahr 1999 innerhalb der Überflutungsauwe ausgebrachten Pflanzen war am Ende der vierten Vegetationsperiode zumindest

einmal die Gipfelknospe abgestorben. Bei den meisten Eichen erfolgte der Wiederaustrieb im obersten Drittel der Sprossachse. Neuaustrieb an der Sprossbasis war selten und führte oftmals zum Absterben der Pflanze im Folgejahr. Im Lohbusch hatten rund ein Viertel der Eichen am Ende der vierten Vegetationsperiode einen durchgehenden Terminaltrieb. Sowohl auf den Flächen der Überflutungsauwe als auch für den Lohbusch in der Altaue nahm der Anteil ungünstiger Wuchsformen mit dem Pflanzenalter zu. Dies gilt auch für die Pflanzungen der Jahre 2000 und 2001.

Der Ausfall des Terminaltriebs hatte Auswirkungen auf die Pflanzenhöhe. Bei Pflanzen, die im unteren Drittel der Sprossachse neu

ausgetrieben waren, war die Sprosshöhe am Ende der vierten Vegetationsperiode um bis zu ein Viertel reduziert. Für die Darstellung der Höhenentwicklung der Eichen wurden diese Pflanzen nicht berücksichtigt.

In der Überflutungsauwe war das Höhenwachstum der Eichen aus den Pflanzungen von 1999 unabhängig vom Pflanzensortiment und von der Versuchsfläche in den ersten vier Jahren gering oder blieb völlig aus (Abb. 4). Auch die in den Folgejahren angelegten Nester zeigten kaum Höhenzuwachs. Im Jahr der Pflanzung war weder bei den Eichenkulturen in der Überflutungsauwe noch an den Eichen in der Altaue ein Höhenwachstum feststellbar. Die Höhenentwicklung der Eichen in der Altaue liegt hingegen in dem Rahmen, den HAUSKELLER-BULLER-JAHN (1997) für Eichenpflanzungen auf verschiedenen Standorten im niedersächsischen Tief- und Bergland angibt. Die relativen jährlichen Höhenzuwächse für die Jahre 2000-2002 stiegen im Lohbusch durchschnittlich von 16 % (9,5 cm) über 29 % (24,3 cm) auf 34 % (42,5 cm) an.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Überflutungsauwe stellt in ihrem derzeitigen Zustand ein labiles Ökosystem dar. Nachdem die Feldulme (*Ulmus minor*) für lange Zeit ausgefallen ist und unklar bleibt, inwieweit die Flatterulme (*Ulmus laevis*) diese ersetzen kann, bleiben als hochwassertolerante Baumarten nur die sich vegetativ vermehrenden Pappeln (*Populus spec.*) und Weiden (*Salix spec.*) sowie die sich ganz selten generativ verjüngende Stieleiche. Daneben gibt es eine weitgehend hochwassertolerante Strauchschicht, die in der Überflutungsauwe wüchsiger ist als auf anderen Standorten. Die sich reichlich aus

Samen verjüngende Esche (*Fraxinus excelsior*) fällt bei extremem Hochwasser immer wieder in großem Umfang aus oder zeigt Rindenschäden im unteren Stammbereich. Diese alte Erfahrung (ESSLINGER 1911; TUBEUF 1912) konnte in neueren Untersuchungen bestätigt werden (BIEGELMAIER 2002; SPÄTH 2002; VOLK 2002). Der noch weniger hochwassertolerante Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*, s. Literatur zur Esche) dürfte sich in der Überflutungsauwe allenfalls auf höher gelegenen Kleinflächen einige Zeit halten, wenn auch nicht ohne beträchtliche Ausfälle und Schäden.

Auf den von der Wasserführung des Rheins stark beeinflussten Flächen der Überflutungsauwe bieten Naturverjüngung und Saat für die Erhaltung der Stieleiche keine Möglichkeiten. Ursachen hierfür sind hohe Samenverluste durch Tiere, Hochwasser in der Vegetationszeit und Konkurrenz durch die Begleitvegetation (hier nicht dargestellt; s. KÜHNE 2005). Der Erfolg von Pflanzungen wird vor allem durch die Hochwassersituation im Jahr der Pflanzung bestimmt. Geringe Höhenunterschiede im Flächenrelief beeinflussen die Ausfallrate. Exponierte Stellen wie etwa Mulden, Senken

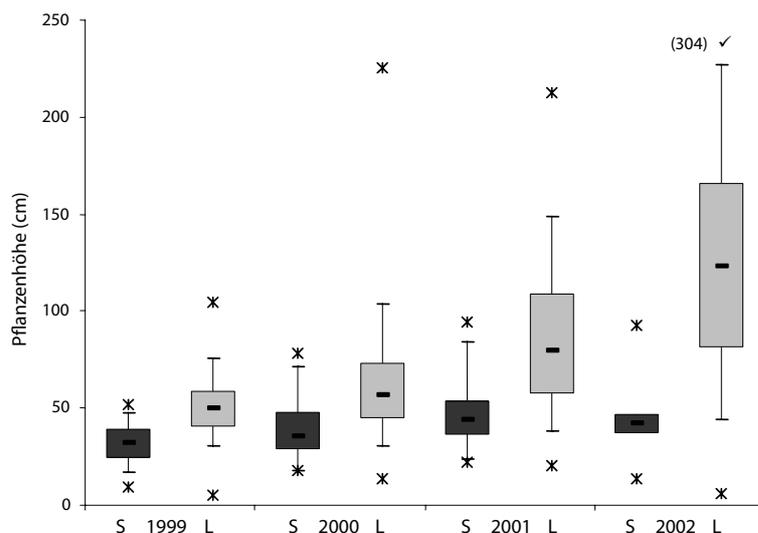


Abb. 4: Höhen der Eichen des Sortimentes 50-80 cm der Pflanzung 1999 im Herbst der Jahre 1999 bis 2002 der Versuchsflächen Oberer Salmengrund (S, dunkelgrau) und Lohbusch (L, hellgrau). Die Sternchen markieren die minimalen und die maximalen Werte, die untere und obere Begrenzung der Box das 25 %- und 75 %-Perzentil, die Spannweitenlinien das 10 %- und 90 %- Perzentil, der waagerechte Strich in der Box ist der Median

und Rinnen sollten deshalb nicht mit Eichen bepflanzt werden. Für die künstliche Verjüngung der Stieleiche kommt – auch aus ökonomischen Gründen – nur eine sorgfältige, das Pflanzmaterial schonende truppweise Heisterpflanzung in Betracht. Jedoch muss nach lang anhaltendem Hochwasser in der Vegetationszeit auch hierbei mit beträchtlichen Ausfällen gerechnet werden. Gepflanzte Stieleichen benötigen ausreichend Licht um den Pflanzschock rasch zu überwinden und mit dem Höhenwachstum beginnen zu können. Trotz der von einem höheren Lichtangebot ebenfalls begünstigten wüchsigen Begleitvegetation erscheinen hierzu Lichtverhältnisse von mindestens 30 % des Freilandlichtes notwendig. In Buchenaltbeständen Südniedersachsens wurden in Femellöchern von 30 bis 50 m Durchmesser derartige Strahlungsbedingungen gemessen (vgl. LÜPKE 1982; SCHMIDT et al. 1996; LÜPKE 2004). Je nach Bestandesaufbau und den beteiligten Baumarten sind im Auenwald ver-

gleichbare Lückengrößen zu wählen, um die Stieleiche kleinflächig einzubringen. Durch Absenkung des Bestockungsgrades auf 0,7 wurden in einem ähnlich strukturierten Nachbarbestand der Versuchsfläche Oberer Salmengrund Strahlungswerte von über 30 % des Freilandlichtes erreicht.

Auf den Untersuchungsflächen der Überflutungsau fand sich zeitweise eine reichliche Naturverjüngung von Ulme, Esche und Bergahorn ein (hier nicht dargestellt, s. KÜHNE 2005). Doch traten nach starkem Hochwasser hohe Ausfälle der Edellaubholzsämlinge, z. T. auch noch im Jungwuchsstadium, ein. Im Altbestand sind neben der Stieleiche vor allem Esche und in geringerem Maße auch Bergahorn, Silberpappel (*Populus alba*) und Silberweide (*Salix alba*) vertreten. Ältere Eschen und Bergahorne zeigten auf den Untersuchungsflächen nach dem Hochwasser von 1999 ausnahmslos Rindenschäden im unteren Stammbereich, die bisher jedoch nicht zum Absterben der Bäume geführt haben.

Aus den Ergebnissen und Beobachtungen der durchgeführten Untersuchungen ergibt sich die Folgerung, die Standorte der Überflutungsau zwischen Karlsruhe und Speyer waldbaulich extensiv zu behandeln und die Stieleiche nur sehr begrenzt durch Pflanzung einzubringen. Die Erhöhung des Stieleichenanteils ist nur unter sehr hohem Aufwand möglich. Auch dann gilt, dass ohne Nachbesserungen und ständige Pflegemaßnahmen die Stieleiche in den Rheinauenwäldern nicht nachhaltig erhalten werden kann. Als künftiges Bestockungsziel sollte eine wechselnde Mischung von Esche, Pappeln und Silberweide mit einem geringen Anteil von Stieleiche und Wildobstbäumen (*Malus sylvestris*, *Pyrus pyraeaster*) angestrebt werden.

Die Erhaltung der Stieleiche in der durch Hochwasserdeiche geschützten Altaue durch Naturverjüngung, Saat und Pflanzung ist wenig problematisch. Die gegenwärtigen Wasser- und Nährstoffverhältnisse sind hierfür sehr gut geeignet. Die Verjüngungserfolge in der vorgestellten Untersuchung belegen, dass die von LÜPKE (1995; 1998) und HAUSKELLER-BULLER-JAHN et al. (2000) entwickelten Ansätze zur kahlschlagfreien Verjüngung von Traubeneiche (*Quercus petraea*) unter Einbeziehung des Eichenvoranbaus bei ausreichender Pflege auch für die Stieleiche in der Altaue erfolgsversprechend sein können. Die Stieleiche wird allerdings nur als Mischbaumart eine Rolle spielen. Als lichtbedürftige Art kann sie nur unter lichtem Schirm oder in größeren Femellücken verjüngt werden. Ebenso wie in der Überflutungsau müssen die für Eichenpflanzungen geschaffenen Kronendachauflichtungen Schatten ertragende unterständige Bäume mit umfassen. Durch die Konkurrenz wuchskräftiger Begleitvegetation bedarf die Eiche ständiger Jungwuchspflege.

## 6 Zusammenfassung

Die heutige Situation der Rheinauenwälder ist sowohl aus Sicht des Naturschutzes als auch des Waldbaus als kritisch einzustufen. Starke Veränderungen der hydrologischen Verhältnisse und der forstlichen Bewirtschaftung haben zu einem grundlegenden Arten- und Strukturwechsel in den Waldbeständen geführt. Der ursprüngliche Charakter der Auenwälder ist weitgehend verloren gegangen. Hierzu hat vor allem der starke Rückgang von Stieleiche (*Quercus robur*) und Ulmen (*Ulmus spec.*) beigetragen, die bis etwa in die Mitte des vorigen Jahrhunderts flächenmäßig in den Hartholzauenwäldern dominierten.

Ziel eines 1998 begonnenen Forschungsvorhabens war es, die ökologischen Voraussetzungen für die natürliche und künstliche Verjüngung der Stieleiche unter den besonderen standörtlichen Verhältnissen der Rheinaue zu erarbeiten.

Im Forstamt Pfälzer Rheinauen wurden Versuchsflächen in der Überflutungsau und eine Vergleichsfläche in der Altaue angelegt. Auf den Versuchsflächen wurden Fruktifikation, Keimung und Sämlingsentwicklung der Stieleiche erfasst. Zusätzlich wurden in den unterschiedlich stark aufgelichteten, etwa 1 ha großen

Beständen Saaten und Pflanzungen angelegt.

Die Stieleiche fruktifizierte in der Überflutungsau etwa in gleichem Ausmaß wie in der Altaue. Der Großteil der auf den Boden gefallen Eichen wurde von Tieren gefressen oder verschleppt. Im Gegensatz zur Altaue fielen die Sämlinge aus Naturverjüngung und Saaten im ersten und zweiten Jahr nahezu vollständig aus.

Die Pflanzungen des Frühjahrs 1999 waren in der Überflutungsau nach der zweiten Vegetationsperiode nahezu vollständig ausgefallen. Bei den Ergänzungspflanzungen der Jahre 2000 und 2001 waren die Mortalitätsraten geringer, mit rund 50 und 75 % jedoch höher als bei Pflanzungen auf anderen Standorten. An den gepflanzten Stieleichen wurde vielfach oberirdisches Absterben beobachtet, das die Höhenentwicklung stark überlagerte. In der Altaue entwickelten sich die Eichenester deutlich besser.

Aus den Abflüssen der Rheinpegel, Grundwasserspiegelmesswerten, Abfluss-Wasserstand-Beziehungen und Geländehöhen wurden Überflutungszeiträume und -höhen sowie die Tage mit Grundwasserstau für die Versuchsflächen berechnet. Als entscheidend für den Erfolg der Eichenpflanzungen in der Überflu-

tungsau erwies sich das Relief. Bereits geringe Unterschiede in der Geländehöhe hatten entscheidenden Einfluss auf die Überflutungsdauer und den Grundwasseranschluss in Trockenjahren. Die allgemein sehr hohe Mortalitätsrate der Pflanzungen ist vor allem auf Hochwasserereignisse im Pflanzjahr und Lichtmangel infolge geringer Auflichtung der Altbestände bzw. starker Beschattung durch die sehr wüchsige Konkurrenzvegetation zurückzuführen.

Nach den Versuchsergebnissen ist die Verjüngung der Stieleiche in der Altaue durch Naturverjüngung, Saat und Pflanzung mit vertretbarem Aufwand möglich. In der Überflutungsau lässt sich die Stieleiche durch Naturverjüngung und Saat nicht verjüngen. Die Stieleiche kann nur durch sehr sorgfältige Pflanzung von Großpflanzen eingebracht werden. Auch hierbei können je nach Hochwassersituation im Pflanzjahr hohe Pflanzenausfälle auftreten. Die Inventuren zeigen, dass sich unter den derzeitigen Standortverhältnissen auch andere Baumarten unzureichend verjüngen oder Schäden aufweisen. Daraus ergibt sich die Folgerung, die Standorte der Überflutungsau forstlich extensiv zu bewirtschaften und die Stieleiche nur sehr begrenzt als Mischbaumart einzubringen.

## 7 Résumé

La situation actuelle des forêts alluviales rhénane doit être considérée comme critique tant d'un point de vue sylvicole qu'environnemental. D'importantes modifications des conditions hydrologiques et de la gestion forestière ont engendré de profonds changements dans la composition et la structure des forêts alluviales. Le caractère primaire de celles-ci a totalement disparu. Ceci est bien visible à tra-

vers le très net recul du Chêne pédonculé (*Quercus robur*) et des Ormes (*Ulmus spec.*), qui, jusqu'au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, formaient la majorité des forêts alluviales à bois dur.

Un projet, débuté en 1998, avait pour but de définir les conditions écologiques favorables à la régénération naturelle et artificielle du Chêne pédonculé, sur les stations de la plaine alluviale rhénane.

Dans le division forestière Pfälzer Rheinauen, des placettes de recherche ont été installées dans la plaine alluviale inondable et une placette de référence a été installée dans l'ancienne plaine alluviale. Sur ces placettes de recherche, la fructification, la germination et le développement des jeunes pousses de Chêne pédonculé ont été observés. De plus, certains peuplements plus ou moins ou-

verts d'environ 1 ha, ont été ensemencés ou plantés en Chêne pédonculé.

Les fructifications du Chêne pédonculé sont environ aussi nombreuses dans la plaine alluviale inondable que dans l'ancienne plaine alluviale. La plus part des glands tombés au sol, sont mangés ou déplacés par les animaux. Contrairement à ce qui se passe dans l'ancienne plaine alluviale, les jeunes pousses issues de la régénération naturelle ou d'un ensemencement disparaissent quasiment toutes au bout de un à deux ans.

Les plantations du printemps 1999 dans la plaine alluviale inondable avaient, après le deuxième période de végétation, quasi totalement échouées. Après les plantations complémentaires effectuées en 2000 et 2001, le taux de mortalité de respectivement 50 et 75 % était plus réduit que lors de la première plantation, mais tout de même plus élevé que sur d'autres stations. Les parties supérieures de plusieurs pieds de Chêne pédonculés ont déperé, entraînant ainsi un ralentissement important de la croissance en

hauteur. Par contre, dans l'ancienne plaine alluviale, les plantations de Chêne en nids se développent bien mieux.

Les données des échelles fluviales et des piézomètres (prof. de la nappe), ainsi que le relief et les relations entre l'écoulement et le niveau de l'eau, ont permis de calculer, pour chaque placette, la durée et la hauteur des inondations ainsi que le nombre de jours pendant lesquels la nappe engorge le sol. Le facteur principal dans la réussite des plantations de Chêne dans la plaine alluviale inondable est le relief. En effet, de faibles variations de hauteur du sol ont une influence considérable sur la durée des inondations et sur la connexion à la nappe durant les années sèches. Il est possible de dégager deux causes majeures au très fort taux de mortalité des jeunes plants : tout d'abord, l'importance des crues au cours de l'année suivant la plantation, et ensuite, le manque de lumière dû à une faible ouverture du peuplement restant ou bien à l'ombrage de la végétation concurrente.

D'après les résultats de cette étude, la régénération naturelle, l'ensemencement et la plantation de Chêne pédonculé sont envisageables dans l'ancienne plaine alluviale à des coûts acceptables. Dans la plaine alluviale inondable, il est impossible de régénérer le Chêne pédonculé naturellement ou bien par ensemencement. Seule la plantation très minutieuse de grands plants permet l'introduction de celui-ci dans cette zone. Mais même dans ces conditions, la fréquence et l'importance des crues durant l'année suivant la plantation peut entraîner la disparition de nombreux plants. Les résultats des inventaires font également apparaître que d'autres essences, dans ces conditions stationnelles, présentent une régénération insuffisante ou bien des dommages. Il en découle que les stations de la plaine alluviale inondable doivent être exploitées de manière extensive et que le Chêne pédonculé ne doit y être utilisé comme essence de diversification que dans certains cas bien précis.

Traduction : Vincent Misslin

## 8 Literatur

- ANONYMUS (2000): EG-Richtlinie 1999/105/EG über den Verkehr mit forstlichen Vermehrungsgut. CONSOLEG: 1999L0105 – 15/01/2000. Amt für amtliche Veröffentlichungen der EU, Luxemburg
- BÄRTHEL, V. (1965): Der Stadtwald Breisach: 700 Jahre Waldgeschichte in der Aue des Oberrheins. Schriftenr. Landesforstverw. Baden-Württemberg 18
- BIEGELMAIER, K.-H. (2002): Auswirkungen des Hochwassers im Rheinauenwald. AFZ/Der Wald 57, 801-803
- ESSLINGER (1911): Hochwasserschäden in den am Rhein gelegenen Staats- und Gemeindeforsten der Pfalz während des Sommers 1910. Forstw. Cbl. 33, 394-400
- HAUSKELLER-BULLERJAHN, K. (1997): Wachstum junger Eichen unter Schirm. Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme Univ. Göttingen, Reihe A Bd. 147
- HÜGIN, G.; HENRICHFREISE, A. (1992): Vegetation und Wasserhaushalt des rheinnahen Waldes: Naturschutzbewertung der badischen Oberrheinaue. Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie, Bonn
- KÜHNE, C. (2005): Verjüngung der Stieleiche in Auenwäldern am Oberrhein - ein Praxisversuch. In: Waldbauliche Behandlung der Auenwälder am Oberrhein unter besonderer Berücksichtigung der Stieleiche (*Quercus robur* L.). Schriften Forstl. Fakultät Univ. Göttingen u. Niedersächs. Forstl. Versuchsanstalt 140, 41-116
- KÜHNE, C.; BARTSCH, N. (2005): Reaktionen von Saatgut und Sämlingen der Stieleiche auf Überflutung. In: Waldbauliche Behandlung der Auenwälder am Oberrhein unter besonderer Berücksichtigung der Stieleiche (*Quercus robur* L.). Schriften Forstl. Fakultät Univ. Göttingen u. Niedersächs. Forstl. Versuchsanstalt 140, 21-40
- LÜPKE, B. v. (1982): Versuche zur Einbringung von Lärche und Eiche in Buchenbestände. Schriften Forstl. Fakultät Univ. Göttingen u. Niedersächs. Forstl. Versuchsanstalt 74
- LÜPKE, B. v. (1998): Silvicultural methods of oak regeneration with special respect to shade tolerant mixed species. For. Ecol. Manage. 106, 19-26, Lüpke 2004
- MUSALL, H. (1969): Die Entwicklung der Kulturlandschaft der Rheinniederung zwischen Karlsruhe und Speyer von Ende des 16. bis zum Ende des 19. Jahrhunderts. Heidelberger Geographische Arbeiten 22
- RÖHRIG, E.; KÜHNE, C. (2005): Bewirtschaftung der Auenwälder am Oberrhein in Vergangenheit und Gegenwart. In: Waldbauliche Behandlung der Auenwälder am Oberrhein unter

- besonderer Berücksichtigung der Stieleiche (*Quercus robur* L.). Schriften Forstl. Fakultät Univ. Göttingen u. Niedersächs. Forstl. Versuchsanstalt 140, 7-20
- SCHMIDT, W.; WEITEMEIER, M.; HOLZAPFEL, C. (1996): Vegetation dynamics in canopy gaps of a beech forest on lime-stone - The influence of the light gradient on species richness. Verh. Ges. Ökologie 25, 253-260
- SPÄTH, V. (2002): Hochwassertoleranz von Waldbäumen in der Rheinaue. AFZ/Der Wald 57, 807-810
- TUBEUF, C. v. (1912): Waldschaden durch Sommerhochwasser. Naturw. Z. f. Land- u. Forstw. 10, 296-298
- VOLK, H. (2002): Zur Natürlichkeit der Esche (*Fraxinus excelsior* L.) in Flussauen Mitteleuropas. Forstw. Cbl. 121, 128-137