



Die Verjüngung der Stieleiche (*Quercus robur* L.) im mitteleuropäischen Auenwald

Daniel Kocher

*Fakultät für Forstwissenschaften
Professur für Standortkunde und Vegetationskunde*

*Abstract: Floodplain forests are considered the most biodiverse forested biotopes in Europe. A serious concern for environmental preservation as well as forestry is the impaired habitat continuity of pedunculate oak (*Quercus robur* L.), as its seedlings struggle to survive the first two years of their lives and mostly fail to establish a new oak tree generation. After mast years oak seedlings are wide spread on river floodplains, but gradually disappear in the following years. The literature mentions many factors which influence the regeneration of pedunculate oaks in floodplain forests like light and water supply, acorn predation, browsing pressure, competition with ground vegetation and floods. The interrelation of all these factors is complex and is found to prevent survival of pedunculate oak seedlings. Consistent opinions in literature assert that the successful establishment of pedunculate oak depends from an open canopy and low ground vegetation. Flood events in the year of the planting are suspected to have a very negative impact on the seedlings. Plantations of more mature oaks (>1,25m) seem to increase the resistance against floods and to decrease negative effects of competition with ground vegetation and are more likely to lead to a successful establishment of pedunculate oaks in floodplain forests.*

Keywords: pedunculate oak, regeneration, hardwood floodplain forest

Gliederung

1. Einführung	1
2. Überblick Status quo	1
2.1 Verbreitung und Ökologie der Stieleiche	1
2.2 Anteile der Stieleiche gestern, heute und morgen.....	3
2.3 Aktueller Zustand der Verjüngung	6
2.4 Aktueller Zustand der Hartholzaue	7
3. Faktoren für die Verjüngung im Auwald	8
3.1 Abiotische Umweltfaktoren	8
3.1.1 Licht.....	8
3.1.2 Bodenparameter	9
3.1.3 Überflutung	9
3.1.4 Relief und Wasserhaushalt	10
3.2 Biotische Umweltfaktoren	10
3.2.1 Wildverbiss und Eichelprädation.....	10
3.2.2 Konkurrenzvegetation der Krautschicht	11
3.1.1 Neophyten.....	11
3.1.1 Kalamitäten	12
4. Waldbauliche Maßnahmen.....	12
5. Zusammenfassende Betrachtung der Umweltfaktoren und waldbaulichen Maßnahmen .	14
6. Gegenüberstellung zeitlicher und finanzieller Kosten	16
7. Schlussfolgerung	16
8. Ausblick	18
9. Zusammenfassung	19
Literaturverzeichnis	20
Darstellungsverzeichnis	22
Anhang	23

1. Einführung

Als Auen bezeichnet man den bei Hochwasser überfluteten Uferbereich von Flüssen (Kühne, 2004). Kühne (2004) beschreibt, dass bis auf die gehölzfreie Aue, sind diese Bereiche von Natur aus bewaldet seien und dass sie reine Laubwälder sind. Die Artenzusammensetzung und Struktur dieser Wälder wird, laut Kühne (2004) stark von Hoch- und Niedrigwasserereignissen und deren Ausmaß sowie Häufigkeit beeinflusst. Abhängig von Herkunft des Flusswassers und Sedimentierungsprozessen können sich die Böden in Auenwäldern unterschiedlich entwickeln, sie sind jedoch fast immer basen- und nährstoffreich (Kühne, 2004).

Menschen nutzen Auen seit Jahrhunderten für verschiedene Zwecke, wobei insbesondere die Nutzung der letzten 150 Jahre die Auen stark verändert hat (Hesmer, 1958). Durch die Umwandlung von Auwäldern in landwirtschaftliche Flächen, die Begradigung der Flüsse und die Ansiedlung von Industrie an diese, sind die Auwälder stark zurückgegangen und haben ihren natürlichen Charakter weitgehend verloren (Hesmer, 1958).

In natürlichem Zustand sind Auwälder das artenreichste Waldbiotop Europas (Bußler, 2014). Durch direktes und indirektes Zutun der Menschen hat sich die Artenzusammensetzung dieser einzigartigen Biotope allerdings stark verändert (Kühne 2004; Heinze, 2016). So sind heimische Baumarten teilweise durch Krankheiten ausgefallen und wurden durch nicht oder nur bedingt geeignete Baumarten, wie Hybridpappeln (*Populus x*) oder Ahornarten (*Acer*), ersetzt, was die Verjüngung der heimischen Arten zusätzlich erschwerte (Küßner und Wagner, 2002).

Die Stieleiche (*Quercus robur L.*) ist gut an temporäre Überflutungen angepasst und stellt im Auwald eine Charakterart dar (Küßner und Wagner, 2002; Kühne und Bartsch, 2006; Reif et al., 2016). Durch die Niederwald- und vor allem durch die Mittelwaldwirtschaft entlang großer Ströme, wurde diese Baumart vom Menschen, vor allem im 19. Jahrhundert, stark gefördert, da die Eichen so zu großen Bäumen aufwachsen konnten (Küster, 1998). Seitdem die vorherrschende Betriebsform an Flüssen Mitte des 20. Jahrhunderts auf Hochwaldbetrieb umgestellt wurde, kommt es bei dem Versuch die Stieleiche künstlich oder natürlich zu verjüngen zu erheblichen Schwierigkeiten (Küster, 1998). Um den natürlichen Charakter der verbliebenen Auwälder erhalten zu können, ist es unabdingbar, erfolgreiche Verjüngungsverfahren für die Stieleiche zu entwickeln und umzusetzen (Kühne, 2004; Reif et al., 2016).

In der folgenden Literaturanalyse werden die Rahmenbedingungen in mitteleuropäischen Auwäldern, welche eine Verjüngung der Stieleiche begünstigen oder erschweren, genauer betrachtet und Techniken einer erfolgreichen Verjüngung von Stieleichen vorgestellt.

2. Überblick Status quo

Im Folgenden wird ein Überblick über den aktuellen Zustand der Stieleiche in Mitteleuropa, deren Bedeutung und deren Geschichte gegeben. Außerdem wird über den Zustand mitteleuropäischer Hartholzauen berichtet.

2.1 Verbreitung und Ökologie der Stieleiche

In der mitteleuropäischen Forstwirtschaft stellen starkholz- und baumartenreiche Stieleichenwälder einen hohen ökonomischen und ökologischen Wert dar (Bußler, 2014). Die Ver-

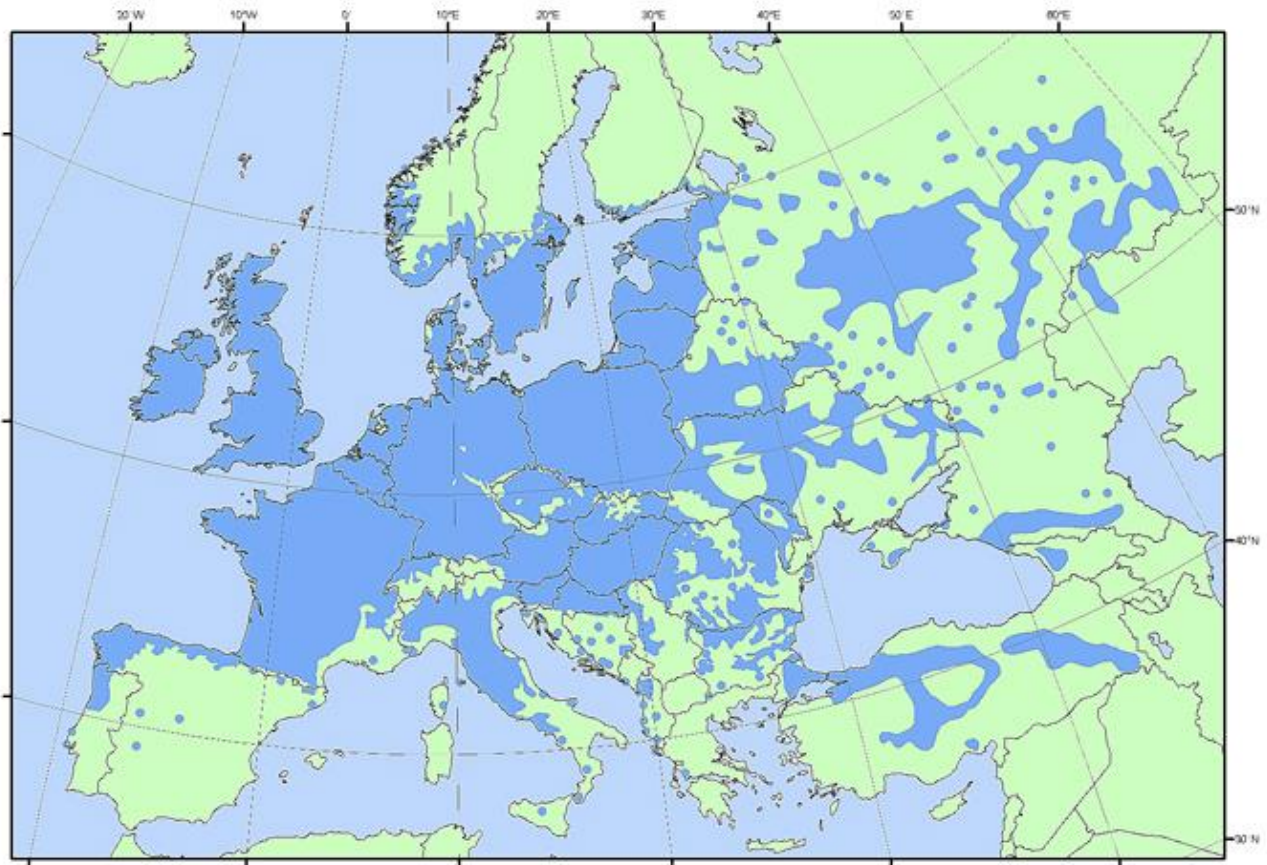
breitung der Stieleiche ist wesentlich durch menschliche Bewirtschaftung und besondere forsthistorische Entwicklungen geprägt (Hesmer, 1958).

Stieleichen (und Eichen allgemein) sind in westeuropäischen Wäldern bedeutende Träger der Artenvielfalt und leisten einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität (Bußler, 2014). Laut Bußler (2014) beherbergen sie nicht nur sehr viele Insektenartenarten, sondern auch zahlreiche Pilze und Flechten. Von allen heimischen Baumarten ist die Eiche mit über 1000 beherbergten Arten die artenreichste (Bußler, 2014). Bislang wurde nicht zwischen der Fauna an Stiel- und Traubeneichen unterschieden (Bußler, 2014). Küster (1998) begründet diese Vielfalt u. A. mit der wesentlich älteren Entwicklungsgeschichte der Gattung *Quercus* im Vergleich zu anderen Gattungen, wie zum Beispiel *Fagus*. So sind Eichen laut Küster (1998) nach Ende der letzten Eiszeit einige tausend Jahre früher nach Westeuropa zurückgekehrt, so dass, im Vergleich zu anderen Baumarten, eine zeitlich längere Koevolution zwischen Fauna und Eichen stattfinden konnte. Da die Eiche an wärmere und niederschlagsärmere Klimata angepasst ist, kann sie, so Küster (1998), weiter in submediterrane und subkontinentale Bereiche vordringen als die Buche, da diese Bereiche wärmebedingt grundsätzlich insektenreicher als kühl-feuchte Standorte sind. Eichen sind Totasthalter, so kann man an einer lebenden Mittelwaldeiche bis zu 20 Festmeter Totholz finden, welches vielen Pilzen und Insekten ein strukturreiches Habitat bietet, was in vielen Wirtschaftswäldern selten ist (Bußler, 2014).

Die große Vielfalt an Pilzen und Insekten macht die Eiche zu einer ökologisch sehr interessanten Baumart, allerdings sind viele von ihnen aus forstwirtschaftlicher Sicht Schädlinge, weswegen die Eiche besonders in der Jugend sehr anfällig für abiotische und biotische Schäden ist und einer intensiven Pflege bedarf (Skibbe, 2018). Aufgrund der eingeschränkten Konkurrenzfähigkeit der Stieleiche und ihres hohen Lichtbedarfs, erfordert sie auf den in Mitteleuropa häufig vorkommenden Buchenstandorten eine verhältnismäßig aufwendige waldbauliche Behandlung (Kühne et al., 2005). Wie für Lichtbaumarten charakteristisch, hat die Stieleiche laut Kühne et al. (2005) ein schnelles Jugendwachstum, welches frühzeitig kulminiert. Stieleichen können sehr wertvolles Holz liefern. Waldbaulich ist zu beachten, dass sie zur Ausbildung von Wasserreisern und Klebästen neigen, welche die Holzqualität und letztlich den Holzpreis mindern (Kühne et al., 2005). In der Mischung mit der Schattbaumart Buche muss beachtet werden, dass die Stieleiche nicht von dieser ‚überwachsen‘ wird (Kühne et al., 2005). Gängige Mischungen sind solche mit ‚dienenden Baumarten‘, wie Hainbuche und Winterlinde (MLU Sachsen-Anhalt Arbeitsgruppe Waldbau).

Obwohl Stiel- und Traubeneichen genetisch miteinander in Kontakt stehen, verfügen die beiden Arten laut Annighöfer et al. (2015) über spezifische Standortsansprüche und ein unterschiedliches ökologisches Verhalten. Allerdings führen die ökologischen Präferenzen der Stiel- und Traubeneiche nicht zu einer vollständigen räumlichen Trennung der Arten, sondern kommen an vielen Standorten gemeinsam vor (Annighöfer et al., 2015).

Die Stieleiche besiedelt in Europa laut Gössinger (2014) ein größeres Areal als die Traubeneiche. Dieses erstreckt sich, so Gössinger (2014) südlich bis nach Anatolien und Sizilien, östlich bis zur Steppengrenze. Ihren Schwerpunkt hat sie im mitteleuropäischen, gemäßigt kontinentalen Klimabereich (Gössinger, 2014). Als für Auengebiete typische Baumart, kommt sie an allen großen mitteleuropäischen Flüssen wie Donau, Rhein und Elbe vor (Reif et al., 2016). Aufgrund von Flussbegradigungen wurden viele Auenwälder und damit Stieleichenstandorte zerstört (Gössinger, 2014).



Dar. 1: Verbreitung der Stieleiche (Verändert nach Euforgen (2015): www.euforgen.org/distribution-maps/)

2.2 Anteile der Stieleiche gestern, heute und morgen

Der Anteil an Stieleichen im mitteleuropäischen Wald unterlag in den vergangenen Jahrhunderten ständigen Schwankungen (Küster, 1998). Die Anteile von Stieleichen (Zu- und Abnahme) wurden laut Küster (1998) meistens vom Menschen gesteuert und waren nur selten frei von anthropogenen Einflüssen.

Von der natürlichen Vegetationsfolge abgesehen hat der Mensch schon früh, möglicherweise schon während der nacheiszeitlichen Rückwanderung, starken Einfluss auf die Verbreitung und Struktur von Eichenwäldern ausgeübt (Hesmer, 1958). In der Vergangenheit wurde die Stieleiche als Bauholzlieferant und wegen der Eicheln für die Schweinemast stark vom Menschen gefördert (Hesmer, 1958). Aufgrund ihrer Stockausschlagfähigkeit war sie laut Hesmer (1958) auch eine häufige Baumart des Niederwaldes. Die Entstehung und Verbreitung von Eichenwäldern wurde durch die Waldnutzung zunächst gefördert (Hesmer, 1958). Durch die über die Jahrtausende bis in die Neuzeit betriebene Waldweide entstanden lückige Hutewälder, in denen die Lichtverhältnisse für die Stieleiche besonders günstig waren (Hesmer, 1958). Durch die Nieder- und Mittelwaldwirtschaft wurde die Stieleiche, vor allem entlang der großen europäischen Flüsse, gezielt gefördert (Kühne und Bartsch, 2006). Im 19. Jahrhundert wurden, überwiegend aus ökonomischen Gründen, diese Wälder in Hochwälder überführt, womit der Stieleichenanteil zugunsten von Eschen, künstlich eingebrachter Ahornarten und Pappelkulturen abnahm (Kühne et al., 2005). Zwischen 1910 bis 1930 kam es aufgrund

starker Trockenheit zu einem Eichensterben, welches die Stellung der Stieleichen im mitteleuropäischen Wald abermals schwächte (Reif und Gärtner, 2007).

Die BWI 3 (2012) zeigt, dass die Stieleichen in Deutschland aktuell eine Fläche von 525.191 Hektar einnehmen, was einem Anteil von 4,5% der deutschen Gesamtwaldfläche entspricht. Die Stieleiche ist etwa genau so häufig wie die Traubeneiche (549.983 ha, 4,8%). Die Gesamteichenfläche (rund 1,1 Millionen Hektar) hat sich zwischen der BWI 2 und BWI 3 um rund 70.000 Hektar vergrößert, wobei Stiel- und Traubeneiche in etwa gleichen Teilen zugelegt haben. Somit ist die Eiche nach der Rotbuche die zweithäufigste Laubbaumgattung in Deutschland (11,6%) . Die fremdländische Roteiche (*Quercus robur*) macht einen viel geringeren Anteil aus. Die Flaumeiche (*Quercus pubescens*) gehört mit nur etwa 15.000 Individuen sogar zu den ausdrücklich seltenen Baumarten (Gössinger, 2014).

Waldfläche (gemäß Standflächenanteil) [ha] nach Land und Baumaltersklasse

Filter: Baumart=Stieleiche ; Jahr=2012 ;

Basis: Deutschland, Holzboden, begehbarer Wald, einschließlich Lücken in der Bestockung bzw. im Bestand, Bäume im Hauptbestand oder Plenterwald, bestandesintern, Raster: 16km²: NI, NW, HE, SL, BY, BE, BB / 8km²: NI, BY, SN, TH / 4km²: SH, RP, BW, ST, MV (Inventurnetz für BWI 2012 (Zustandsrechnungen)); ideelle Fläche (gemäß Standflächenanteil) (77Z1JI_L657of_2012_bi_Ba / 2014-7-17 14:16:13.410)

Land	Einheit	Baumaltersklasse				alle Baumaltersklassen
		1 - 60 Jahre	61 - 120 Jahre	>120 Jahre		
Baden-Württemberg	[ha]	10.614	13.069	13.573	37.255	
	SE95 ± [%]	18,1	14,4	15,6	9,5	
Bayern	[ha]	23.427	25.644	21.407	70.478	
	SE95 ± [%]	18,6	17,2	20,1	11,3	
Brandenburg + Berlin	[ha]	6.662	21.252	8.649	36.564	
	SE95 ± [%]	39,7	27,1	44,5	21,4	
Hessen	[ha]	5.293	6.627	9.612	21.532	
	SE95 ± [%]	46,1	40,7	38,6	27,9	
Mecklenburg-Vorpommern	[ha]	10.057	16.690	13.275	40.022	
	SE95 ± [%]	19,5	13,6	16,0	9,5	
Niedersachsen	[ha]	35.195	42.307	33.959	111.462	

	SE95 ± [%]	17,3	15,0	20,6	11,0
Nordrhein-Westfalen	[ha]	15.025	38.255	35.772	89.051
	SE95 ± [%]	30,5	19,2	23,8	14,3
Rheinland-Pfalz	[ha]	7.704	10.325	9.246	27.275
	SE95 ± [%]	20,6	18,3	20,3	12,3
Saarland	[ha]	-	236	1.308	1.544
	SE95 ± [%]	-	196,0	111,8	99,0
Sachsen	[ha]	8.796	11.096	6.140	26.032
	SE95 ± [%]	27,7	22,8	34,7	17,2
Sachsen-Anhalt	[ha]	7.138	14.035	10.381	31.553
	SE95 ± [%]	22,4	17,2	21,1	12,3
Schleswig-Holstein	[ha]	7.698	6.174	7.885	21.758
	SE95 ± [%]	21,6	20,8	19,4	12,5
Thüringen	[ha]	2.622	4.156	1.829	8.607
	SE95 ± [%]	54,8	40,0	47,9	29,2
Hamburg + Bremen	[ha]	396	1.582	80	2.057
	SE95 ± [%]	195,9	101,2	195,9	90,3
Deutschland (alle Länder)	[ha]	140.625	211.450	173.116	525.191
	SE95 ± [%]	7,6	6,4	8,1	4,5

Dar.2: Datenblatt Stieleiche (aus BWI Datenbank 2012)

Unter den jeweiligen Hektarangaben steht das relative Konfidenzintervall. Für Bayern beträgt dieses zum Beispiel bei der Stieleiche über alle Altersklassen 11,3%. Das bedeutet, dass der wahre Wert mit 95% Wahrscheinlichkeit 70.478 Hektar plusminus 11,3% liegt. Es ist zu beachten, dass dieser Wert für einige Bundesländer und/oder Altersklassen sehr hoch und damit die Hektarangaben sehr ungenau sein können.

2.3 Aktueller Zustand der Verjüngung

In der Literatur finden sich zahlreiche Hinweise auf Probleme bei der Verjüngung von Stieleichen im Allgemeinen. Dies umfasst sowohl Naturverjüngung als auch Pflanzung und Saat. So haben Schwierigkeiten mit der Etablierung von Beständen aus Natur- und Kunstverjüngung sowie die hohen Kosten künstlicher Verfahren dazu geführt, dass die Stieleiche in Mitteleuropa in den Altersklassen I und II stark unterrepräsentiert ist (Kühne, 2014; Ortmann-Ajkai et al., 2017). Es wurde beobachtet, dass null- bis einjährige Stieleichensämlinge in Wäldern häufig sind, diese aber im Alter von zwei bis drei Jahren absterben und ohne menschliches Zutun nicht in der Lage sind den Bestand fortzuführen (Kühne, 2004; Reif und Gärtner, 2007). Besonders gravierend ist die Verjüngungssituation in Auenwäldern, wo sich die Stieleiche überhaupt nicht natürlich verjüngt (Küßner und Wagner, 2002; Reif et al., 2016).

Die Zukunft der Stieleichen in mitteleuropäischen Wäldern und vor allem in den Auwäldern ist demnach heute noch unklar (Reif und Gärtner, 2007). Hinreichend belegt ist, dass auf naturnah bewirtschafteten Flächen und Bannwäldern ein Rückgang des Eichenanteils zu beobachten ist (Ortmann-Ajkai et al., 2016; Kühne, 2004; Reif und Gärtner, 2007; Reif et al., 2016). Untersuchungen haben gezeigt, dass Eichenwälder, welche sich in der Optimalphase befinden, keine wesentlichen Veränderungen zeigen, vorausgesetzt, dass keine Störungen das Kronendach auflichten (Ortmann-Ajkai et al., 2017). Wenn dies doch geschieht, ist , so Ortmann-Ajkai et al. (2016) eine überwiegende Verjüngung von Schattbaumarten zu verzeichnen. Aufkommende Stieleichenverjüngung wird dann oft binnen weniger Jahre verdrängt (Ortmann-Ajkai et al., 2017). Laut Ortmann-Ajkai et al. (2017) verjüngen sich trotz Auflichtung des Kronendaches vorrangig Schattenbaumarten, da die Lichtbaumarten, welche am Untersuchungsort vorkamen, der Buche gegenüber zu konkurrenzschwach seien. Die Stieleiche hat also, von wenigen Ausnahmen abgesehen, in den ausgewiesenen Naturwaldzellen kaum eine Chance in der künftigen Waldgeneration bestandesdominierend zu sein (Ortmann-Ajkai et al., 2016; Ortmann-Ajkai et al., 2017). Das Vorhandensein vieler Stieleichenwälder ist also vor allem der menschlichen Bewirtschaftung der letzten Jahrhunderte zu verdanken (Küster, 1998; Kühne, 2004).

Folglich sind Stieleichen weniger Bestandteil einer potentiell-natürlichen Vegetation, sondern eher einer Kulturlandschaft, welche aber aufgrund ihrer hohen Strukturvielfalt und langer Habitattradition ebenso schützenswert ist wie die anthropogenen Lebensräume der Heiden, Magerrasen und des Grünlands (Küster, 1998). Würde die Stieleiche nur an ihren natürlichen Standorten vorkommen, wäre ihr Anteil in Mitteleuropa um ein Vielfaches geringer, als er gegenwärtig ist, so Küster (1998).

Der positive Trend, welcher sich in den BWI Daten andeutet (+70000 ha) könnte sich allerdings fortsetzen und der Anteil an Stieleichen weiter ansteigen, da ihr aufgrund ihrer Sturmfestigkeit und Toleranz gegenüber Trockenstress ein hohes Potential im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel zugeschrieben wird und sie im Zuge des Waldumbaus, vor allem im Staatswald, wieder vermehrt angepflanzt wird (Kühne et al. 2014; Annighöfer et al. 2015). Neben der Rolle von Stieleichen im Hochwald wird in jüngster Zeit auch der Beitrag der Niederwaldwirtschaft zur regionalen Energieversorgung neu diskutiert (Annighöfer et al., 2015). Ferner erleben historische Waldnutzungsformen auf Seiten des Naturschutzes eine Renaissance (Wald und Holz NRW, 2014). Laut Wald und Holz NRW (2014) zeichnen sich Nieder- und Mittelwälder durch ein strukturreiches Lebensraummosaik auf verhältnismäßig kleiner Fläche aus. Aufgrund der Stockausschlagfähigkeit der Stieleiche ist diese für die Nieder-

Überflutungsregime hatte (Reif et al., 2016). Dieser Umstand sowie der Bau von Deichen oder anderweitige Landnutzung hat zu einem massiven Rückgang von Auenwäldern in ganz Europa geführt (Reif et al., 2016). Laut Küster (1998) wurde der Anteil an Stieleichen in Auenwäldern, einer natürlichen Art der Hartholzaue, durch neue Betriebsformen ebenfalls stark gesenkt.

In Deutschland haben von den etwa 61000 ha umfassenden Waldflächen in rezenten Flussauen nur noch rund 5700 ha einen naturnahen Auwaldcharakter (BUND Rheinland-Pfalz, 2014). Hiervon macht die Hartholzaue laut BUND wiederum nur einen kleinen Teil aus. Es handelt sich also um einen sehr seltenen Lebensraum. Der Zustand der Auenwälder in Mitteleuropa wird von der European Commission (2018) als ‚ungünstig‘ bewertet. Eine dauerhafte Sicherung dieses einzigartigen Lebensraumes kann nur durch die erfolgreiche Implementierung von Entwicklungsmaßnahmen erreicht werden (European Commission, 2018).

3. Faktoren für die Verjüngung im Auwald

Um den ökologisch wertvollen Lebensraum der Hartholzaue zu erhalten, ist es wichtig erfolgreiche und zuverlässige Verjüngungsverfahren für die Stieleiche zu entwickeln (Küßner und Wagner 2002; Kühne, 2004; Reif et al., 2016). Die Stieleiche steht in der Hartholzaue gewissermaßen unter Zugzwang, da den beiden anderen Hauptbaumarten der Hartholzaue, der Esche und der Ulme, durch Krankheiten bereits stark zugesetzt wurde (Tiefenbacher, 2017).

Generell ist zwischen der Verjüngung der Stieleiche innerhalb und außerhalb der Überflutungsauwe zu unterscheiden (Kühne, 2004). Erfolgreiche Verjüngungsversuche außerhalb der Aue können laut Kühne (2004) nicht auf die Aue übertragen werden, da Auenwälder größtenteils sehr gut nährstoff- und wasserversorgt sind, was die Konkurrenzsituation für die Stieleiche negativ beeinflusst. Außerdem führen die Sedimentation, Erosion und Überflutungen zu kleinflächigen Standortsunterschieden, welche die Stieleiche zusätzlich benachteiligen (Reif et al., 2016).

Übereinstimmende Meinung in der Literatur ist, dass Stieleichen in der Hartholzaue durchaus fruktifizieren und keimen, die Sämlinge allerdings im Alter von zwei Jahren wieder absterben (Küßner und Wagner, 2002; Kühne, 2004; Reif und Gärtner, 2007). Welches sind also die entscheidenden limitierenden Faktoren und wie verändern sich diese im Laufe der Entwicklungsstadien der Stieleiche? Im Folgenden werden abiotische und biotische Umwelteinflüsse, wie Überflutungen, Lichtregime, Wildverbiss, Eichelprädation und Konkurrenz, diskutiert und versucht den oder die entscheidenden Faktoren zu identifizieren, welche eine erfolgreiche und dauerhafte Etablierung der Stieleiche in der Hartholzaue verhindern.

3.1 Abiotische Umweltfaktoren

3.1.1 Licht

Licht ist der abiotische Faktor, welcher in der Literatur am eingehendsten diskutiert wird und demnach wahrscheinlich auch der Wichtigste sein könnte. Die Effekte verschiedener Licht-

stärken und –verhältnisse auf junge Stieleichen zu kennen, ist deshalb wichtig, da das Licht der einzige abiotische Umweltfaktor ist, welcher sich waldbaulich steuern lässt.

Die Schattentoleranz junger Stieleichen findet in der Literatur unterschiedliche Bewertungen. Das Höhenwachstum junger Stieleichen ist unter schattigen Verhältnissen höher als unter Freilandbedingungen (Küßner und Wagner, 2002). In der Literatur schwanken die Angaben über die für das Höhenwachstum optimalen Lichtverhältnisse von 20-40% (Reif und Gärtner, 2007) und 25% (Annighöfer et al., 2015) bis 30% (Dobrovolny, 2014) voller Freilandhelligkeit. Generell nehmen die Lichtbedürfnisse laut Küßner und Wagner (2002) allerdings in den ersten Jahren zu, was daran liegen könnte, dass die in den Keimblättern gespeicherten Nährstoffvorräte bei schattigen Bedingungen schneller aufgezehrt werden. Küßner und Wagner (2002) beschreiben, dass unter reduzierten Lichtverhältnissen junge Stieleichen ein stärkeres Höhenwachstum zeigen und eine größere Blattfläche mit höheren Chlorophyllgehalten ausbilden. Bei schattigen Bedingungen kommt es, laut Küßner und Wagner (2002) allerdings auch zu einem geringeren Wurzelwachstum und einer niedrigeren Nettoassimilationsrate. Der Zusammenhang zwischen zunehmender Beschattung und erhöhtem Höhenwachstum aber einem geringeren Wurzelgewicht ist statistisch abgesichert (Reif und Gärtner, 2007). Küßner und Wagner (2002) führen auf, dass hohe Lichtverfügbarkeit zu einem gedrungeneren Wachstum und einem verstärkten Wachstum der Wurzel führt, wodurch solche Stieleichen Bodenwasser effizienter erschließen können und somit stresstoleranter sind. Mit erhöhter Lichtverfügbarkeit steigt also auch die Überlebenswahrscheinlichkeit (Küßner und Wagner, 2002).

3.1.2 Bodenparameter

Bodenparameter wie pH-Wert und Nährstoffgehalt werden im untersuchten Zusammenhang eher selten erwähnt. Festzuhalten bleibt, dass Auenwälder als pauschal gut nährstoffversorgte und basenreiche Standorte gelten, woran die Stieleiche ihrerseits gut angepasst ist (Küßner und Wagner, 2002). Die Stieleiche hat auf diesen produktiven Standorten allenfalls einen Konkurrenznachteil gegenüber raschwüchsigen Baumarten, raschwüchsiger Bodenvegetation und/oder invasiven Neophyten (siehe Kap. Neophyten/Konkurrenzvegetation) (Brundke und Binder, 2017).

3.1.3 Überflutung

Da Überflutungen ein den Auenstandorten vorbehaltenes Phänomen sind, wurden deren Effekte auf die Eichenverjüngung eingehend untersucht. Allgemein betrachtet sind junge Stieleichen sehr überflutungsresistent (Weißbrod et al., 2014). Verschiedene Felduntersuchungen konnten keinen negativen Einfluss auf die Blattflächenentwicklung nachweisen und auch das Verhältnis von Wurzel- zu Sprossbiomasse ist im Vergleich zu nicht überfluteten Stieleichen gleich geblieben (Küßner und Wagner, 2002). Erwiesen ist hingegen der Einfluss von Überflutungsereignissen auf Stieleichensaat (Kühne, 2004). Laut Kühne (2004) verringern Überflutungen nicht das Keimungsvermögen von Eicheln, verzögern dieses aber. So wurden von Kühne angelegte Saaten vom Jahrhunderthochwasser 1999 am Rhein lange überflutet, keimten jedoch nach einer Verzögerung von einigen Wochen trotzdem. Diese Beobachtungen wurden 2014 von Dobrovolny et al. bestätigt. Bei Dobrovolny et al. (2014) war die Mortalität der überfluteten Saaten gleich hoch wie bei Saaten, welche nicht unter Wasser

standen. Bei Pflanzungen oder Jungwüchsen kann es bei Überflutungen allerdings durch mechanische Schäden (Treibgut usw.) zu hohen Ausfällen bei Stieleichen kommen (Kühne 2004).

3.1.4 Relief und Wasserhaushalt

Über die Bedeutung von Relief und Wasserhaushalt finden sich in der Literatur bisweilen widersprüchliche Aussagen. So seien geringe Höhenunterschiede auf von Kühne (2004) beobachteten Untersuchungsflächen der entscheidende Faktor für das Überleben gepflanzter Eichen gewesen, da höher gelegene Individuen kürzer überflutet gewesen wären und in Trockenperioden, aufgrund der ausgeprägten Pfahlwurzel, besseren Anschluss ans Grundwasser gehabt hätten als die Konkurrenzvegetation. Küßner und Wagner (2002) haben in ihren Untersuchungen beobachtet, dass die Mortalität von Stieleichen in Auenwäldern auf höher gelegenen Standorten mit geringer Wasserversorgung höher gewesen sei. Im Vergleich dazu sei die Mortalität auf niedrig gelegenen Standorten sehr gering. Dies sind widersprüchliche Aussagen zu Kühne (2004), welcher in seiner Dissertation schreibt, dass Höhenunterschiede maßgeblichen Einfluss auf das Überleben der Verjüngung hatten. Laut Küßner und Wagner (2002) sei die Menge verfügbaren Wassers während der Vegetationsphase wesentlich für das Überleben der Jungpflanzen. Reif et al. (2016) ergänzen dass eine gute Wasserversorgung während der Vegetationsphase einen Konkurrenznachteil für die Stieleiche darstellt.

3.2 Biotische Umweltfaktoren

Die biotischen Umweltfaktoren Wildverbiss und Konkurrenzvegetation bzw. Neophyten sind im untersuchten Zusammenhang von entscheidender Bedeutung. Da sowohl die hohen Schalenwildpopulationen als auch die Einwanderung gebietsfremder Pflanzenarten direkt auf menschliches Zutun zurückzuführen sind und sich beides negativ auf die Stieleichenverjüngung auswirkt, stellen diese Umweltfaktoren Störungen dar (Annighöfer et al., 2015; Metzler und Enderle, 2016; Tiefenbacher, 2017).

3.2.1 Wildverbiss und Eichelprädation

Hinreichend belegt ist der negative Einfluss von Wildverbiss auf die Eichenverjüngung im Allgemeinen (Reif und Gärtner, 2007). Da Auenwälder sehr produktive Standorte sind, auf denen man potentiell Eichenwertholz produzieren kann, ist dies besonders gravierend, da die Schaffformen, welche aus dem Verbiss resultieren, nur Brennholznutzung erlauben (Gössinger, 2014). Aufgrund des Strukturreichtums der Auenwälder können die Schalenwildpopulationen dort zahlreicher als in anderen Waldbiotopen sein (Metzler und Enderle, 2016). Unabhängig von menschlichem Zutun sorgt Eichelprädation zu einem massiven Verlust an keimungsfähigen Samen (Kühne und Bartsch, 2007; Reif und Gärtner, 2007). Die Prädation durch Wildschweine, Vögel, Eichhörnchen und vor allem Mäuse kann bei Eicheln, welche aufgrund ihrer Größe und ihres Energiereichtums besonders attraktiv sind, bis zu 95% ausmachen (Kühne und Bartsch, 2007; Reif und Gärtner 2007). Da vielfach beschrieben ist, dass Saaten und Naturverjüngung in Auwäldern nicht überlebensfähig sind, ist die Eichelprädation wahrscheinlich weniger gravierend als der Verbiss an gepflanzten Kulturen (Martinik et al., 2014).

3.2.2 Konkurrenzvegetation der Krautschicht

Mittels Probekreisen haben Küßner und Wagner (2002) den Einfluss von Konkurrenzvegetation auf Stieleichenverjüngung in der Krautschicht untersucht. Auf Probekreisen mit Begleitvegetation waren zweijährige Stieleichen durchschnittlich 21 cm hoch, viele Proben waren aber aufgrund hoher Mortalität nicht auswertbar. Auf Probekreisen bei gleichen Bedingungen ohne Begleitvegetation waren die Stieleichen durchschnittlich 26 cm hoch und weniger Proben sind ausgefallen. Im Verlauf der Untersuchungen haben Küßner und Wagner (2002) festgestellt, dass die Vegetation der Krautschicht von waldbaulich implizierten Kleinlochstellungen stärker profitiert als die Stieleichen. Wenn Konkurrenzvegetation vorhanden war, habe diese das verfügbare Licht für die Stieleichen so stark verringert, dass die waldbaulichen Eingriffe im Altbestand für diese nutzlos waren. Laut Küßner und Wagner (2002) könne bei reduzierten Lichtverhältnissen die Stieleiche sich aufgrund ihrer ausgeprägten Wurzelbiomasse aber einen Konkurrenzvorteil verschaffen, da sie bei geringem Lichtangebot und ausreichender Wasserversorgung nicht von der Konkurrenz überwachsen wird. Harmer et al. (2005) beschreiben, dass Stieleichenverjüngung besonders konkurrenzschwach gegenüber Farnen (*Polypodiopsida*) und Brombeeren (*Rubus*) ist, gegenüber grasiger Bodenvegetation die Konkurrenz allerdings geringer ist.

3.2.3 Neophyten

Gebietsfremde Pflanzen- und Gehölzarten, welche willentlich oder unwillentlich in Auenwäldern eingebracht wurden, haben Einfluss auf die Verjüngung von Stieleichen und das gesamte Ökosystem der Auen (Heinze, 2016). Da von den drei ursprünglichen Arten der Hartholzau Eiche, Ulme und Esche forstwirtschaftlich gesehen nur noch die Eiche eine Option ist und deren Bewirtschaftung sehr langwierig und aufwendig ist, wird ständig diskutiert, gebietsfremde Arten wie Hybridpappeln (*Populus x*), Hybridnuss (*Juglans x*), Götterbaum (*Ailanthus altissima*) oder Robinie (*Robinia pseudoacacia*) in die Auenwälder einzubringen, da diese teilweise gute Holzqualitäten bei geringerer Umtriebszeit liefern (Reif und Gärtner, 2007; Heinze, 2016). Die am weitesten verbreitete gebietsfremde Baumart in sowohl Hart- als auch Weichholzaue ist eine raschwüchsige Hybridpappel, welche dort autochtone Gehölzarten zunehmend verdrängt (BUND, 2014). Auch die Umwandlung strukturreicher Hartholzauenwälder in Pappelwirtschaftswälder hat grundlegende Veränderungen der heimischen Flora und Fauna zur Folge (BUND, 2014). Naturschutzverbände wie der BUND (2014) raten deswegen dringend von einem Anbau weiterer Neophyten ab. Neben fremdländischen Gehölzen breiten sich entlang der Flüsse auch zunehmend andere invasive Pflanzenarten, wie das aus Asien eingeschleppte Drüsige Springkraut (*Impatiens glandulifera*) oder die aus Nordamerika stammende Kahle Goldrute (*Solidago gigantea*), aus (Heinze, 2016). In der Vergangenheit hätten intensive Bewirtschaftungsmethoden der Verbreitung solcher invasiver Arten massiven Vorschub geleistet, sodass eine erwünschte Naturverjüngung heimischer Gehölzarten praktisch nicht mehr möglich sei (BUND, 2014). Neophyten würden außerdem zusätzlich durch die Eutrophierung der Gewässer gefördert (Reif und Gärtner, 2007). Tiefenbacher (2017) setzt dem entgegen, dass obwohl die Verwendung wenig bekannter Baumarten (v.a. als Eschenersatz) das Betriebsrisiko zwar erhöhe, solche aber wohl vor allem für Privatwaldbesitzende den einzigen Ausweg bieten würden, wenn man Auenwälder weiterhin forstwirtschaftlich nutzen wolle.

3.2.4 Kalamitäten

Der Befall mitteleuropäischer Eichen durch Schädlinge oder Krankheiten ist keine Seltenheit (Annighöfer et al., 2015). In der Literatur zeigen sich allerdings keine Hinweise, dass Stieleichen in Auenwäldern anfälliger oder resistenter gegenüber solchen Kalamitäten wie Eichenmehltau (*Erysiphe alphitoides*) oder Eichenfraßgesellschaften sind (Metzler und Enderle, 2016).

4. Waldbauliche Maßnahmen

In der untersuchten Literatur werden nicht nur die Faktoren beschrieben, welche die Verjüngung von Stieleichen in Auenwäldern verhindern oder hemmen, sondern i.d.R. auch waldbauliche Maßnahmen vorgestellt, mit denen trotzdem eine Verjüngung ermöglicht werden soll. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Für die Bewirtschaftung von Auenwäldern können Vorschriften aus dem Naturschutzrecht greifen. So sind manche Auenwälder gesetzlich geschützte Biotope, deren Beeinträchtigung oder Zerstörung gesetzlich verboten sind (Brundke und Binder, 2017). In Natura 2000-Gebieten (auch FFH-Gebiete) herrscht Verschlechterungsverbot, was bedeutet, dass Maßnahmen, welche den Erhaltungszustand verschlechtern, unzulässig sind (Brundke und Binder, 2017). Außerdem beherbergen Auenwälder viele Arten der Roten Liste und sind oft Vogelschutzgebiete (Brundke und Binder, 2017). Daher gebietet die Vielfalt dieser Standorte eine kleinräumige, extensive Nutzung (Brundke und Binder, 2017).

Die untersuchten Quellen stimmen weitgehend miteinander überein, dass Flächen, auf denen Stieleiche gepflanzt werden soll, aufgrund des hohen Verbissdrucks unbedingt gezäunt werden müssen (Kühne, 2004; Harmer und Morgan, 2007; Reif und Gärtner, 2007; Reif et al., 2016; Tiefenbacher, 2017). Außerdem seien Pflegemaßnahmen gegen die Begleitvegetation unbedingt notwendig (Küßner und Wagner, 2002; Kühne et al., 2005; Harmer und Morgan, 2007; Reif und Gärtner, 2007).

Kühne (2004) konnte Stieleichen erfolgreich durch sogenannte Heisterpflanzungen etablieren. Heisterpflanzen, in diesem Fall Stieleichenheister, sind junge, jedoch bereits zweimal verpflanzte, 1,25 bis 2,5 m hohe Laubbäume (Kühne 2004). Diese seien im Auenwald als Pflanzmaterial insofern besser als kleinere Sortimente geeignet, da diese widerstandfähiger gegen die Strömungen der Hochwasser seien und weniger der Beschattung durch Konkurrenzvegetation ausgesetzt. Heister seien, so Kühne (2004) allerdings nicht generell hochwassertoleranter als jüngere Stieleichen mit einer kürzeren Sprossachse. Entscheidend, so der Autor, sei ein erfolgreiches Anwachsen vor dem ersten Überflutungsereignis. Laut Kühne (2004) sei im Überflutungsbereich der Aue eine Pflanzung von Stieleichenheistern die einzige Möglichkeit Stieleichen zu verjüngen. Im Jahr der Pflanzung könnten aber durch Hochwasser immer noch viele Pflanzen ausfallen (Kühne, 2004). Bei der Pflanzung sei außerdem zu beachten, dass kein zu kräftiger Wurzelschnitt vorgenommen werde, da dieser die Heisterpflanzen zusätzlich schwäche (Kühne et al., 2005). Laut Kühne (2004) würden bereits geringe Höhenunterschiede im Relief der Fläche die Überlebenswahrscheinlichkeit einzelner Pflanzen beeinflussen. Mulden, Senken und Rinnen, welche bei oder nach Überschwemmungen besonders viel Wasser führen, sollten bei Pflanzungen also ausgespart werden (Kühne, 2004). Die Heisterpflanzen, welche maximal truppweise in Bestände eingebracht

werden sollten, benötigten im Pflanzjahr ausreichende Lichtverhältnisse um mit dem Höhenwachstum zu beginnen und um den Pflanzschock möglichst rasch überwinden zu können (Kühne, 2004). Kühne (2004) beziffert die benötigte Lichtstärke auf 30% der Freilandverhältnisse. Hiervon würde zwar auch die Konkurrenzvegetation in der Krautschicht profitieren, allerdings hätten die Heisterpflanzen einen Vorsprung in der Höhe und würden so den Konkurrenznachteil kompensieren. Um die benannten Lichtverhältnisse zu gewährleisten, müssten, so Kühne (2004), im Altbestand Femellöcher von 30-50 m Durchmesser geschaffen werden. Auch die zwischen- oder unterständigen Schattbaumarten müssten entfernt werden. Bei Heisterpflanzungen sei ein höheres Strahlungsangebot generell einem zu niedrigen vorzuziehen (Kühne, 2004). Die Konkurrenzvegetation sei vor der Pflanzung und in regelmäßigen Kulturpflegen zurückzuschneiden (Kühne, 2004). Kühne (2004) konstatiert, dass die Etablierung von Stieleichen nur unter immensem Aufwand möglich sei und ständiger Pflege bedürfe, weshalb die Überflutungsauwe forstlich nur extensiv zu nutzen und die Stieleiche nur kleinräumig einzubringen sei.

Das Merkblatt zur Bewirtschaftung von Eichenbeständen des MLU Sachsen-Anhalt Arbeitsgruppe Waldbau ergänzt Kühnes Aussagen: Heisterpflanzungen sollen auf 0,5 bis maximal 1 ha großen Flächen stattfinden und Pflegemaßnahmen sollen, solange sich die Kultur im Jungwuchsstadium befindet, zweimal jährlich stattfinden. Bei solchen Pflegemaßnahmen sollen, laut MLU Sachsen-Anhalt, außerdem Mischungsregulierungen zur Förderung seltener Arten wie Wildobst (*Malus sylvestris*, *Pyrus pyraeaster*) und Ulmen (*Ulmus*) unternommen werden. Baumarten wie Rotesche (*Fraxinus pennsylvanica*) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) sollen laut dieser Praxisrichtlinie ausdrücklich entfernt werden.

Um die interspezifische Konkurrenz zwischen Stieleichen und Vegetation der Krautschicht von vornherein niedrig zu halten empfehlen Küßner und Wagner (2002) die künstliche Einbringung von Mischbaumarten, welche durch Beschattung die Konkurrenzkraft der Krautschicht mindern. Der künstlich eingebrachte Schirm könne dann, so Küßner und Wagner (2002) nach einer Pflanzung nach und nach aufgelichtet werden.

Dobrovolný et al. (2017) und Mariotti et al. (2015) beschreiben, dass eine sukzessive Auflichtung des Schirms über gepflanzten Eichen besser sei als kahlschlagsähnliche Lichtverhältnisse, da junge Eichen bei hohem Lichtgenuss kürzere Kronen und eine bis zu 50% geringere Kronenüberschirmungsfläche hätten. Außerdem sei das Volumen solcher Eichen geringer, wodurch diese letztlich eine geringere Wertschöpfung hätten.

Annighöfer et al. (2015) empfehlen die Lichtverhältnisse der Nährstoffversorgung der Standorte anzupassen. Auf gut versorgten Standorten wie Auen sollten demnach im zweiten bis dritten Jahr nach der Pflanzung nur 20% Freilandverhältnisse herrschen, bevor der Schirm geöffnet wird. Auf ärmeren Standorten sei die Konkurrenz, laut Annighöfer et al. (2015), zudem generell geringer.

Bei einer natürlichen Morphodynamik und einem natürlichen Überflutungsregime, dem Vorhandensein keimungsfähiger Eicheln und regulierten Wildbeständen wäre, so Reif et al. (2016), theoretisch sogar eine natürliche Verjüngung von Stieleichen im Überflutungsbereich der Aue möglich.

5. Zusammenfassende Betrachtung der Umweltfaktoren und waldbaulicher Maßnahmen

Keine der in Kapitel 3 aufgeführten Umweltfaktoren ist allein ausschlaggebend für das Ausbleiben von Stieleichenverjüngung in der Hartholzau. In der Literatur wird vielmehr die Summe vieler ungünstiger Faktoren beschrieben, welche eine erfolgreiche Verjüngung verhindert.

Kühne (2004) bilanziert nach der Durchführung erfolgloser Verjüngungsmaßnahmen, dass bei Pflanzungen und aufgelaufener Naturverjüngung die Beschattung durch dichte und hohe Konkurrenzvegetation, sowie der mechanische Einfluss von Überflutungsereignissen und Grundwasserstau für den Misserfolg ausschlaggebend gewesen seien.

Küßner und Wagner (2002) ergänzen, dass der Ressourcenbedarf junger Stieleichen nach zwei Jahren stark zunehme und die begrenzte Verfügbarkeit von Wasser (Trockenperioden) und Licht (Altbestand) letztlich zum Absterben führe.

Reif und Gärtner (2007) führen auf, dass in den korrigierten Flusssystemen der Gegenwart keine natürliche Sedimentverlagerung mehr stattfinden könne, wodurch keine Mineralbodenflächen mehr auf dem Niveau ursprünglicher Hartholzauen entstünden, was die Etablierung von Stieleichensämlingen erschweren würde. Da es in Mitteleuropa aber keine natürlichen Flussauen mehr gebe, könne der Einfluss von Sedimentverlagerung nicht untersucht werden. Allein Reif et al. (2016) bewerten Überflutungsereignisse als u.U. für die Stieleichenverjüngung förderlich, da sich die Stieleiche auf frischem, durch die Überflutung eingebrachtem Substrat natürlich etablieren könne. Reif et al. (2016) sagen, dass lange und/oder regelmäßige Überflutungen die Vitalität vieler mit der Stieleiche konkurrierende Gehölze und der Bodenvegetation senken würden, wogegen etablierte Stieleichen diese überleben würden. Insbesondere das Ausbleiben einer natürlichen Stieleichenverjüngung sei also, laut Reif et al. (2016), neben dem Wildverbiss vor allem auf die fehlende Substratdynamik nach Hochwassern zurückzuführen.

In den untersuchten Quellen finden sich waldbauliche Maßnahmen (siehe Kapitel 4), welche häufig Erwähnung finden und folglich besonders wichtig sein könnten. Dazu zählt die waldbauliche Steuerung des Lichtregimes, die Errichtung von Wildzäunen oder die Regulierung von Schalenwildbeständen im Allgemeinen und Maßnahmen gegen die Konkurrenzvegetation.

Welche Aspekte des Gesamtthemas wie oft erwähnt werden, wird in den folgenden Tabellen dargestellt. Die Häufigkeit der Erwähnung einzelner Aspekte könnte als Indikator für deren Wichtigkeit betrachtet werden.

In 83,33% der untersuchten Quellen werden Schwierigkeiten bei der Verjüngung von Stieleichen genannt. Auwälder werden in 63,33% der Quellen als ökologisch wertvoll beschrieben, 60% beschreiben den gegenwärtigen Zustand dieser Biotope als schlecht. Die beiden im Zusammenhang mit Stieleichenverjüngung am häufigsten genannten Umweltfaktoren sind der Lichthaushalt (70%) und die Konkurrenz durch Begleitvegetation (60%). Am seltensten wird der Einfluss oder das Auftreten von Kalamitäten wie Fraß oder Pilzbefall genannt (20%). Die am häufigsten genannte waldbauliche Maßnahme zur Beeinflussung der Umweltfaktoren ist die Steuerung von Lichtverhältnissen. Diese wird in 60% der Quellen benannt.

		Auwälder ökologisch wertvoll	Zustand Auwälder schlecht	Schwierigkeiten bei StEi VJ
Quelle (n = 30)	n	19	18	25
	%	63,33	60	83,33

Dar. 4: Allgemeine Rahmenbedingungen, eigene Abbildung

		Lichthaus-halt	Wasserhaus-halt	Bodenparame-ter	Überflu-tung	Ver-biss	Kalamitä-ten	Konkur-renz d. Vegetati-on
Quelle (n = 30)	n	21	13	8	14	17	6	18
	%	70	43,33	26,67	46,67	56,67	20	60

Dar. 5: Umweltfaktoren mit Einfluss auf Stieleichenverjüngung, eigene Abbildung

		Steuerung Lichtver-hältnisse	Zäunung	Maßnahmen gegen Konkurrenzvegetation
Quelle (n = 30)	n	18	10	14
	%	60	33,33	46,67

Dar. 6: Waldbauliche Maßnahmen, eigene Abbildung

Die Vermutung, dass die absolute Häufigkeit an Erwähnungen eines Faktors mit dessen Bedeutung für das untersuchte Thema korreliert, bestätigt sich nur bedingt. Dass Umweltbedingungen wie Kalamitäten (20%) und Bodenparameter (26,67%) bei der Betrachtung eine untergeordnete Rolle spielen, spiegelt sich in der Häufigkeit deren Erwähnungen in den bearbeiteten Quellen wieder. Gleiches gilt umgekehrt für die herausragende Rolle der Lichtversorgung (70%). Der Einflussfaktor Überflutung ist hingegen nur in 46,67% der Quellen erwähnt, obwohl dieser in den Quellen, in denen er erwähnt wird, als enorm wichtig für den Erfolg von Verjüngungsmaßnahmen beschrieben wird.

6. Gegenüberstellung zeitlicher und finanzieller Kosten

Die hohe Produktionskapazität der nährstoffreichen und gut wasserversorgten Standorte der Auwälder sollte laut Heinze (2016) von einem volkswirtschaftlichen Standpunkt aus genutzt werden. Die Anlage von Stieleichenkulturen bedeutet für die waldbesitzende Person ein hohes finanzielles Investment (Heinze, 2016). Am Ende eines Stieleichenumtriebs innerhalb der Überflutungsauwe übersteigt die Summe der getätigten Investitionen die des Erlöses, es gibt also keine positive monetäre Wertleistung (Heinze, 2016).

Durch das Ausfallen von Ulme und Esche gibt es für waldbewirtschaftende Personen allerdings keine Alternative mehr zur Stieleiche in Hartholzauen, möchte man heimische Arten anbauen (Metzler und Enderle, 2016). Aus diesen Umständen hat sich in der Praxis ein sogenannter Eichenrückversicherungstyp entwickelt (Erbacher, 2018). Als Eichenrückversicherungstyp bezeichnet man eine Stieleichen-Trupp-Pflanzung im Hybridpappelbestand (Erbacher, 2018). Durch die Zeitmischung rückversichert man sich zum einen vor einem Ausfall der Stieleiche, weil danach immer noch eine bestockte Fläche vorhanden ist, außerdem können mit Hybridpappeln bereits nach 50 Jahren Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden (Erbacher, 2018). Laut Erbacher (2018), wird durch diesen Rückversicherungstyp zum einen das forstwirtschaftliche Potential der Auenstandorte genutzt, zum anderen findet eine Verjüngung der heimischen Art Stieleiche mit all ihren ökologischen Vorteilen, statt. Die Stieleiche profitiert insofern von der Zeitmischung mit Pappel, da diese unter den hochgewachsenen Heisterpflanzen einen Schirm bildet, was die Begleitvegetation ausdunkelt (Erbacher, 2018).

Im Forstbezirk Rastatt werden Eichenrückversicherungstypen in folgender Ausprägung angewendet: 7x7m Pappel-Grundbestand mit Beimischung von 45 Eichentrupps je ha zu je 10 Eichen/Trupp. Ziel ist es die Stieleiche sukzessiv über mehrere Bestandesgenerationen hinweg anzureichern. Aufgrund der höheren Überflutungstoleranz werden Heisterpflanzen verwendet. Die Kosten für die gesicherte Kultur, inklusive Kulturvorbereitung, Wildschutz und Kultursicherung betragen 8.200 Euro/ha (Erbacher, 2018).

Bei Wiederaufforstungen, zum Beispiel nach Eschentriebsterben, können die Kulturkosten gefördert werden (Erbacher, 2018).

Eine Verbesserung der betriebswirtschaftlichen Situation würde einsetzen, wenn eine natürliche Verjüngung der Stieleiche in Hartholzauen wieder möglich wäre.

7. Schlussfolgerung

Aufgrund der nachhaltigen Störung natürlicher Überflutungs- und Sedimentierungsregime, Eichelprädatoren und Wildverbiss, Wasser- und Lichtstress, sowie Konkurrenzdruck durch Begleitvegetation ist eine natürliche Verjüngung von Stieleichen in der mitteleuropäischen Hartholzaue nicht möglich (Küßner und Wagner, 2002; Kühne, 2004; Kühne et al., 2005; Kühne und Bartsch, 2006; Reif et al., 2016). Das gleiche gilt auch für eine künstliche Verjüngung durch Saat (Küßner und Wagner, 2002; Kühne, 2004; Kühne et al., 2005; Kühne und Bartsch, 2006; Reif et al., 2016).

Praxisversuche haben allerdings gezeigt, dass eine künstliche Verjüngung von Stieleichen in Hartholzauen durch in Nestern gepflanzte Heisterpflanzen erfolgreich verlaufen kann (Kühne, 2004; Kühne und Bartsch, 2006; Kühne, 2014). Konkurrenzvegetation kann laut Kühne

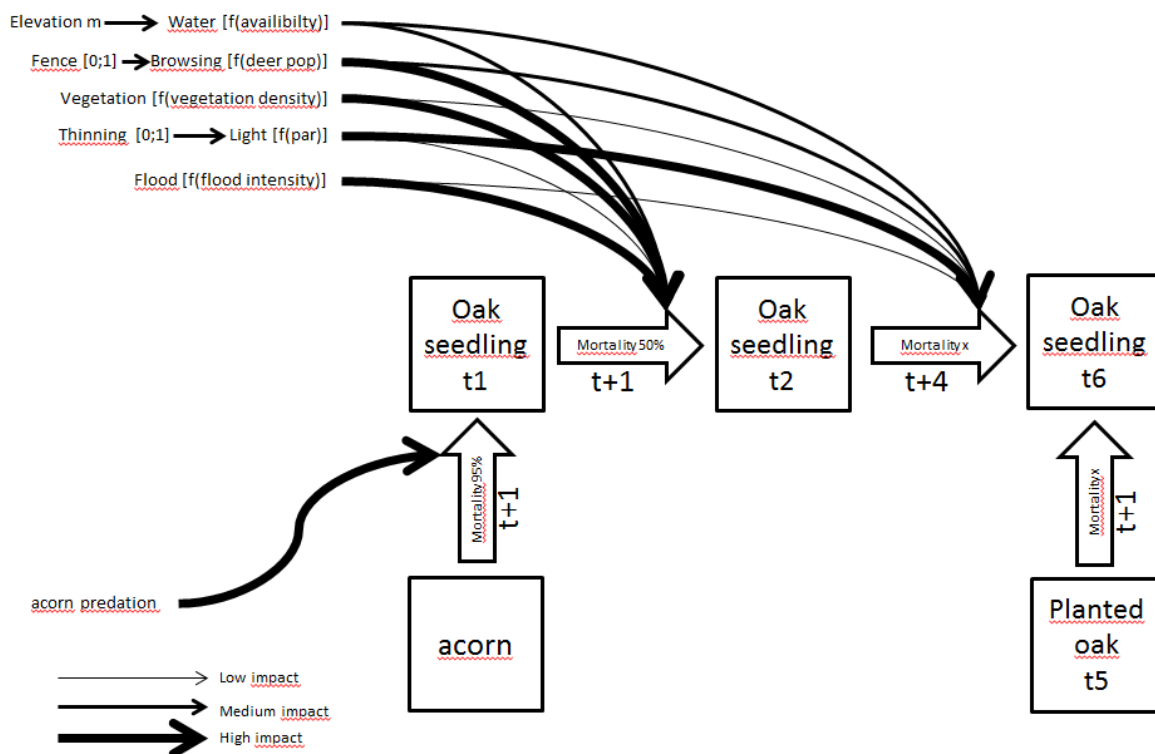
(2004; 2014) durch einen engen Pflanzverband innerhalb einer Nesterpflanzung zurückgedrängt werden. Überschildung und der Einfluss von Hochwassern kann ein zügiges Höhenwachstum allerdings stören und/oder verhindern (Kühne, 2004; Kühne und Bartsch, 2006; Kühne, 2014). Ein Überflutungsereignis nach der Pflanzung kann zu einem flächigen Ausfall der Kunstverjüngung führen (Kühne, 2004; Erbacher, 2018). Heister sind für eine Kunstverjüngung in der Überflutungsauwe insofern besser geeignet als jüngere/kleinere Sortimente, da diese aufgrund ihrer Höhe (1,25-2,5m) weniger anfällig gegenüber mechanischen Einflüssen von Hochwassern und dem Konkurrenzdruck durch Begleitvegetation sind (Kühne, 2004, 2014). Entscheidend ist außerdem ein erfolgreiches Anwachsen vor dem ersten Überflutungsereignis (Küßner und Wagner, 2002). Zwischenständige Bäume oder Sträucher sind zu entfernen (Küßner und Wagner, 2002). Generell ist ein zu hohes Lichtangebot einem zu niedrigen vorzuziehen (Kühne, 2004). Begleitvegetation muss ein- bis zweimal Mal im Jahr entfernt werden (Kühne et al., 2005). Die Verjüngungsfläche muss unbedingt gezäunt sein (Reif and Gärtner, 2007; Martiník et al., 2014). Eine nachhaltige Erhöhung des Stieleichenanteils in der Hartholzaue kann nur unter immensem finanziellen und pflegerischen Aufwand erfolgen (Kühne, 2004). Es empfiehlt sich eine extensive forstliche Bewirtschaftung der Hartholzaue und eine begrenzte Einbringung von Stieleichen durch Pflanzung (Kühne, 2004).

Das Anpflanzen von Stieleichen in der Überflutungsauwe ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht unökonomisch (Erbacher, 2018). Aufgrund des hohen ökologischen Wertes der Hartholzaue und der Stieleiche, muss man allerdings die monetären Investitionskosten gegenüber dem immateriellen Wert von Ökosystemdienstleistungen abschätzen (Erbacher, 2018). Um die Stieleiche in mitteleuropäischen Auwäldern erfolgreich verjüngen zu können, bedarf es weniger eines konservativen Naturschutzes als aktiver Maßnahmen, da ohne menschliches Zutun die Stieleichenanteile weiter sanken und somit der ursprüngliche Charakter der Auen endgültig verloren ginge (Kühne et al., 2005; Kühne und Bartsch, 2006). Aufgrund der langen Produktionszeiträume im Zusammenhang mit der Stieleiche ist es deswegen wichtig, rasch zu handeln und den Anteil der Stieleiche in Auwäldern wieder zu erhöhen (Metzler und Enderle, 2016). Sollte der Auwald mit seinen Arten verschwinden und zu einem späteren Zeitpunkt wieder zurückkehren, ist völlig unklar, ob die Arten, die vom Auwald abhängen, in der Zwischenzeit Anschluss an andere Biotope finden (BUND, 2014; European Commission, 2018). Durch eine gezielte finanzielle Unterstützung könnte eine künstliche Verjüngung der Stieleiche in Hartholzauen in Staats-, Kommunal- und Privatwäldern gefördert werden. In Wäldern der öffentlichen Hand könnte dies durch die Bereitstellung zusätzlicher finanzieller Mittel geschehen. Im Privatwald könnten Bezuschussungen im Zuge von Vertragsnaturschutz erfolgen.

Die Wissenschaft ist verantwortlich für die Entwicklung und Erforschung von Lösungsansätzen. Der Schutz der mitteleuropäischen Auwälder ist letztlich aber eine politische Entscheidungsfrage. Wieviel Geld, Aufwand und Forschung ist der Schutz heimischer Natur wert?

8. Ausblick

Die biotischen und abiotischen Umweltfaktoren, die im Auwald auf die Stieleichenverjüngung wirken, sind zahlreich und sehr komplex. Dennoch sind einige dieser Faktoren und deren Einfluss gut untersucht und lassen sich teilweise quantifizieren. Manche Abhängigkeiten, wie zum Beispiel das Verhältnis von Wurzelmasse zu Lichtverfügbarkeit, wurden statistisch bewiesen (Reif und Gärtner, 2007). So ließe sich unter Umständen durch eine Einspeisung der beschriebenen Umweltfaktoren (siehe Kapitel 3.) in eine Modellierungssoftware, wie zum Beispiel *anylogic*, eine ganze Reihe an Verjüngungsszenarien modellieren, welche gegebenenfalls weitere Erkenntnisse über erfolgsversprechende Verjüngungsverfahren liefern könnten. Eine Umweltmodellierung der Stieleichenverjüngung mittels *anylogic* wäre methodisch an andere forstwissenschaftliche Umweltmodellierungen, wie FABiO (www.waldvision.de), angelehnt. Ein konzeptionelles Modell einer solchen Modellierung ist Dar. 7 dargestellt. In einem recruitment model könnten die Umweltfaktoren, welche auf die Stieleichenverjüngung wirken ggf. in ihren statistischen Verhältnissen abgebildet und nachempfunden werden. Auf diese Weise ließe sich u.U. auch ein Hauptfaktor, welcher signifikant für den Verjüngungserfolg ist, identifizieren.



Dar. 7: Konzeptioneller Verlauf einer Stieleichenverjüngung, eigene Abbildung

Die Darstellung hat einen stark konzeptionellen Charakter. Sie stellt nicht dar, wie sich die Umweltfaktoren untereinander beeinflussen, trifft keine Aussage darüber, ob es sich bei den Umwelteinflüssen um verstärkende oder regulierende Faktoren handelt oder diese für die Stieleichenverjüngung positiv oder negativ sind. Die Darstellung verdeutlicht aber, dass es sich bei den Umweltparametern um Variablen handelt und dass sich diese (und deren Wir-

kung auf die Stieleichenverjüngung) im Laufe der Jahre verändern und nicht konstant bleiben.

9. Zusammenfassung

Der gegenwärtige Zustand der mitteleuropäischen Auenwälder ist sowohl aus naturschutzfachlicher als auch aus forstwirtschaftlicher Sicht als kritisch einzustufen (Brundke und Binder, 2017). Durch die Änderung der hydrologischen Verhältnisse und starke forstwirtschaftliche Eingriffe hat der Mensch die natürliche Struktur der Auenwälder stark verfälscht (Reif et al., 2016). So hat der Anteil an ehemals dominanten Baumarten wie Stieleiche (*Quercus robur*) und Ulme (*Ulmus spec.*) abgenommen und der weniger überflutungstoleranter Baumarten wie Esche (*Fraxinus excelsior*) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) sowie fremdländischer Gehölzarten zugenommen (Kühne, 2004). Durch Naturverjüngung oder Saat lässt sich die Stieleiche in der Überflutungsauie nicht verjüngen (Kühne, 2004). Eine erfolgreiche Verjüngung ist nur mittels Pflanzung von Heistern in sogenannten Nestern möglich, wobei der Erfolg der Pflanzung maßgeblich von der Hochwassersituation im Jahr der Pflanzung abhängt und das beschriebene Verfahren teuer und aufwendig ist und keinesfalls eine erfolgreiche Verjüngung garantiert (Kühne, 2004). Als letzte verbliebene Art des Baumartentrios der Hartholzaue entscheidet der zukünftige Erfolg der Stieleichenverjüngung auch über das Fortbestehen der Hartholzaue an sich (Tiefenbacher, 2017).

Literaturverzeichnis

- Annighöfer, P., Beckschäfer, P., Vor, T., Ammer, C., 2015. Regeneration Patterns of European Oak Species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) in Dependence of Environment and Neighborhood. *PLoS ONE* 10 (8), 1–16.
- Brundke, F., Binder, F., 2017. Hochwasserangepasste Waldbewirtschaftung. LWF-Merkblatt (36).
- BUND Rheinland-Pfalz, 2014. Der Auwald und seine Bedeutung. http://rhein-pfalz.bund-rlp.de/themen_projekte/exkursionen/auwaelder_entlang_des_rheins/.
- Bundeswaldinventur Datenbank.
[https://bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=1.04%20Baumartengruppe%20\(rechnerischer%20Reinbestand\)&prRolle=public&prInv=BWI2012&prKapitel=1.04](https://bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=1.04%20Baumartengruppe%20(rechnerischer%20Reinbestand)&prRolle=public&prInv=BWI2012&prKapitel=1.04). Accessed 5 September 2018.
- Bußler, H., 2014. Käfer und Großschmetterlinge an der Traubeneiche.
https://www.waldwissen.net/wald/baeume_waldpflanzen/laub/lwf_in_an_eiche/index_DE. Accessed 4 September 2018.
- Dobrovlny, L., 2014. Potential of natural regeneration of *Quercus robur* L. in floodplain forests in the southern part of the Czech Republic. *Journal of Forest Science* 60 (12), 534–539.
- Dobrovlný, L., Martiník, A., Drvodelić, D., Oršanić, M., 2017. Structure, Yield and Acorn Production of Oak (*Quercus robur* L.) Dominated Floodplain Forests in the Czech Republic and Croatia. *Seefor* 8 (2), 127–136.
- Erbacher, C., 2018. Interview, Rastatt.
- European Commission, 2018. Final Report Summary - ESFFORES (EVALUATING SUCCESS OF FLOODPLAIN FOREST RESTORATION). European Commission.
https://cordis.europa.eu/result/rcn/187630_en.html.
- Gössinger, L., 2014. Die Eichen. https://www.sdw.de/cms/upload/pdf/Die_Eiche.pdf. Accessed 5 September 2018.
- Harmer, R., Boswell, R., Robertson, M., 2005. Survival and growth of tree seedlings in relation to changes in the ground flora during natural regeneration of an oak shelterwood. *Forestry* 78 (1), 21–32.
- Harmer, R., Morgan, G., 2007. Development of *Quercus robur* advance regeneration following canopy reduction in an oak woodland. *Forestry* 80 (2), 137–149.
- Heinze, B., 2016. Wasser.Wald: Auwaldbewirtschaftung zwischen Holzproduktion, neuen Schädlingen und Krankheiten sowie Naturschutz. *BFW-Praxisinformation* (40), 6–8.
- Hesmer, H. (Ed.), 1958. Wald und Forstwirtschaft in Nordrhein-Westfalen. Bedingungen, Geschichte, Zustand. M. & H. Schaper.
- Kühne, C., 2004. Verjüngung der Stieleiche (*Quercus robur* L.) in oberrheinischen Auenwäldern. (Doctoral dissertation).
- Kühne, C., 2014. Begründung und Pflege von Eichenbeständen in der forstlichen Praxis – Eine interviewbasierte Ist-Analyse in der badischen Oberrheinebene. *forstarchiv* (85), 179–187.
- Kühne, C., Bartsch, N., 2006. Verjüngung der Stieleiche am Oberrhein zwischen Karlsruhe und Speyer. *WSG Baden-Württemberg* (10).
- Kühne, C., Bartsch, N., 2007. Germination of acorns and development of oak seedlings (*Quercus robur* L.) following flooding. *Journal of Forest Science* 53 (9), 391–399.
- Kühne, C., Bartsch, N., Röhrig, E. (Eds.), 2005. Waldbauliche Behandlung der Auenwälder am Oberrhein unter besonderer Berücksichtigung der Stieleiche (*Quercus robur* L.). Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Sauerländer.

- Küßner, R., Wagner, S. Struktur, Dynamik und Bewirtschaftung von Auenwäldern am Mittellauf der Elbe, in: , Ergebnisse ökologischer Forschung zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Auenwäldern an der Mittleren Elbe, pp. 193–227.
- Küster, H., 1998. Geschichte des Waldes. Von der Urzeit bis zur Gegenwart., München.
- Mariotti, B., Maltoni, A., Jacobs, D., Tani, A., 2015. Tree shelters affect shoot and root system growth and structure in *Quercus robur* during regeneration establishment. *European Journal of Forest Research* 134 (4), 641–652.
- Martiník, A., Dobrovolný, L., Palátová, E., 2014. Tree growing space and acorn production of *Quercus robur*. *Dendrobiology* (vol. 71), 101–108.
- Metzler, B., Enderle, R., 2016. FAQ - Häufige Fragen zum Eschentriebsterben. https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/pilze_nematoden/fva_eschentriebsterben_faq/index_DE.
- MLU Sachsen-Anhalt Arbeitsgruppe Waldbau. Merkblatt zur Bewirtschaftung von Eichenbeständen des Landes Sachsen-Anhalt.
- Ortmann-Ajkai, A., Csicsek, G., Hollos, R., Kevey, B., Borhidi, A., 2016. Comparison of spontaneous regeneration in unmanaged oak (*Quercus robur* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) forests: implications for close-to-nature silviculture. *Austrian Journal of Forest Science* 133 (3), 223–250.
- Ortmann-Ajkai, A., Csicsek, G., Lukacs, M., Horvath, F., 2017. Regeneration patterns in a pedunculate oak (*Quercus robur* L.) strict forest reserve in southern Hungary. *Izvorni znanstveni clanci - Original scientific papers*, 39–46.
- Reif, A., Baumgärtel, R., Dister, E., Schneider, E., 2016. Zur Natürlichkeit der Stieleiche (*Quercus robur* L.) in Flussauen Mitteleuropas – eine Fallstudie aus dem Naturschutzgebiet „Kühkopf-Knoblochsäue“ am hessischen Oberrhein. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* (15), 69–92.
- 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.
- Roloff, A. (Hg.) 2002 – Ergebnisse ökologischer Forschung zur nachhaltigen.
- Skibbe, K., 2018. Keimung, Etablierung und Wachstum der Stieleiche bei unterschiedlichen Wassergehalten im Bodensubstrat. Georg-August-Universität Göttingen. FoWiTa, 25 September 2018, Göttingen.
- Tiefenbacher, H., 2017. Ulmenwelke, Eichen- und Eschentriebsterben – Ein Auwald-Drama, dritter Akt. *BFW-Praxisinformation* (43), 22–26.
- Wald und Holz NRW, 2014. Empfehlungen zur naturnahen Bewirtschaftung von Stiel- und Trauben-Eichenbeständen in Nordrhein-Westfalen: Ansprüche, Potentiale und Empfehlungen zu den waldbaulichen Steuerungsmöglichkeiten im Klimawandel.
- Weißbrod, M., Binder, F., Aas, G., Mosandl, R., 2014. Überflutungstoleranz von Jungpflanzen: Wie reagieren Verjüngungspflanzen auf verschiedene Überstauungshöhen? *LWF aktuell* (101), 38–41.

Darstellungsverzeichnis

Dar. 1: Verbreitung der Stieleiche (Verändert nach Euforgen (2015): www.euforgen.org/distribution-maps/)

Dar. 2: Datenblatt Stieleiche (aus BWI Datenbank 2012). Stöger, N., 2018. Persönliche Mitteilung, Berlin

Dar. 3: Schematischer Querschnitt durch eine Aue. Ellenberg, H., 1982. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen.

Dar. 4: Allgemeine Rahmenbedingungen, eigene Abbildung

Dar. 5: Umweltfaktoren mit Einfluss auf Stieleichenverjüngung, eigene Abbildung

Dar. 6: Waldbauliche Maßnahmen, eigene Abbildung

Dar. 7: Konzeptioneller Verlauf einer Stieleichenverjüngung, eigene Abbildung

