Schlussbericht
zum Vorhaben

Thema:

Formulierung von auf Praxistauglichkeit geprüften Empfehlungen für eine nachhaltige Auwaldbewirtschaftung - mit besonderer Berücksichtigung der Pappelforste - zur Optimierung der Waldfunktionen Biodiversität, Einkommen und Klimaschutz vor dem Hintergrund des Klimawandels und Eschentriebsterbens

(Kurztitel: Auwald im Klimawandel)

Zuwendungsempfänger:

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Geographie und Geoökologie, Aueninstitut

Förderkennzeichen:

22WC4110-01

Laufzeit:

01.02.2018 bis 28.02.2021

Monat der Erstellung:

02/2021

Waldklimafonds

Gefördert durch:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger für den Waldklimafonds unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

SCHLUSSBERICHT

Inhalt

I. Ziele 2
1. Aufgabenstellung 2
2. Stand der Technik 2
Hintergrund und Motivation des Gesamtprojekts 2
Besonderheiten von Auwäldern- Diversität 3
Besonderheiten von Auwäldern- Waldbau 3
Klimawandel und Auwald in Zukunft 4
Literatur zu Punkt 2: 4
3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen 7
II. Ergebnisse 8
1. Erzielte Ergebnisse 8
AP 1: Projektkoordination und Management 8
AP 4: Charakterisierung der Untersuchungsgebiete und Flächenauswahl 9
Untersuchungsgebiet Rastatter Rheinaue 10
Untersuchungsgebiet Bühl (Kinzig-Murg-Rinne) 11
Untersuchungsgebiet Kühkopf-Knoblochsaue 12
Untersuchungsgebiet Genderkingen 13
Untersuchungsgebiet Kaisheim 14
Literatur zu AP 4: 14
AP 7a: Klimawandel und seine Auswirkungen 16
Entwicklung der Lufttemperatur 16
Entwicklung des Niederschlags 18
Entwicklung des Mittelwasserabflusses 21
Entwicklung des Niedrigwasserabflusses 22
Entwicklung des Hochwasserabflusses 23
Zusammenfassung und Bedeutung für die Vegetation 24
Literatur zu AP7 24
AP 11: Synthese und Bewertung 25
AP 14: Leitfaden und Endbericht 28
Nebenergebnis 1: Bodenuntersuchung Maßnahmenflächen 30
Nebenergebnis 2: Vernetzung von Auwaldförstern 30
Nebenergebnis 3: Landschaftliche Entwicklung des NSG Kühkopf-Knoblochsaue seit 1829 30
2. Verwertung 34
3. Erkenntnisse von Dritten 35
4. Veröffentlichungen 35

I. Ziele

1. Aufgabenstellung

Die übergeordnete Aufgabe des Gesamtprojekts „Auwald im Klimawandel“ ist es, verschiedene Bewirtschaftungsformen im Auwald hinsichtlich ihrer Ökologie und Ökonomie zu untersuchen und im Hinblick auf den Klimawandel zu bewerten. Daraus leitet sich als zukünftiges Ziel die Erhöhung der Vitalität des Auwaldes durch standortgerechte Baumartenwahl und Bewirtschaftungsformen ab.

Um die Biodiversität und Naturnähe verschiedener Bestandestypen des Auwalds zu beurteilen, wird die Vegetation detailliert erfasst (Universität Freiburg), als auch die Diversität der Bodenorganismen und ihre Aktivität durch Zersetzungsexperimente untersucht. (Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz). Die ökonomische Bewertung von Auwaldbeständen wird exemplarisch an mehrere Baumarten anhand Simulationen durchgeführt (Waldbau, Universität Freiburg). Für den praktischen Bezug werden waldbauliche Maßnahmen im Auwald in der Zusammenarbeit mit beteiligten Forstbetrieben durchgeführt mit dem Ziel, einen klimastabilen, ökonomisch und ökologisch interessanten Mischbestand zu begründen (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft). Bereits existente, innovative Konzepte zur Auwaldbewirtschaftung werden dokumentiert (Best-Practice Beispiele). Diese fließen, wie auch die Recherche zu den Hauptbaumarten und Klimawandel, in die Formulierung von Waldentwicklungstypen für verschiedene Auestufen und Bestandsziele mit ein. Aus den gewonnen Ergebnissen wird ein Leitfaden zur Auwaldbewirtschaftung, sowie ein Indikatoren- und Monitoringkonzept erstellt.

Der Verbundpartner KIT war in diesem Projekt in erster Linie Koordinator, und hat einzelne Arbeitspakete zur Hintergrundrecherche bearbeitet sowie zum großen Teil den Leitfaden zur Auwaldbewirtschaftung erstellt. Ein Überblick über den zeitlichen Ablauf des Gesamtprojekts ist in Tabelle 1 dargestellt.

Da es sich um ein Verbundprojekt handelt, ist in dem vorliegenden Endbericht stellvertretenden für alle Verbundpartner sowohl der allgemeine Hintergrund als auch die zusammenfassende Synthese und Bewertung des Gesamtprojekts integriert.

Tabelle 1: Zeitlicher Ablauf des Projekts als Überblick über alle Verbundpartner. Detaillierte Zeitabläufe sind in den jeweiligen Einzelbeichten vorhanden.

				Förderungszeitraum												
				2018				2019				2020				2021
Block	AP	Arbeitsschritt	Verantwortlich	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1
I	1	Projektkoordination und Management	KIT-AI													
II	2	Maßnahmenumsetzung	LWF													
	3	Projektbegleitende Evaluierung der Maßnahmenumsetzung	LWF													
III	4	Flächenauswahl und Charakterisierung	KIT-AI													
	5	Erhebung und Analyse ökologischer Zustand & Naturschutzwert	UniFr-Veg.													
	6	Erhebung und Analyse Forstwirtschaft und Forstökonomie	UniFr-Waldbau, LWF trägt bei													
	7a	Erhebung und Analyse Bodenleben, Zersetzung	SMNG													
	7b	Klimawandel und seine Auswirkungen	KIT-AI													
IV	8	Bewertung ökologischer Zustand & Naturschutzwert	UniFr-Veg.													
	9	Bewertung Forstwirtschaft und Forstökonomie	UniFr-Waldbau													
	10	Bewertung Bodenleben, Zersetzung	SMNG													
V	11	Synthese der Bewertung	KIT-AI, alle tragen bei													
	12	Definition der Waldentwicklungstypen (WET)	UniFr-Waldbau													
	13	Indikatorensystem und Monitoringkonzept	UniFr-Veg., alle tragen bei													
	14	Umsetzungsleitfaden, Endbericht	KIT-AI, alle tragen bei													
			Treffen	T1				T2				T3				End-T

2. Stand der Technik

Hintergrund und Motivation des Gesamtprojekts

Ein Großteil der Auwälder in Deutschland werden forstlich genutzt. Das Baumartenspektrum für die Bewirtschaftung ist auf den hochproduktiven Auenstandorten seit jeher eingeschränkt, da nicht viele Arten überflutungstolerant und gleichzeitig wirtschaftlich interessant sind. Innerhalb der letzten Dekaden sind gleich mehrere Hauptbaumarten des Auwaldes durch Krankheiten wie dem Ulmensterben und Eschentriebsterben ausgefallen, wobei insbesondere das Eschentriebsterben in den letzten Jahren zu großflächigen Verlusten geführt. Auch sind in Zukunft Schäden an weiteren Baumarten, wie z. B. durch die Rußrindenkrankheit des Ahorns, absehbar. Die früher in den Auen propagierten Monokulturen aus Hybridpappeln müssen umgebaut werden, da sie oft wirtschaftlich nicht mehr rentabel sind und naturschutzfachlich stark in der Kritik stehen. Gleichzeitig werden vermehrt Flächen für den Prozessschutz im Wald aus der Nutzung genommen und es entstehen durch Deichrückverlegungen neue Aueflächen für die Wiederbewaldung. In Folge des

Klimawandels werden die Funktionen des Auwalds als Kohlenstoffsenke und Retentionsraum bei Hochwasser in Zukunft noch wichtiger, gleichzeitig wächst die Unsicherheit bezüglich zukünftiger „klimafitter“ Baumarten. Somit stellt sich die Frage ob und wie Auwälder in Zukunft bewirtschaftet werden sollen.

Besonderheiten von Auwäldern- Diversität

Auwälder sind Waldgesellschaften, die durch eine hohe Morpho- Überschwemmungs- und Grundwasserdynamik geprägt sind. Durch die Dynamik der Flüsse befinden sich in der Aue auf engstem Raum aquatische bis terrestrische Lebensräume, deren räumlich und zeitliche Verteilung sich durch Erosion und Anlandung ständig ändert. Für den Mittellauf der Flüsse ist eine typische laterale Zonierung die Regel, welche mit dem Abstand zum Fluss und dem Überflutungseinfluss bzw. der Geländehöhe korreliert. An die flussbegleitenden Uferpionierstandorte folgen ufernahe Röhrichte, welche eng verzahnt mit Weidengebüsche sind. Auf diese folgen Weichholzauenwäldern mit baumförmigen Weiden und verschiedenen Pappelarten. Auf den höchsten und ältesten Standorten befinden sich Hartholzauenwälder. In den oftmals vermoorten Randsenken finden sich dauernasse Standorte, in denen von Natur aus Schwarzerlen, Traubenkirschen, Eschen und andere Baumarten waldbildend sind. Naturnahe Auen zählen zu den arten- und strukturreichsten Ökosystemen (Naiman et al. 2006). Ihre Biodiversität ist höher als in jedem anderen mitteleuropäischen Waldtyp (Kühne, Röhrig & Bartsch 2005). Mitunter sind dies die letzten Rückzugsräume für ursprünglich weit verbreitete Arten und damit wichtige Refugien für den Erhalt der Biodiversität, sowohl im Sinne der Habitatvielfalt, als auch der Artenvielfalt und der genetischen Variabilität (Hering et al. 2018).

Rund 2/3 der ursprünglichen Überflutungsaue in Deutschland, und mancherorts noch weit mehr, sind durch wasserbauliche Maßnahmen verloren gegangen (BMU & BFN 2009, Brunotte et al. 2009). Auwälder wurden in der Vergangenheit großflächig gerodet und beschränken sich heute vielerorts auf schmale, gewässerbegleitende Säume. So liegen heute ca. 61 000 ha Waldfläche in der rezenten Flussaue (Brunotte et al. 2009), dies entspricht ca. 0,5% der Gesamtwaldfläche von Deutschland. Viele Auwaldflächen sind forstlich überprägt, was im Falle einer naturfernen Bewirtschaftung negative Konsequenzen für die auentypische Biodiversität hat. Weitere Probleme sind die Fragmentierung der verbliebenen Auwaldflächen, wodurch ein Austausch zwischen Populationen erschwert wird, die fehlende Morphodynamik der begradigten Flüsse und die daraus resultierende permanente Anlandung, sowie die Einwanderung invasiver Neobiota, welche auf den anthropogen oder natürlich gestörten Standorten entlang des Wasserweges gute Ausbreitungsbedingungen vorfinden. All dies führte zu einer starken Gefährdung bis hin zum völligen Verschwinden einer Vielzahl auenspezifischer Arten (Egger et al. 2018, Riecken et al. 2006, 2010, Haupt et al. 2009, Ellwagner et al. 2012), weshalb Auen zu den am stärksten bedrohten Lebensräumen Deutschlands gehören und oftmals einen mehrfachen Schutzstatus aufweisen (Europaschutzgebiete nach der FFH- und Vogelschutzrichtlinie, Naturschutzgebiet) (Scholz et al. 2018).

Besonderheiten von Auwäldern- Waldbau

Die Bewirtschaftung von Auwäldern weist waldbauliche Besonderheiten auf, die sie vom Waldmanagement in anderen Waldtypen unterscheidet. In Auwäldern reduzieren saisonal hohe, mehr oder weniger langanhaltende Wasserstände aber auch Trockenphasen bei Niedrigwasser das Spektrum an standortsgeeigneten und zugleich ökonomisch interessanten Baumarten. Bei Vorkommen von Bibern, die bestimmte Baumarten als Fress- und Baumaterial bevorzugen (Allgöwer 2005), kann sich die Auswahl besonders in Gewässernähe zusätzlich verringern. Bei ein und derselben Baumart wiederum kann es auf kleiner Fläche zu deutlichen Wuchsunterschieden kommen, denn durch die Sedimentations- und sehr lokal auch Erosionsprozesse in der Aue besteht häufig ein kleinflächiges Mosaik an unterschiedlichen Standortsbedingungen (Kälble 1988; Ellenberg & Leuschner 2010). In frischen Bereichen der Aue sind die Wuchsbonitäten standortsgeeigneter Baumarten zumeist sehr hoch, können auf trockeneren Kiesrücken oder ständig vernässten Stellen jedoch deutlich absinken (Hepfer 2014).

Die Bestandesregeneration über Naturverjüngung ist in den tiefer gelegenen Auestufen wie der unteren Hartholzaue nur bei wirtschaftlich uninteressanten Baumarten wie der Silberweide oder der Silberpappel möglich (Tiefenbacher 2017). Wirtschaftlich interessante Baumarten müssen dort zumeist über Pflanzung eingebracht werden. Dagegen ist in den höher gelegenen Bereichen wie der mittleren oder hohen Hartholzaue ein Arbeiten mit Naturverjüngung prinzipiell möglich (Kühne 2004). Erschwert wird die natürliche und künstliche Verjüngung durch die überdurchschnittlich hohen Wildstände in Auwäldern (Patz et al. 2000). Wildzäune werden vom Hochwasser zerstört, deshalb werden Jungbäume oft mit Einzelschutz umgeben, der nach einem Hochwasserereignis wiederaufgerichtet werden muss. Zudem bieten die fruchtbaren Auestandorte der Konkurrenzvegetation des Unterwuchses, aber auch neophytischen Baumarten (Liess 2013; Vor et al. 2015; Zsak et al. 2015) ideale Wachstumsbedingungen. Daher müssen die Zielbaumarten in den ersten Jahren aufwändig herausgepflegt werden (Weinfurter 2013). Als Pflanzmaterial dienen zur Verringerung des Pflegeaufwands häufig teure Großpflanzen (Burschel & Huss, 2003). In vielen Auwaldbetrieben werden deutlich niedrigere Produktionszeiten als in anderen Forstbetrieben anvisiert und erhöhte Begründungskosten inklusive Pflegeaufwand in Kauf genommen. Durch den mehrfachen Schutzstatus vieler Auwälder muss die waldbauliche Vorgehensweise auch den verordneten Rahmenbedingungen angepasst werden.

Klimawandel und Auwald in Zukunft

Wie für alle Wälder, wird auch im Auwald mit negativen Auswirkungen des Klimawandels gerechnet. Es sind die sich ändernde Standortbedingungen, z. B. durch eine Häufung von Extremereignissen (Trockenperioden, Spätfröste, Stürme, Starkregen) und günstigere klimatische Bedingungen für die Vermehrung von Waldschädlingen (IPCC 2014). In direkter Auswirkung auf den Hartholz-Auwald werden sich die Vegetationsperiode verlängern, zunehmende Hitzeperioden im Sommer bei immer noch wirksamen Kälteeinbrüchen im Winter das Klima prägen, die klimatische Wasserbilanz wird sich verändern und damit die Sommertrockenheit und den Winterniederschlag erhöhen (KLIWA 2006, KLIWAS 2014, Feldmann et al. 2010), sowie die Gefahr von Spät- und Frühfrost wird sich vergrößern (Liu et al. 2018). Wahrscheinlich gravierender werden sich die indirekten Auswirkungen durch das veränderte Überflutungsregime der Flüsse auswirken. In den durch Alpenzuflüsse geprägten Strömen Rhein und Donau werden sich die Hochwasserzeiträume zum Spätwinter- und Frühjahr hin verlagern, an der Donau wird sich der Niedrigwasserabfluss deutlich verringern (KLIWAS 2015). Für den Auwald der Zukunft könnten diese Veränderungen zur Einwanderung submediterraner oder südosteuropäischer Arten führen, z.B. die Schmalblättrige Esche entlang der Donau, sowie eine Zunahme neophytischer Baumarten. Für die Waldbewirtschaftung soll dieser Unsicherheit bezüglich des Klimawandels mit dem Fokus auf Mischbeständen zur Risikostreuung und struktureller Vielfalt begegnet werden (UBA 2015). Jedoch ist die Ausgangssituation im Auwald besonders schwierig, da bereits mehrere, bis vor kurzem bewährte wirtschaftliche Hautbaumarten ausgeschieden sind. In besonderen Fällen kann es deshalb erforderlich sein, zusätzlich nicht gebietsheimische, gut erprobte Baumarten mit klimagerechten Herkünften in diese Mischung einzubringen.

In der Folge des Klimawandels wird dem Auwald eine noch größere Bedeutung zukommen, einerseits als Retentionsraum und anderseits als Kohlenstoffsenke. Durch gehäufte Starkregenereignisse werden in Zukunft auch vermehrt Hochwassersituationen erwartet, und eine Vergrößerung des natürlichen Rückhalteraums wird dadurch dringender. Die Kohlenstoffvorräte in Auen sind deutlich größer als in terrestrischen Ökosystemen (Cierjacks et al. 2011, Scholz et al. (Hrsg.) 2012), daher bieten bestehende, renaturierte oder wiederbegründete Auwälder das Potenzial zur Kohlenstoffspeicherung. Dieses Speicherpotenzial gilt es durch geeignete Waldbausysteme oder auch mittels Stilllegungsflächen zu erhalten. Ferner bieten Auwälder weitere Ökosystem-Dienstleistungen wie Naherholung, Landschaftsbild und Ästhetik (Wantzen et al. 2016), Regulierung und Reinhaltung von Wasser (Klapproth & Johnson 2009), Aufnahme von Nährstoffen (Lowrance et al. 1984), Schutz gegen Bodenerosion bei Hochwasser, Klimaausgleich und Luftreinhaltung (Scholz et al. (Hrsg.) 2012). Um diese Funktionen zu erfüllen, braucht die Aue Platz: Ein enormes Potenzial könnten Wasserstraßenabschnitte bieten, die im Zuge der Reform der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung nicht mehr für den Gütertransport gebraucht werden (Bundesprogramm Blaues Band, BMUB & BfN 2015), sowie Flächen, die durch Deichrückverlegungen wieder an die Flussdynamik angebunden werden.

Sowohl Bayern als auch Baden-Württemberg haben Strategien zur Anpassung ihrer Wälder an den Klimawandel formuliert. Die Grundideen sind hierbei bei beiden Ländern ähnlich: das Hauptziel sind zukunftsfähige, klimarobuste Mischwälder, in der standortgemäße Baumarten benutzt werden und die Artenzusammensetzung optimiert wird. Waldbauliche Maßnahmen sollen klimabedingte Risiken Verringern, es soll vermehrt Naturverjüngung genutzt werden, und vorzugsweise Dauerbewirtschaftung angestrebt werden. Ökosystemverträgliche Beimischungen von Gastbaumarten können in manchen Beständen von Vorteil sein. Konkret für den Auwald stehen Erhalt oder Erweiterung der Überschwemmungsfläche, der morphodynamischen Prozesse und der Funktion als natürliche Kohlenstoffsenke im Vordergrund. Des Weiteren sollen Waldbesitzer fachliche Beratung und gegebenenfalls finanzielle Unterstützung in Anspruch nehmen können, sowie Forschung zum Thema Wald und Klimawandel gefördert werden (Forst BW 2014, 2019, Ministerium für Umwelt, Klima Und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2015, StMUGV 2015, StUMV 2016, 2019).

Damit Auwälder auch in Zukunft diese vielfältigen Leistungen erbringen können, bedarf es auenspezifischer Daten und Wissens, wie Bewirtschaftungstypen (inklusive Prozessschutz) ökologisch, ökonomisch und vor dem Hintergrund des Klimawandels zu bewerten sind, als auch praktischer forstliche Anbauversuche. Hierzu wurden während des Projekts die den oben genannten Untersuchungen von den Verbundpartnern durchgeführt.

Der Stand der Forschung für die Themen der einzelnen Verbundpartner sowie Vergleiche mit ähnlichen abgeschlossenen oder laufenden Projekten werden jeweils von den Einzelberichten abgedeckt.

Literatur zu Punkt 2:

Allgöwer, R. (2005): Der Biber, Castor Fiber. S.181-189; In: Braun, M. & Dieterlen, F. [Hrsg.]. 2005: Die Säugetiere Baden-Württembergs. Band 2, Verlag Eu-gen Ulmer Stuttgart, Hohenheim, 704 S.

Bundesministerium Für Umwelt, Naturschutz Und Reaktorsicherheit (BMU) & Bundesamt Für Naturschutz (BFN) (Hrsg.) (2009): Auenzustandsbericht – Flussauen in Deutschland. – Berlin, Bonn, 35 S.

Brunotte, E., Dister, E., Günther-Diringer, D., Koenzen, U. & Mehl, D. (2009): Flussauen in Deutschland – Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. – Münster (Landwirtschaftsverlag). – Naturschutz und Biologische Vielfalt 87, 244 S.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) & Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hrsg.) 2015: Den Flüssen mehr Raum geben. Renaturierung von Auen in Deutschland. 60 S.

Burschel, P; HUSS, J. (2003): Grundriss des Waldbaus: Ein Leitfaden für Studium und Praxis. 3. Auflage; Ulmer Verlag, 487 S.

Cierjacks, A., Kleinschmit, B., Kowarik, I., Graf, M., & Lang, F. (2011): Organic matter distribution in floodplains can be predicted using spatial and vegetation structure data. River research and applications, 27(8), 1048-1057.

Egger, G., Werling, M., Januschke, K. & Scholz, M. (2018): Schlussfolgerungen. In: SCHNEIDER et al. (Hrsg): Biodiversität der Flussauen Deutschlands, Bundesamt für Naturschutz (BfN), Naturschutz und Biologische Vielfalt. Bonn-Bad Godesberg S. 412-423.

Ellenberg, H., Leuschner, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 6. vollständ. neu bearb. und stark erw. Auflage: 1334 Seiten. Ulmer Verlag. Stuttgart.

Ellwanger, G., Finck, P., Riecken, U. & Schröder, E. (2012): Gefährdungssituation von Lebensräumen und Arten der Gewässer und Auen in Deutschland. – Natur und Landschaft 87 (4): 150-155.

Feldmann, H., Früh, B., Kottmeier, C., Panitz, H.-J. & Schädler, G. (2010): Hochauflösende regionale Simulationen künftiger Starkniederschlagsereignisse in Baden-Württemberg (ReSiPrec). Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg. Karlsruhe, 72 S.

Forst BW -Landesbetrieb Forst Baden-Württemberg (2014): Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen. Forst BW Praxis; 118 S.

Forst BW - Landesbetrieb Forst Baden-Württemberg (2019): Notfallplan für den Wald in Baden-Württemberg. 4 S.

Haupt, H., Ludwig, G., Gruttke, H., Binot-Hafke, M., Otto, C. & Pauly, A. (2009): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Band 1: Wirbeltiere. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (1), 380 S.

Hepfer, G. (2014): Waldbauliche Folgerungen des Eschentriebsterbens auf die Rheinauewälder der Gemeinde Neuried. FVA-Einblick 2/2014; S.21-24

Hering D., Januschke K., Ledesma-Krist G., Scholz M., Stammel B. (2018): Hintergrund und Zielsetzung. In: SCHNEIDER et al.: Biodiversität der Flussauen Deutschlands, Bundesamt für Naturschutz (BfN), Naturschutz und Biologische Vielfalt. Bonn-Bad Godesberg S. 21-24.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2014): Summary for Policymakers. In: IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Deutsche Übersetzung der Deutschen IPCC-Koordinierungsstelle, Dezember 2015.

Kälble, F. (1988): Schutz und Pflege der Auenwälder im Oberrheingebiet. In Dister, E.; Kälble, F.; Sielmann, H.: Die Auenwälder; Wilhelm-Münker-Stiftung Heft 19; S.31-51

Klapproth JC, Johnson JE (2009): Understanding The Science Behind Riparian Forest Buffers: Effects On Water Quality. - Virginia Cooperative Extension reviews, 19 pp.

KLIWAS 2014-- Mosner, E. & Horchler, P. (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation der Flussauen. Schlussbericht KLIWAS-Projekt 5.06. KLIWAS-53/2014. Koblenz, 67 S. & Anhang [im Text als KLIWAS 2014]

KLIWAS 2015-- Fischer, H., Gratzki, A., Heinrich, H., Kofalk, S., Mai, S., Maurer, T., Mehling, A., Moser, H., Schröder, M., Schubert, B., Wienhaus, S. & Winkel, N. (2015): Abschlussbericht des BMVI- Fachliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen des Forschungsprogramms KLIWAS. Reihe: KLIWAS- Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Bonn, 111 S. [im Text als KLIWAS 2015]

KLIWA 2006—Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland - Abschätzung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. KLIWA Bericht Heft 9, LUBW, & LFU, Karlsruhe, 100 S. [im Text als KLIWA 2006]

Kühne, C., 2004. Verjüngung der Stieleiche (Quercus robur L.) in oberrheinischen Auenwäldern. (Doctoral dissertation).

Kühne, C., Röhrig, E. & Bartsch, N. (2005): Empfehlungen für die waldbauliche Behandlung der Auenwälder am Oberrhein. In: Waldbauliche Behandlung der Auenwälder am Oberrhein unter besonderer Berücksichtigung der Stieleiche (Quercus robur L.). Sauerländer. S.4-6.

Liess, N. (2013): Der Baum des Himmels? Ailanthus altissima. Wissenschaftliche Reihe Nationalpark Donau-Auen, Heft 30; 130 S.

Liu Q, Piao S, Janssens IA et al (2018) Extension of the growing season increases vegetation exposure to frost..Nature Communications 9:426 (https://doi.org/10.1038/s41467-017-02690-y).

Lowrance R, Todd R, Fail J Jr, Hendrickson O Jr., Leonard R, Asmussen L (1984): Riparian Forests as Nutrient Filters in Agricultural Watersheds. – Bioscience 34: 374-377.

Ministerium für Umwelt, Klima Und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2015): Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg. Vulnerabilitäten und Anpassungsmaßnahmen in relevanten Handlungsfeldern. 178 S.

Naiman, R.J., Bechthold, J.S., Drake, D.C., Latterell, J.J., O'k Eefe, T.C. & Balian, E.V. (2006): Origins, Patterns, And Importance Of Heterogeneity In Riparian Systems. – In: Lovett, G.M., Jones, C.G., Turner, M.G. & Weathers, K.C. (Hrsg.): Ecosystem Function in Heterogeneous Landscapes. – New York (Springer): 279-309.

Patz, G.; Löffler, S.; Kätzel, R. (2000): Möglichkeiten und Grenzen der Auwaldentwicklung am Beispiel von Naturschutzprojekten an der Unteren Mittelelbe. Verbundvorhaben „Auenregeneration durch Deichrückverlegung" Endbericht Teilprojekt 4: Forstwirtschaft; Online-Dokument aufgerufen am 27.2.2020: http://elise.bafg.de/servlet/is/3819/Endb_LAGS_Forst.pdf

Riecken, U., Finck, P., Raths, U., Schröder, E. & Ssymank, A. (2010): Ursachen der Gefährdung von Biotoptypen in Deutschland. – Natur und Landschaft 85 (5): 181-186.

Riecken, U., Finck, P., Raths, U., Schröder, E. & Ssymank, A. (2006): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands: zweite fortgeschriebene Fassung 2006. – Münster (Landwirtschaftsverlag). – Naturschutz und Biologische Vielfalt 34, 318 S.

Scholz, M., Mehl, D., Schulz-Zunkel, C., Kasperidus, H.D., Born, W. & Henle, K. (2012): Ökosystemfunktionen von Flussauen – Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion. – Münster (Landwirtschaftsverlag). – Naturschutz und Biologische Vielfalt 124, 258 S.

Scholz, M., Dister, E., Ehlert, T., Mehl, D., Schneider E., Foeckler F., Damm, C., Rumm, A., Krüger, F., Schulz-Zunkel, C., Egger, G., Werling, M. (2018): Nutzungen, Auenzustand und Renaturierung - Zustand der Auen in Deutschland. In: SCHNEIDER et al. 2018: Biodiversität der Flussauen Deutschlands, Bundesamt für Naturschutz (BfN), Naturschutz und Biologische Vielfalt. Bonn-Bad Godesberg, S. 79-118.

StMUGV --- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (**StMUGV**, Hrsg.) (2015): Klimaschutzprogramm Bayern 2050. 32 S.

StMUV -- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (**StMUV**, Hrsg.) (2016): Bayerische Klima-Anpassungsstrategie. 222 S.

StMUV -- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (**StMUV**) (2019): Anlage zur MRat-Vorlage des StMUV „Klimaschutzoffensive - Maßnahmenpaket" Langfassung. 10-Punkte-Plan. Stand: 18.11.2019. 94 S. Abrufbar unter: https://www.stmuv.bayern.de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz/doc/klimaschutzoffensive_lang.pdf

Tiefenbacher, H. (2017): Ulmenwelke, Eichen- und Eschentriebsterben – Ein Auwald-Drama, dritter Akt. BFW-Praxisinformation 43; S.22-26

Umweltbundesamt (**UBA**) (2015): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. 258 S.

Vor, T., Spellmann, H., Bolte, A. & Ammer, C. (Hrsg.) (2015): Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten: Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung. Göttinger Forstwissenschaften. Göttingen. 296 S. (doi:10.17875/gup2015-843)

Wantzen KM, Ballouche A, Longuet I, Bao I, Bocoum H, Cissé L, Chauhan M, Girard P, Gopal B, Kane A, Marchese Mr, Nautiyal P, Teixeira P, Zalewski M (2016): River Culture: an eco-social approach to mitigate the biological and cultural diversity crisis in riverscapes. - Ecohydrology & Hydrobiology 16: 7–18

Weinfurter, P. (2013): Waldbau in Österreich auf ökologischer Grundlage. Eine Orientierungshilfe für die Praxis. 1. Auflage; Landwirtschaftskammer Österreich (Hrsg.); 250 S.

Zsak, C.; Knoll, T.; Oitzinger, G. (2015): Endbericht zum Projektmanagement invasiver Neophyten im Nationalpark Donau-Auen. ARGE NeoPhyten. Online-Dokument: https://www.korina.info. Aufgerufen am 27.2.2020

3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt besteht aus 4 institutionellen Partnern und 5 Forstbetrieben als Partner:

- Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Geographie und Geoökologie, Aueninstitut (M. Roeder, G. Egger, E. Schneider), FKZ: 22WC4-110-01
- Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Standorts- und Vegetationskunde (S. Mailänder, A. Reif), FKZ: 22WC4-110-02
- Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Waldbau (R. Unseld), FKZ: 22WC4-110-02
- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (T. Dichtl, W. Stöger), FKZ: 22WC4-110-04
- Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz, Abteilung Bodenzoologie (S. Heynen, D. Russel), FKZ: 22WC4-110-03

Forstbetriebe:

- Stadt Rastatt (M. Koch)
- Forstrevier Auewald, Stadtverwaltung Bühl (M. Gerhard)
- Bayerische Staatsforsten Forstbetrieb Kaisheim (H. Weixler)
- Zweckverband Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum Genderkingen (S. Kolonko)
- Hessen Forst, Forstamt Groß-Gerau (R. Baumgärtel)

Darüber hinaus gab es während des Projektes Kontakt mit anderen Forstbetrieben, z.B. für die Best-Practice Beispiele, Exkursionen und während der Erstellung des Leitfadens. Desweiteren wurden für die Überflutungsdaten Wasserwirtschaftsämter in Baden Württemberg und Bayern kontaktiert, sowie Genehmigungen vom Regierungspräsidium Karlsruhe eingeholt.

II. Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

AP 1: Projektkoordination und Management

Die Koordination wurde fortwährend für die gesamte Projektlaufzeit vom KIT-Aueninstitut geleistet. Seit Förderungsbeginn beinhaltet dies das Organisieren mehreren Projektreffen aller Beteiligten sowie Treffen von Untergruppen zu einzelnen Themen. Es fanden Geländebegehungen in den vier teilnehmenden Forstbetrieben statt, sowie Exkursionen zu anderen Auwaldrevieren mit waldbaulichen Besonderheiten. Von allen Exkursionen und Treffen wurden Protokolle erstellt, die lokal im Aueninstitut abgelegt sind. Während der Phase der Maßnahmenumsetzung (Pflanzung der Bäume) im Frühjahr 2019 war vermehrte Kommunikation zwischen LWF, KIT und Förstern wichtig. Es wurden Genehmigungen für Betretung und Pflanzung im Naturschutzgebiet, Benutzung von Pegeldaten und digitaler Geländemodelle beantragt. Des Weiteren wurde die praktische Arbeit der Projektpartner Senckenberg (Bodenfauna, S. Heynen) und Uni Freiburg Vegetation (S. Mailänder) unterstützt, sowie die Messungen auf den Pflanzungsflächen der LWF (T. Dichtl).

Tabelle 2: Koordinierte Treffen

Treffen			
Datum	**Ort**	**Anzahl Teilnehmer**	**Thema**
9.3.2018	AI Rastatt	7	Kleines Starttreffen: Flächenauswahl, Design
12.4.2018	AI Rastatt	15	1. WKF Treffen: Vorstellung
25.9.2018	digital	5	Maßnahmenflächen: Versuchsdesign und Baumarten
6.2.2019	AI Rastatt	17	2. WKF Treffen: Fortschritt, Details Maßnahmen
5.3.2019	AI Rastatt	5	Zwischenergebnisse Dissertation S. Mailänder (Uni Freiburg, Vegetation)
5.12.2019	AI Rastatt	5	Leitfaden: Struktur & Ziel
4.2.2020	AI Rastatt	14	3. WKF Treffen: Endbericht, Leitfaden, Maßnahmen
11.11.2020	digital	10	Endbericht
28.1.2021	digital	ca. 30	Abschlussveranstaltung
18.2.2021	digital	7	Zukunft Maßnahmenflächen des Projekts
Exkursionen			
16.-19.4.2018	Rhein & Donau	13	Flächenauswahl & Auwaldgebiete allgemein
11.7.2018	Rastatt	7	Flächenauswahl Maßnahmen
1.8.2018	Bühl	5	Flächenauswahl Maßnahmen
22.12.2018	Kühkopf	17	30 Jahre Prozessschutz im Auwald
*27.9.2019	Bühl	ca. 20	Waldbegehung der Stadt Bühl, Vorstellung der Maßnahmenflächen durch M. Roeder
14.&15.10.2019	Rhein & Donau	17	Anpflanzung auf den Maßnahmenflächen nach erster Saison
*10.2019	Grafenegg	10	Altersklassenwald, Reihenpflanzung 12m Abstand und Sukzession dazwischen, 30 Jahre Umtrieb
3.2.2020	Leopolds-hafen	7	Platane im Auwald
*30.7.2020	Au am Rhein	ca. 20	Pappel im Auwald (Exkursion der Uni Freiburg, Waldbau)
23.9.2020	Rastatt	9	30 Jahre WWF Versuchsflächen, Pappelumbau mit Eiche, Wildobst, Ulme, Eichenverjüngung

* nur Teilnahme M. Roeder, wurde von anderen Projektpartnern organisiert

AP 4: Charakterisierung der Untersuchungsgebiete und Flächenauswahl

Für das Projekt wurden fünf Auwaldgebiete in Deutschland untersucht. Dabei handelt es sich bei vier Gebieten um bewirtschaftete Auwälder und ein Gebiet wurde als Referenzfläche für einen naturnahen Auwald herangezogen wurde, der mehrere Jahrzehnte nicht bewirtschaftet wurde. Alle Untersuchungsgebiete liegen in Süddeutschland, und werden von Flüssen mit unterschiedlicher Hydro- und Morphodynamik sowie durch hohe Grundwasserstände geprägte Gebiete beeinflusst: Die Rastatter Rheinaue und der Kühkopf liegen am Oberrhein, das Untersuchungsgebiet Bühl in der Kinzig-Murg-Rinne, ein Urstromtal parallel zum Rhein, die Untersuchungsgebiete Genderkingen und Kaisheim (Marxheim) an der Donau, mit Einfluss des dort einmündenden Lechs. Die beiden Gebiete an der Donau gehen ineinander über und sind ein zusammenhängender Auwald, jedoch gehöre sie zu unterschiedlichen Forsteinrichtungen (Forstamt Kaisheim, Bayrisch Staatsforsten, und Zweckverband Wasserversorgung fränkischer Wirtschaftsraum, Genderkingen) und werden hier separat beschrieben.

Eine ausführliche Beschreibung zu jedem Gebiet bezüglich Klima, Geologie, Hydrologie, Verbauungsgeschichte, Vegetation, Fauna und Landnutzung wurde während der Projektzeit angefertigt und liegt als separates Dokument vor (Roeder et al, 2019, unveröffentl.).

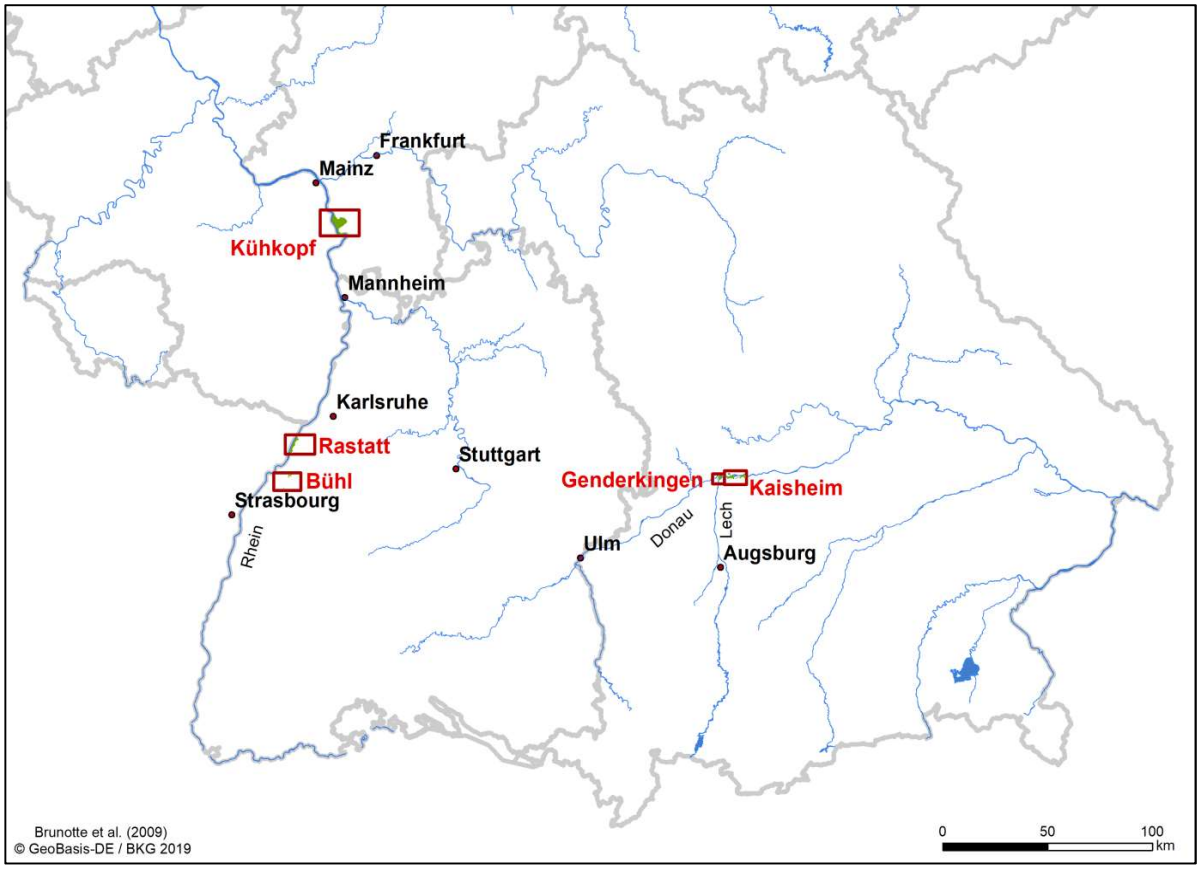


Abbildung 1: Lage der fünf Untersuchungsgebiete (UG) im Überblick (rote Kästchen). Neben jedem UG Kästen steht jeweils deren Bezeichnung in rot.

Untersuchungsgebiet Rastatter Rheinaue

Der Folgetext wurde abgeändert aus Egger et al. 2017 übernommen.

Die Rastatter Rheinaue liegt unmittelbar unterstrom der Staustufe Iffezheim zwischen Stromkilometer 335,7 und 344,4. Sie zählt zu den letzten großflächigen Auengebieten in Deutschland, die dem Rhythmus von Überflutung und Trockenfallen unterliegen. Dennoch haben sich durch die Rheinkorrektur, den modernen Rheinausbau und sonstige wasserbauliche Eingriffe (Wegebau in der Aue, Rohrlegungen), sowohl die Strömungsverhältnisse als auch vor allem die morphodynamischen Prozesse von Abtrag und Anlandung in der Rastatter Rheinaue deutlich verändert (Dister 1985a).

Durch ihre Anbindung an das Überflutungsgeschehen des Rheins, die vorhandene Überflutungs- und Grundwasserdynamik und die dadurch erhalten gebliebene Vielfalt an aquatischen und terrestrischen Lebensräumen mit naturnahem Charakter, zeichnet sich die Rastatter Rheinaue durch eine hohe Vielfalt auentypischer Pflanzen-, Tierarten und Lebensräumen aus, die ihr einen besonderen ökologischen und naturschutzfachlichen Wert verleihen (Schneider et al. 2018a). Dadurch ist die Rastatter Rheinaue nicht nur aus Sicht des Naturschutzes von Bedeutung, sondern sie ist auch ein beliebtes Naherholungsgebiet für den Raum Rastatt und Karlsruhe.

Einen hohen Wert besitzt sie auch als Hochwasserretentionsraum. Eigene Untersuchungen des WWF-Auen-Institutes (unveröff.) zeigen eine erhebliche Wirkung beim Wasserrückhalt während Hochwassersituationen am Oberrhein. Das durch den Oberrheinausbau mit den Staustufen zwischen Basel und Iffezheim für die Unterlieger deutlich verschärfte Hochwasserrisiko (Dister 1986), wird durch die Retentionswirkung und Laufzeitverzögerung in der Rastatter Rheinaue deutlich entschärft, was für das unterstrom liegende Ballungsgebiet Karlsruhe von großer Bedeutung ist (Dister & Henrichfreise 2009).

Ebenso sind die Rheinauen wichtige Gebiete für die Gewinnung von Trinkwasser. Seit 1977 werden rund 70 % des Trinkwasserbedarfs der Gemeinde Rastatt über drei Brunnen bei Ottersdorf im Rastatter Ried, d.h. der Altaue, außerhalb des Untersuchungsgebietes abgedeckt.

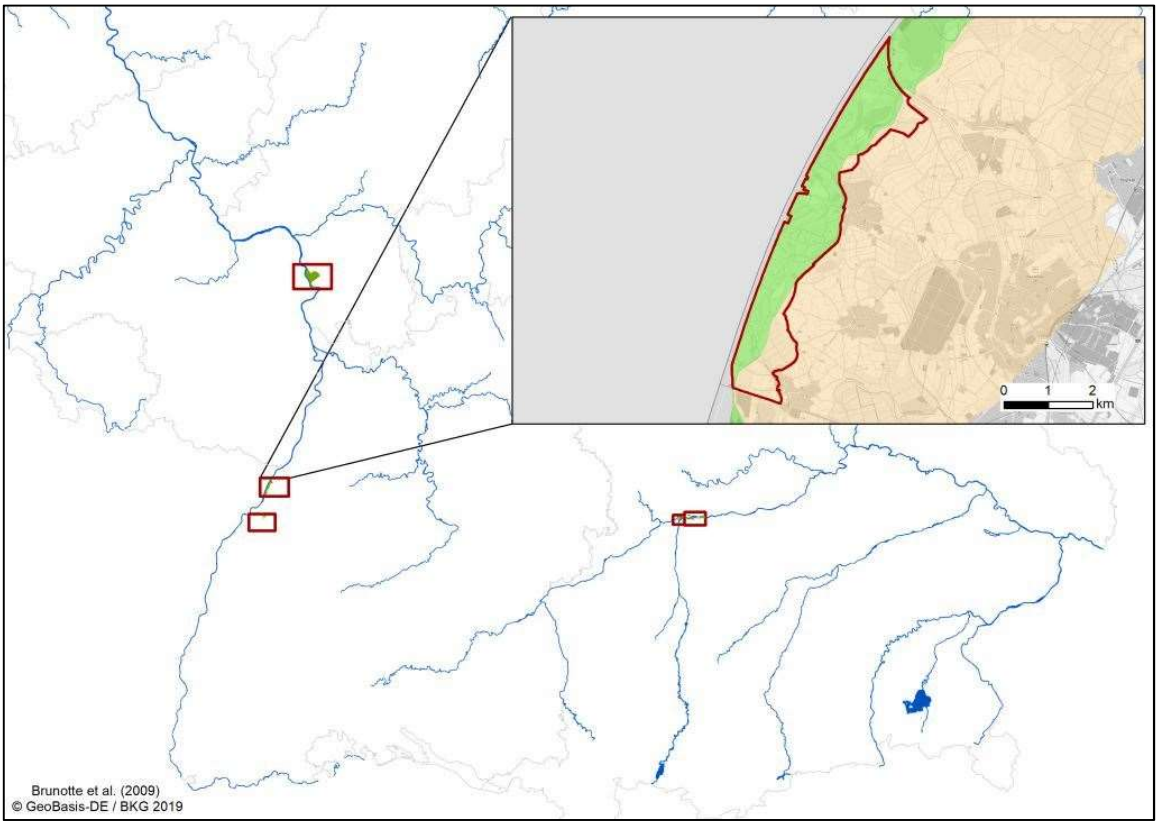


Abbildung 2: Lage des Untersuchungsgebietes (UG) im Überblick, die roten Kästen markieren alle fünf UGs des Projektes. Eingeblendet ist die Lage der Rastatter Rheinaue, umrandet durch rote Linie. Der grün markierte Bereich entspricht der Fläche der rezenten Überflutungsflächen, ehemalige Überflutungsflächen sind orange markiert.

Untersuchungsgebiet Bühl (Kinzig-Murg-Rinne)

Die untersuchten Waldgebiete bei Bühl liegen in der Kinzig-Murg-Rinne, ein ehemaliges Flusssystem am Ostrand des Oberrheingrabens, nördlich von Straßburg, südlich von Baden-Baden. Der Standort ist durch stehendes Wasser, geringe Höhenunterschiede, sowie basenarme Gley- und anmoorige Böden geprägt.

Zum Gewinn landwirtschaftlicher Fläche, als auch zum Hochwasserschutz wurde das Gebiet über 200 Jahre hinweg durch ein dichtes Netz an Gräben flächenhaft entwässert, es wurden Rückhaltebecken gebaut und Fließgewässerbegradigungen durchgeführt (Hug et al. 1994). Daher gibt es heute keine regelmäßigen Überschwemmungen mehr, aber das hochstehende Grundwasser führt zu dauernassen Standorten, die von Natur aus von Erlen-(Bruch-) und Traubenkirschen-Eschenwald eingenommen wären. Zudem wird in dieser Studie auch eine Fläche im Hochwasserrückhaltebecken Waldhägenich untersucht, welches mehrmals pro Jahr eingestaut wird.

Die Gegend ist heute stark durch Ackerwirtschaft geprägt. Daher bestehen die Waldgebiete in der Rinne aus größeren bis kleineren Fragmenten. Die Erlenbruchwälder auf dem sumpfigen Grund als auch die Erlen-Eschenwälder sind Lebensstätte zahlreicher Tier- und Pflanzenarten, welche auf feuchten Lebensraum angewiesen sind. Besonders charakteristisch für die Kinzig-Murg-Rinne ist das Mosaik aus extensiven Feuchtwiesen und Wäldern, die heute noch im Landschaftsschutzgebiet Waldhägenich erhalten sind. In der sonst eher offenen Landschaft bieten die Waldstücke beliebte Ziele zur Naherholung im Siedlungsraum Bühl.

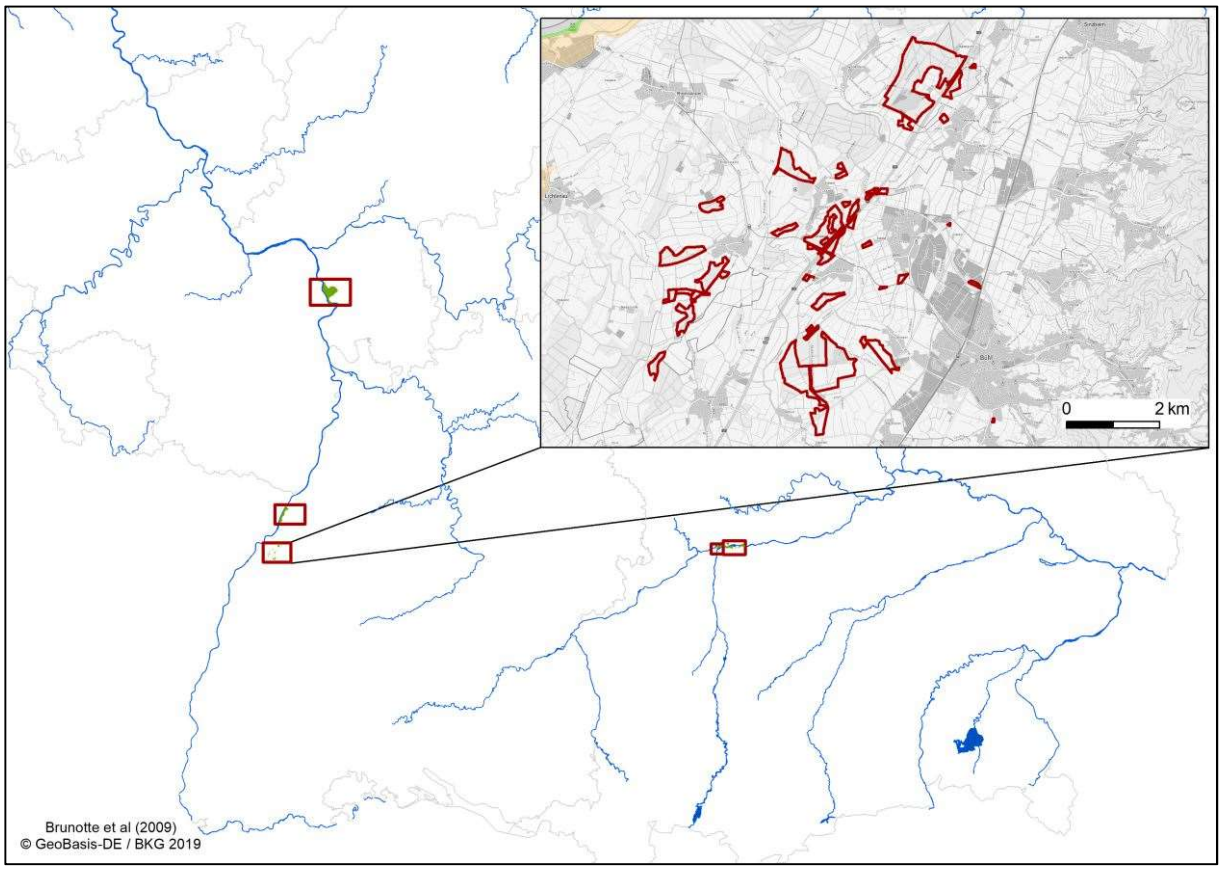


Abbildung 3: Lage des Untersuchungsgebietes (UG) Bühl im Überblick, die roten Kästen markieren alle fünf UGs des Projektes. Eingeblendet ist die Lage der Waldfragmente (rot umrandet) in der Kinzig-Murg-Rinne bei Bühl. Der grün markierte Bereich entspricht der Fläche der rezenten Überflutungsflächen, ehemalige Überflutungsflächen sind orange markiert, in diesem Fall ist die Rheinaue außerhalb des UGs.

Untersuchungsgebiet Kühkopf-Knoblochsaue

Das Gebiet liegt etwa 40 km flussabwärts von Worms, zwischen Gernsheim und Oppenheim (Rhein-km 468 bis 478) im Bereich der Gemeinden Stockstadt und Riedstadt-Erfelden. Es wird durch die große Rheinschlinge („die Große Krümme“) mit sehr geringem Gefälle geprägt, welche an der nördlichen Grenze der Mäanderzone des Oberrheins liegt. Die Insel Kühkopf entstand 1828/29 nach dem am 30. April 1829 die Absperrungen des neugebauten Durchstichs bei der Rheininsel Geyer geöffnet wurden und das Wasser sich seinen neuen Weg bahnen konnte. Nach der Rheinkorrektur wurde neues Land gewonnen, dass mit Weiden bepflanzt werden konnte, ehemalige Überflutungsflächen fielen trocken und Feuchtwiesen konnten in Ackerland verwandelt werden, nachdem der Durchstich auch eine Verminderung der Sommerhochwässer und dadurch bessere Nutzungsmöglichkeiten bot. Durch die einsetzende Verlandung der Rheinschlinge wurden die Inseln im Gebiet mit dem Kühkopf oder gegenüberliegendem Festland verbunden. Der innere Teil des Kühkopfs, geschützt durch Sommerdeiche, wurde landwirtschaftlich extensiv genutzt.1961 kamen die Flächen in den Besitz des Landes Hessen und wurden dann durch Verpachtung intensiv landwirtschaftliche genutzt. Nach einem Deichbruch im Jahr 1983 wurde die intensive Landwirtschaft aufgegeben. Der Deich wurde nicht mehr geschlossen, so dass der innere Bereich des Kühkopfs seitdem wieder stärker an das Hochwasserregime des Rheins angeschlossen ist. Ein Teil des Ackerlands wurde nach 1983 durch gesteuerte Sukzession zu extensivem Grünland entwickelt, ein anderer wurde durch ungelenkte Sukzession der Wiederentwicklung zu Auwald bestimmt. Dadurch entstand ein großflächiges Renaturierungsexperiment, das immer wieder neue Aspekte aufwies. Seit 1952 besteht das Naturschutzgebiet „Kühkopf-Knoblochaue“, welches mit 2378 Hektar sowohl das größte Schutzgebiet Hessens und den größten naturnahen Auenkomplex am Oberrhein darstellt. Seit 1998 wurde die forstliche Nutzung eingestellt, seit 2005 steht der Wald unter Prozessschutz. Das Naturschutzgebiet fällt unter die FFH-Richtlinie und ist auch Bestandteil eines ca. 6.000 ha umfassenden europäischen Vogelschutzgebiets "Europareservat", da es eine große Diversität an Wasservögeln aufweist und ein wichtiger Rastplatz für Zugvögel ist. Es erfreut sich überregionale Bekanntheit bei Naturliebhabern und Erholungssuchenden. Auf dem Gebiet des Hofgutes Guntershausen wurde ein Infozentrum eingerichtet.

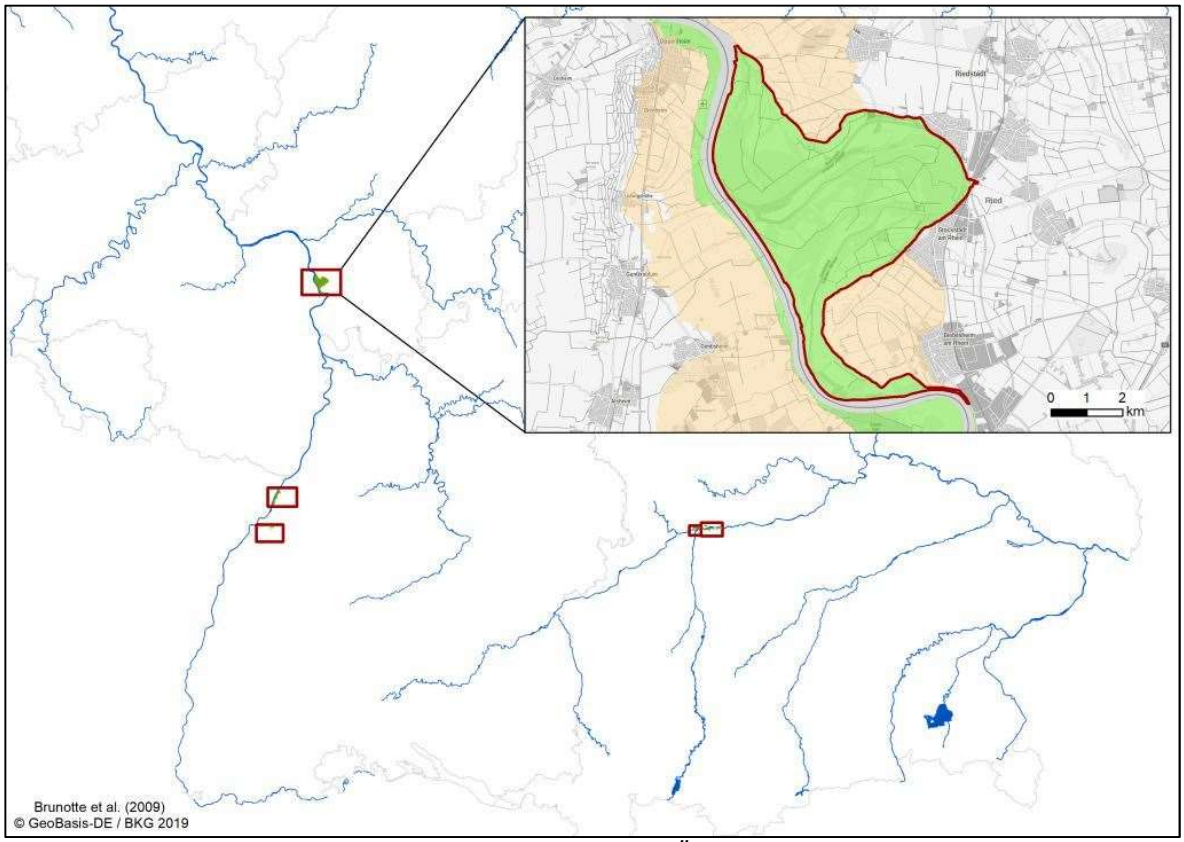


Abbildung 4: Lage des Untersuchungsgebietes (UG) im Überblick, die roten Kästen markieren alle fünf UGs des Projektes. Eingeblendet ist die Lage des Gebietes Kühkopf-Knoblochsaue. Der grün markierte Bereich entspricht der Fläche der rezenten Überflutungsflächen, ehemalige Überflutungsflächen sind orange markiert.

Untersuchungsgebiet Genderkingen

Das Untersuchungsgebiet Genderkingen liegt in dem Mündungsdreiecks von Lech und Donau, 40 km nördlich von Augsburg im Donautal. Die Donau wurde ab Mitte des 19. Jahrhunderts begradigt, der Lech wurde tiefgreifend nach 1910 verändert und in Deutschland durch eine Vielzahl von Staustufen durchgehend reguliert. Das Gebiet wurde früher durch Ablagerungen beider Flüsse geprägt, heute wird es im Wesentlichen nur noch von Überflutungen seitens der Donau beeinflusst, da der Lech durch hohe Dämme eingefasst ist.

Das Untersuchungsgebiet ist im Besitz des Zweckverbands Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum (WFW). Mit dem Erwerb des 565 ha großen Waldes im Mündungsdreieck durch den WFW 1975 steht der Trinkwasserschutz und -gewinnung an erster Stelle. Dadurch gibt es bei der Bewirtschaftung des Waldes strenge Vorgaben. Der Wald liegt im Wasserschutzgebiet und ist seit 2002 FSC/Naturland zertifiziert: Diese fordert standortheimische Baumarten, einzelstammweise Nutzung, Dauerwald mit plenterartigen Strukturen, waldverträgliche Schalenwilddichten, Verbot von Bioziden und Dünger und 10% des Waldes bleiben ungenutzt oder dienen dem Schutz von gefährdeten Biotopen. Die potentiell natürliche Vegetation des Gebietes wären Eschen-Ulmen Wälder. Die aktuelle Vegetation wird von Esche, Fichte und Bergahorn dominiert. Große Teile der Eschenbestände sind bereits vom Eschensterben gekennzeichnet (Kolonko, pers. Mitt.).

Mit dem Wiedereinzug des Bibers wurden durch dessen Aktivität ca. 30 ha aus der Nutzung genommen und 1/3 davon unter Wasser gesetzt. Die durch den Biber gefällten Pappeln wurden nicht ersetzt, stattdessen werden diese Bestände in den staunassen Bereichen der natürlichen Sukzession überlassen. Das Gebiet ist Teil des Natura 2000 Netzwerks und ein Ramsar-Schutzgebiet.

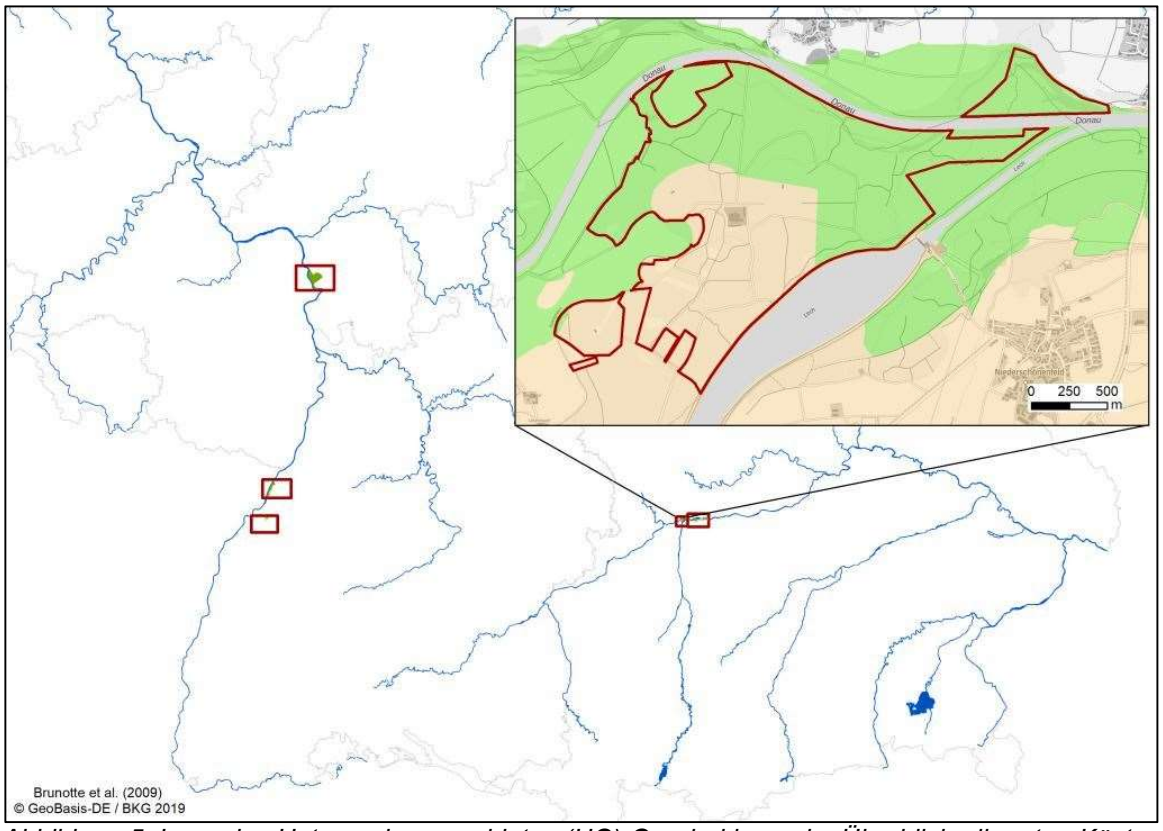


Abbildung 5: Lage des Untersuchungsgebietes (UG) Genderkingen im Überblick, die roten Kästen markieren alle fünf UGs des Projektes. Eingeblendet ist rot umrandet das UG Genderkingen, ein Wald im Besitz des WFW im Mündungsdreieck von Lech und Donau. Der grün markierte Bereich entspricht der Fläche der rezenten Überflutungsflächen, ehemalige Überflutungsflächen sind orange markiert.

Untersuchungsgebiet Kaisheim

Der überwiegende Teil des Auwalds des Forstbetriebes Kaisheim der Bayerischen Staatsforste (BAYSF) befindet sich nach der Lecheinmündung entlang der Donau, ca. 40 km nördlich von Augsburg im Donautal. Die Donau wurde ab Mitte des 19 Jahrhunderts begradigt und eingedeicht. Mehrere Staustufen und insbesondere die Staustufe Bertoldsheim direkt im Gebiet haben die Flussdynamik verändert. Hochwasser wird hier in einen Flutpolder eingeleitet. Bei Hochwasser tritt das Wasser der Donau durch mehrere Flutmulden in das Auwaldgebiet ein und wird über die Friedberger Ach unterhalb der Staustufe der Donau wieder zugeführt. Durch den Einfluss des Lechs hat die Donau im Gebiet ein nivales Abflussregime mit höchster Amplitude im Frühsommer.

Das Gebiet befindet sich im direkten Anschluss zu dem Wald des Zweckverbandes Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum (UG Genderkingen), und hat damit gleiche klimatische und ähnliche geologische Bedienungen. Die potentiell natürliche Vegetation des Gebietes wären Eschen-Ulmen Wälder. Heute besteht die Bestockung größtenteils aus Esche und Bergahorn, zu geringeren Teilen aus Pappel und Weide. Große Teile der Eschenbestände sind bereits vom Eschentriebsterben gekennzeichnet.

Das UG beinhaltet auch das ca. 43 ha große Naturwaldreservat Mooser Schütt, in dem keinerlei forstliche Nutzung mehr stattfindet. Außerdem wurden mehrere Flächen mit besonders hohem Bibervorkommen aus der regelmäßigen Nutzung genommen. Das gesamte Gebiet ist Teil des Natura 2000 Netzwerks.

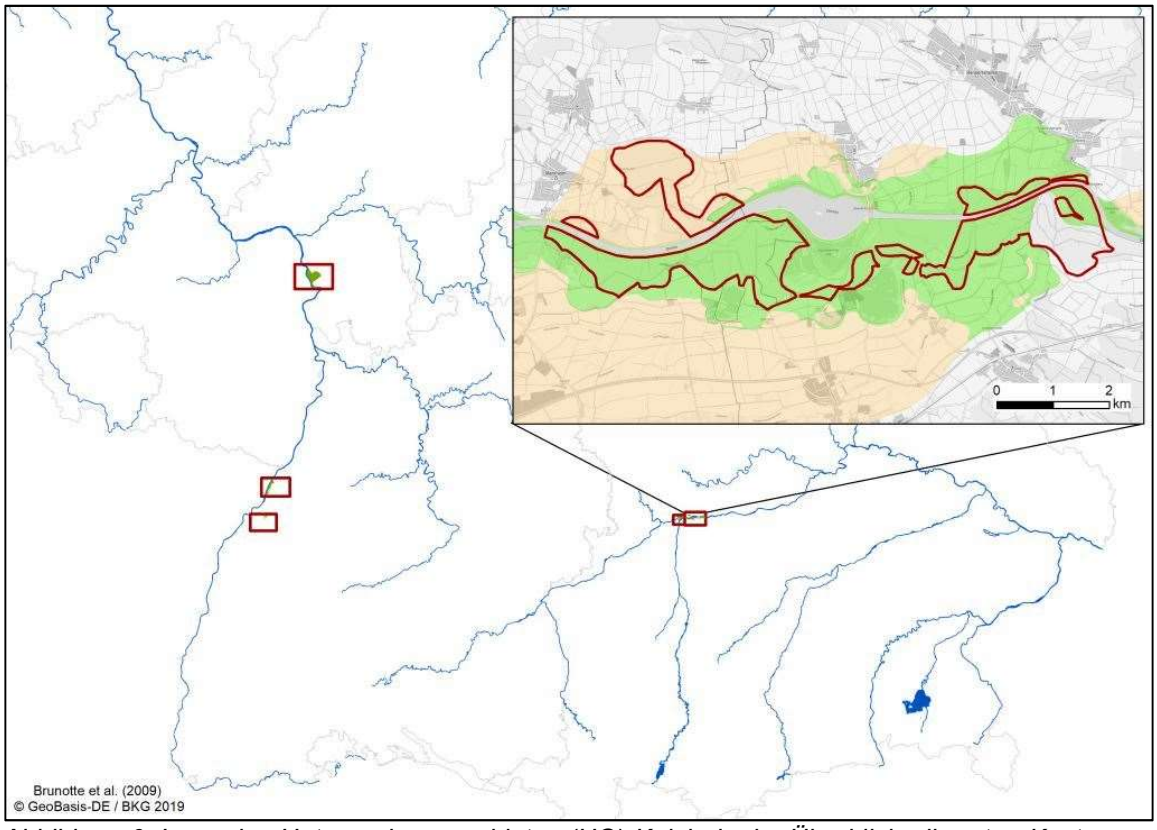


Abbildung 6: Lage des Untersuchungsgebietes (UG) Kaisheim im Überblick, die roten Kästen markieren alle fünf UGs des Projektes. Eingeblendet ist rot umrandet der Auwald bei Marxheim vom Forstbetrieb Kaisheim (BAYSF). Der grün markierte Bereich entspricht der Fläche der rezenten Überflutungsflächen, ehemalige Überflutungsflächen sind orange markiert.

Literatur zu AP 4:

Dister, E. (1985a): Zur Struktur und Dynamik alter Hartholzauenwälder (Querco- ulmetum lssl.24) am nördlichen Oberrhein. Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich **123**. S. 13–32.

Dister, E. (1986): Hochwasserschutzmaßnahmen am Oberrhein. Ökologische Probleme und Lösungsmöglichkeiten. Geowissenschaften in unserer Zeit **6**. S. 194–203. Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim

Dister, E. & Henrichfreise, A. (2009): Veränderungen des Wasserhaushalts und Konsequenzen für den Naturschutz. Natur und Landschaft **84**. (Heft 1). S. 26–31.

Egger, G., Harms, O., Schneider, E., Frietsch, J., Schiebel, M. & Reitze, F. (2017): Ökologische und waldbauliche Anpassungsstrategien an den Klimawandel zur langfristigen Sicherung der Auwaldökosysteme im NSG Rastatter Rheinaue. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. 254 S.

Hug, M., Schanowski, A. & Späth, V. (1994): Konzeption natur-und landschaftsschutzwürdiger Gebiete der Kinzig-Murg-Rinne im Regierungsbezirk Karlsruhe. Umweltministerium Baden-Württemberg und Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg), Karlsruhe. 115 S.

Roeder, M., Egger, G., Gerstner, L., Schneider, E., Becker, D. (2019): Gebietsbeschreibungen der Untersuchungsgebiete des Projekts „Auwald im Klimawandel“ (unveröffentlicht).

Schneider, E., Werling, M. Stammel, B., Januschke, K., Ledesma-Krist, G., Scholz, M., Gelhaus, M., Dister, E. & Egger, G. (Hrsg), (2018): Biodiversität der Flussauen Deutschlands. Reihe: Naturschutz und Biologische Vielfalt, 163, Bundesamt für Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg. 498 S. & Karte.

AP 7a: Klimawandel und seine Auswirkungen

Der Klimawandel wird sich ab der zweiten Hälfte des 21. Jhd. besonders stark auf die Waldökosysteme auswirken und es bestehen darum zunehmend Planungsunsicherheiten (UBA 2015). Häufung von Extremereignissen (Trockenperioden, Spätfröste, Stürme, Starkregen, Hochwasser), jahreszeitliche Verschiebungen der Niederschläge und günstigere Bedingungen für die Vermehrung von Waldschädlingen werden als mögliche negative Auswirkungen einer Klimaveränderung genannt (IPCC 2014). Diese Änderungen können je nach Region und waldbaulicher Variante die Waldfunktionen unterschiedlich stark beeinflussen. Um die prognostizierten Änderungen für unsere Untersuchungsgebiete zu erfassen, wurden in diesem Kapitel Lufttemperatur, Niederschlag und Abflussverhalten für die nahe Zukunft (2021-2050) und ferne Zukunft (2071-2100) aus mehreren Berichten zusammengefasst, welche sich auf die regionalen Entwicklungen konzentrieren. Als Emissionsszenario wurde oft A1B aber auch andere Szenarien benutzt, als Modell ECHAM4, ECHAM5, SRES und Multimodellansätze. Das A1B ist ein globales Szenario und geht vom raschen Wirtschaftswachstum, ausgewogener Nutzung mehrere Energiequellen, und einer rückläufigen Weltbevölkerung ab Mitte des 21 Jahrhunderts aus und mit einer ca. 2.8°C globale Erwärmung bis 2100 (IPCC 2007). Die Modelle wurden in Regionalisierungsverfahren herunterskaliert. Als Referenz diente je nach Quelle der Zeitraum von 1961-1990 oder 1971-2000. Ausnahmen sind ein Zukunftsszenario 2011-2040, mit Referenz von 1971-1990 (ReSiPrec 2010). Alle verwendeten Zeiträume und Quellen sind in den jeweiligen Tabellen vermerkt. Da in allen Quellen mehrere Modelle und Szenarien für einen Zukunftsabschnitt berücksichtigt wurden, werden Wertspannen angegeben. Die fünf Untersuchungsgebiete werden hier zu drei Regionen zusammengefasst: „Donau“ für die UG Genderkingen und Kaisheim, „mittlerer Oberrhein“ für UG Rastatt und Bühl, „nördlicher Oberrhein“ für das UG Kühkopf.

Entwicklung der Lufttemperatur

Die Jahresmitteltemperatur wird lt. der betrachteten Szenarien in allen drei untersuchten Regionen (mittlerer Oberrhein, nördlicher Oberrhein, Donau/Lechmündung) in Zukunft ansteigen. Für die Regionen Karlsruhe (mittl. Oberrhein) und Donau /Lechmündung wird im Jahresmittel ein Anstieg von 1,7 bis 1,8 °C für die nahe Zukunft 2021-2050 prognostiziert (KLIWA 2006), für den nördlichen Oberrhein (Worms) 0,5 bis 1,5 °C (KLIWAS 2014). Für die ferne Zukunft (2071-2100) wird am nördlichen Oberrhein mit einem Temperaturanstieg im Jahresmittel von +2 bis +4,3 °C gerechnet (KLIWAS 2014).

Im Winter (Nov.- Apr.) wird die mittlere Temperatur am mittleren Oberrhein für die nahe Zukunft (2021-2050) um 1,8 bis 2°C ansteigen (KLIWA 2006), bzw. laut der Studie KLIWAS 2015 zwischen 1 und 2,5°C. Die gleichen Werte werden von den jeweiligen Studien auch für die Donau vorhergesagt. In der fernen Zukunft wird für den mittleren Oberrhein ein winterlicher Temperaturanstieg von 3 bis 4,5°C vorhergesagt, für die obere Donau 2,5 bis 5°C (KLIWAS 2015).

Der Temperaturanstieg im Sommerhalbjahr (Mai-Okt.) wird für die nahe Zukunft sowohl für die Gebiete an der Donau als auch am mittleren Oberrhein zwischen 1 bis 2°C prognostiziert (KLIWAS 2015). Für den nördlichen Oberrhein (Worms) wird die Veränderung der Temperatur geringer ausfallen (0,5 bis 1,5 °C), (KLIWAS 2014). In der fernen Zukunft wird mit 3,5 bis 5°C Temperaturanstieg sowohl für die obere Donau als auch für den mittleren Oberrhein gerechnet (KLIWAS 2015), und zwischen 2 bis 4,3 °C für den nördlichen Oberrhein (KLIWAS 2014).

Aus diesem Temperaturanstieg lassen sich weitere klimatische Veränderungen ableiten. So wird die Zahl der heißen Tage (Tmax ≥ 30°C) und der Sommertage (Tmax ≥ 25°C) zunehmen, und die Zahl der Frost- (Tmin. < 0°C) und Eistage (Tmax. < 0°C) abnehmen. In Karlsruhe wird sich die Anzahl der heißen Tage (Tmax. ≥ 30°C) vermutlich verdoppeln, von durchschnittlich 16 auf 33 Tage, in Dillingen (Gebiet Donau/Lechmündung) von 7 auf 16 Tage. An der Donau (Dillingen) gab es in der jüngeren Vergangenheit (1971-2000) durchschnittlich 32 Eistage pro Jahr, in Zukunft wird mit nur noch 12 Tagen gerechnet. In Karlsruhe (mittlerer Oberrhein) wird die Anzahl der Frosttage von durchschnittlich 60 auf 38 pro Jahr fallen (KLIWA 2006). Die Literaturdaten sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Lufttemperatur in oder nahe der Untersuchungsgebiete für Referenzzeitraum und Zukunft. Δ steht für Änderung der Temperatur verglichen zum Ist-Zustand.

Literaturquellen:
[a] KLIWA 2006: Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland, Heft 9, Ist-Zustand 1971-2000
[b] KLIWAS 2015: Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schiffhart in Deutschland. Ist-Zustand: 1961-1990
[c] KLIWAS 2014: Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation der Flussauen. Ist-Zustand 1961-1990

Ort	1971 – 2000	Szenario 2021-2050	Szenario 2071-2100
Jahresmitteltemperatur (°C)			
Mittl. Oberrhein (Karlsruhe)		+12 bis +13 [a] Δ +1,7 bis +1,8 [a]	
Nördl. Oberrhein (Worms)		Δ +0,5 bis +1,5 [c]	Δ +2 bis +4,3 [c]
Donau (Lechmündung)		+10 bis +11 [a] Δ +1,7 bis +1,8 [a]	
Temperatur Winter (Nov -Apr.) (°C)			
Mittl. Oberrhein (Karlsruhe)	4,9 [a]	+6 bis +8 [a] Δ +1,8 bis +2 [a]	
Mittl. Oberrhein (Neckar)		Δ +1 bis +2,5 [b]	Δ +3 bis +4,5 [b]
Nördl. Oberrhein (Worms)		k. A.	k. A.
Donau (Lechmündung)		+ 4 bis +5 [a] Δ +1,8 bis +2 [a]	
Donau (Obere Donau)		Δ +1 bis +2,5 [b]	Δ +2,5 bis +5 [b]
Temperatur Sommer (Mai-Okt.) (°C)			
Mittl. Oberrhein (Karlsruhe)	16,5 [a]	+17 bis +19 [a] Δ +1,6 bis +1,8 [a]	
Mittl. Oberrhein (Neckar)		Δ +1 bis +2 [b]	Δ +3,5 bis +5 [b]
Nördl. Oberrhein (Worms)		Δ +0,5 bis +1,5 [c]	Δ +2 bis +4,3 [c]
Donau (Lechmündung)		+15 bis +16 [a] Δ +1,1 bis +1,2 [a]	
Donau (Obere Donau)		Δ +1 bis +2 [b]	Δ +3,5 bis +5 [b]
Sommertage (Tmax ≥ 25°C), Anzahl			
Mittl. Oberrhein (Karlsruhe)	58 [a]	83 [a]	
Donau (Dillingen)	38 [a]	58 [a]	
Heiße Tage (Tmax ≥ 30°C), Anzahl			
Mittl. Oberrhein (Karlsruhe)	16 [a]	33 [a]	
Donau (Dillingen)	6,9 [a]	13 [a]	
Frosttage (Tmin < 0°C), Anzahl			
Mittl. Oberrhein (Karlsruhe)	60 [a]	38 [a]	
Donau (Dillingen)	100 [a]	65 [a]	
Eistage (Tmax < 0°C), Anzahl			
Mittl. Oberrhein (Karlsruhe)	11 [a]	4 [a]	
Donau (Dillingen)	32 [a]	12 [a]	

Entwicklung des Niederschlags

Für die Zukunft werden eine Zunahme der Niederschlagssumme im Winter und eine Abnahme im Sommer in allen Untersuchungsgebieten und für alle Zeitabschnitten vorhergesagt, jedoch gibt es regionale und saisonale Unterschiede.

Während des hydrologischen Winters (November bis April) wird der Niederschlag bis 2050 am mittleren Oberrhein 20-30% zunehmen, im UG an der Donau zwischen 10-20% (KLIWA 2006). Während des meteorologischen Winters (Dezember bis Februar) wird für die nahe Zukunft bis 2040 am mittleren und nördlichen Oberrhein eine Zunahme des Niederschlags von 5-10% prognostiziert (ReSiPrec Feldmann 2010). Für ein anderes Szenario bis 2050 wird während des meteorologischen Winters am mittleren Oberrhein 0-15% Zunahme es Niederschlags, am nördlichen Oberrhein 0-10% (IKSR 2011), und an der oberen Donau keine klare Tendenz (-15 bis +10%, KLIWAS 2015) vorhergesagt. In Zukunftsszenarien für den meteorologischen Winter bis 2100 wird für die drei Gebiete eine Änderung des Niederschlags von 5 bis 25% (mittl. Oberrhein), 10 bis 20% (nördl. Oberrhein) und -5 bis 25% (Donau) angenommen (IKSR 2011, KLIWAS 2015).

Während des hydrologischen Sommers von Mai bis Oktober nimmt der Niederschlag für ein Szenario bis 2050 am mittleren Oberrhein zwischen 2 bis 5% ab (KLIWA 2006). Für den nördlichen Oberrhein und das Donaugebiet sind die Tendenzen weniger klar: der Niederschlag wird sich zwischen -6 bis +3% in Worms (KLIWAS 2014), und -2 bis +5% im Donaugebiet verändern (KLIWA 2006). Für die ferne Zukunft (bis 2100) gibt es nur für das Gebiet Worms (nördl. Oberrhein) eine Prognose für den Niederschlag des hydrologischen Sommers, demzufolge wäre mit einer drastischen Verringerung des Niederschlags von bis zu 24% zu rechnen (KLIWAS 2014). Während des meteorologischen Sommers (Juni, Juli, August) wird für die nahe Zukunft bis 2040 am mittleren Oberrhein eine Abnahme des Niederschlags von 2-5%, und am nördlichen Oberrhein von 5-10% prognostiziert (ReSiPrec Feldmann 2010). Für die Szenarien bis 2050 ist keine klare Tendenz in allen drei Untersuchungsgebieten erkennbar, für die ferne Zukunft bis 2100 wird jedoch mit einer deutlichen Abnahme des Niederschlags während des meteorologischen Sommers gerechnet: am mittleren Oberrhein 30 bis 15%, am nördlichen Oberrhein 30 bis 10% (IKSR 2011) und im Donaugebiet 25 bis 5% (KLIWAS 2015).

Neben der Niederschlagssumme ist vor allem die zeitliche Verteilung des Niederschlags ein wichtiger Punkt für die Entwicklung der Hochwasserereignisse. Das Projekt ReSiPrec (Feldmann et al. 2010) hat Untersuchungen zur Änderung der Starkniederschläge durchgeführt, wobei diese auf der Basis von 10-jährigen Wiederkehrwerten definiert werden, d.h. Werten, die im Mittel in 10 Jahren auftreten (ReSiPrec, Feldmann et al. 2010). Vor allem am mittleren Oberrhein erhöht sich die Änderung der Wiederkehrwerte im Sommer, Herbst und Winter zu (+ 5 bis +25%), es wird also mehr Starkregenereignisse geben. Am nördlichen Oberrhein ist die Erhöhung des Wiederkehrwertes weniger ausgeprägt, es werden zwischen 2 bis 5% Zunahme für Herbst und Winter und nur 0 bis 2% für Frühjahr und Sommer vorhergesagt. Alle Literaturdaten können Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: *Der Niederschlag in drei Zukunftsszenarien in oder nahe den Untersuchungsgebieten.*

Literaturquellen:
[a] KLIWA 2006: Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland, Heft 9, Ist-Zustand 1971-2000
[b] Feldmann et al 2010 Vgl. zu 1971-2000
[c] KLIWAS 2015: Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schiffhart in Deutschland. Ist-Zustand: 1961-1990
[d] IKSR 2011: Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins. Ist-Zustand: 1971-1990
[e] KLIWAS 2014 Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation der Flussauen. Ist-Zustand 1961-1990

Ort	Szenario 2011 – 2040	Szenario 2021-2050	Szenario 2071-2100
Niederschlagssumme hydrol. Winter (Nov-Apr) (mm)			
Mittl. Oberrhein (Rastatter Reinaue)		401 bis 600 mm +20% bis +30% [a]	
Donau (Lechmündung)		200 bis 300 mm +10% bis +20% [a]	
Niederschlagssumme meteorol. Winter (DJF) (mm)			
Mittl. Oberrhein (Rastatter Reinaue)	+5% bis +10% [b]		
Mittl. Oberrhein(Basel –Karlruhe)		0% bis +15% [d]	+5% bis +25% [d]
Nördl. Oberrhein (Kühkopf)	+5% bis +10% [b]		
nördl. Oberrhein (Maxau-Köln)		0% bis +10% [d]	+10% bis +20% [d]
Donau (Obere Donau)		-15 bis +10% [c]	-5 bis +25% [c]
Niederschlagssumme hydrol. Sommer (Mai-Okt) (mm)			
Mittl. Oberrhein (Rastatter Reinaue)		401 bis 500 mm -2 bis -5% [a]	
Nördl. Oberrhein (Worms)		-6% bis +3% [e]	+1% bis -24% [e]
Donau (Lechmündung)		401 bis 500 mm -2% bis +5% [a]	
Niederschlagssumme meteorol. Sommer (JJA) (mm)			
Mittl. Oberrhein (Rastatter Reinaue)	-2% bis -5% [b]		
Mittl. Oberrhein(Basel –Karlruhe)		-10% bis +5% [d]	-30% bis -15% [d]
Nördl. Oberrhein (Kühkopf)	-5% bis -10% [b]		
nördl. Oberrhein (Maxau-Köln)		-10% bis +10% [d]	-30% bis -10% [d]
Donau (Obere Donau)		-10 bis +5% [c]	-25 bis - 5 % [c]
Änderung Wiederkehrwert Niederschlag Winter (DJF)			
Mittl. Oberrhein (Rastatter Reinaue)	+5% bis +10% [b]		
Nördl. Oberrhein (Kühkopf)	+2% bis +5% [b]		
Änderung Wiederkehrwert Niederschlag Fühjahr (MAM)			
Mittl. Oberrhein (Rastatter Reinaue)	0% bis +2% [b]		
Nördl. Oberrhein (Kühkopf)	0% bis +2% [b]		

Tabelle 4 (Fortsetzung):

Änderung Wiederkehrwert Niederschlag Sommer (JJA)	**Szenario 2011–2040**	**Szenario 2021-2050**	**Szenario 2071-2100**
Mittl. Oberrhein (Rastatter Reinaue)	+10% bis +25% [b]		
Nördl. Oberrhein (Kühkopf)	0% bis +2% [b]		
Änderung Wiederkehrwert Niederschlag Herbst (SON)			
Mittl. Oberrhein (Rastatter Reinaue)	+10% bis +15% [b]		
Nördl. Oberrhein (Kühkopf)	+2% bis +5% [b]		
Zunahme Trockentage (≤ 1 mm)			
Mittl. Oberrhein (Rastatter Reinaue)		5 bis 6 [a]	
Donau (Lechmündung)		3 bis 4 [a]	
Anzahl Trockentage Sommerhalbjahr			
Mittl. Oberrhein (Rastatter Reinaue)	0% bis -+0,5% [b]		+10% bis +15% [b]
Nördl. Oberrhein (Kühkopf)	0% bis -+0,5% [b]		+10% bis +15% [b]
Zunahme Naßtage (≥ 25 mm)			
Mittl. Oberrhein (Rastatter Reinaue)		0 bis 1 [a]	
Donau (Lechmündung)		0 bis 1 [a]	

Entwicklung des Mittelwasserabflusses

Aufgrund der veränderten klimatischen Bedienungen in der Zukunft wird auch eine Veränderung im Abflussverhalten der Flüsse prognostiziert. Der mittlere Abfluss (MQ) über das ganze Jahr wird sich am mittleren und nördlichen Oberrhein in der nahen Zukunft (bis 2050) nur geringfügig ändern (0 bis +10%), Prognosen für die ferne Zukunft (2071-2100) schwanken um ca. 10% in Zu- als auch Abnahme, womit kein deutlicher Trend für den Oberrhein sichtbar wird. Für die Donau wird bei beiden Zukunftsszenarien eine Abnahme des Jahres-MQ vorhergesagt. So wird in der nahen Zukunft mit einer Änderung des MQ zwischen 0 bis -15%, in der fernen zwischen 0 bis -30% gerechnet. Während des hydrologischen Winters (November – April) wird am mittleren und nördlichen Oberrhein für beide Zukunftsszenarien und von allen hier benutzen Quellen ein deutlicher Anstieg des MQ vorhergesagt. Für die nahe Zukunft beträgt die vorhergesagte Änderung des MQ in den beiden Gebieten 0 bis +20%, für die ferne Zukunft +5 bis +30%. Für die Donau ist für den MQ während des hydrologischen Winters kein deutlicher Trend erkennbar. Sehr deutlich ist jedoch die Abnahme des MQ an der Donau während des hydrologischen Sommers (Mai-Oktober) erkennbar, mit einer Änderung von 0 bis -20% in der nahen und -20 bis -40% in der fernen Zukunft. Für den mittleren und nördlichen Oberrhein ist die Tendenz für den MQ im hydrologischen Sommer in der nahen Zukunft unklar, für die ferne Zukunft wird auch hier mit einer deutlichen Abnahme der Abflüsse gerechnet (-10 bis -30%). Die aus drei Quellen recherchierten Werte des MQ in Maxau, Worms und Donauwörth können in Tabelle 5 abgelesen werden.

Tabelle 5: Mittlerer Abfluss von Rhein und Donau nahe der Untersuchungsgebiete Rastatter Rheinaue, Kühkopf und Donauauen/Lechmündung . Zukunftsszenarien sowie Referenzzeitraum sind aus mehreren Quellen dargestellt, um die Bandbreite der Vorhersagen zu erfassen.

Literaturquellen:
[a] CHR/KHR 2010: Rheinblick 2050. Ist-Zustand: 1961-1990
[b] KLIWAS 2015: Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schiffhart in Deutschland. Ist-Zustand: 1961-1990
[c] IKSR 2011: Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins. Ist-Zustand: 1971-1990

Pegel	1901 – 1930 [m³/s]	1961 – 1990 [m³/s]	1971 – 2000 [m³/s]	Szenario 2021-2050 (%)	Szenario 2071-2100 (%)
Mittelwasser MQ Jahr					
Mittl. Oberrhein (Maxau)		1255 [b]		0 bis +10 [a] 0 bis +5 [b]	-5 bis +10 [a] -10 bis +10 [b]
Nördl. Oberrhein (Worms)		1427 [b]		0 bis +10 [ab]	-5 bis +10 [a] -15 bis +10 [b]
Donau (Donauwörth)		196 [b]		-15 bis 0 [b]	-30 bis 0 [b]
Mittelwasser MQ hydrologischer Winter					
Mittl. Oberrhein (Maxau)	1036 [c]	1130 [b]	1170 [c]	0 bis +20 [c] +5 bis +15 [b] +5 bis +20 [a]	+5 bis +25 [c] +5 bis +30 [b] +5 bis +20 [a]
Nördl. Oberrhein (Worms)	1225 [c]	1344 [b]	1386 [c]	0 bis +20 [c] +5 bis +15 [b] +5 bis +20 [a]	+5 bis +25 [c] +5 bis +30 [b] +5 bis +20 [a]
Donau (Donauwörth)		206 [b]		-5 bis +5 [b]	-25 bis +10 [b]
Mittelwasser MQ hydrologischer Sommer					
Mittl. Oberrhein (Maxau)	1460 [c]	1385 [b]	1349 [c]	-10 bis +5 [ac] -10 bis +10 [b]	-25 bis -10 [ac] -30 bis -10 [b]
Nördl. Oberrhein (Worms)	1599 [c]	1511 [b]	1466 [c]	-10 bis +5 [ac] -10 bis +10 [b]	-25 bis -10 [abc]
Donau (Donauwörth)		185 [b]		-20 bis 0 [b]	-40 bis -20 [b]

Entwicklung des Niedrigwasserabflusses

Der Abfluss bei Niedrigwasser wird sich vor allem an der Donau deutlich verringern. Als Messgröße wird der NMQ7 herangezogen, das niedrigste arithmetische Mittel von 7 aufeinanderfolgenden Tageswerten des Durchflusses in einem Niedrigwasserzeitabschnitt. Der NMQ7 über das Gesamtjahr wird an der Donau wahrscheinlich eine Abnahme von 5 bis 15% (Szenario bis 2050) oder 15 bis 45% (Szenario bis 2100) erfahren. Für den Oberrhein bei Maxau wird in naher Zukunft ein geringer Anstieg des NMQ7 erwartet, während kein Trend für die ferne Zukunft erkennbar ist. Bei Worms hat die Entwicklung des Niedrigwasserabfluss in naher Zukunft keine eindeutige Tendenz, jedoch wird in ferner Zukunft eine geringe Abnahme erwartet (0 bis -10%). Der Abfluss bei Niedrigwasser während des Winters wird für beide Pegel am Oberrhein in naher Zukunft leicht ansteigen, für die ferne Zukunft sind die Prognosen nicht eindeutig. Während des Sommers wird in ferner Zukunft der Abfluss bei Niedrigwasser deutlich abnehmen, in der nahen Zukunft könnte es sowohl höheres als auch geringeres sommerliches Niedrigwasser geben. Für Donauwörth liegen keine Daten getrennt nach Sommer und Winter für NMQ7 vor.

Eine weitere Messgröße für Niedrigwasser ist der FDCQ90. Damit wird der Abfluss der niedrigsten 10% aller Tage in 30 Jahren bezeichnet. Für diesen wird am Oberrhein ein bis zu 15% höherer Abfluss in naher Zukunft erwartet, während die Vorhersagen für die ferne Zukunft keine klare Tendenz zeigen. Für das Gebiet an der Donau liegen keine Daten für den FDCQ90 vor. Veränderungen des Niedrigwassers kann in Tabelle 6 abgelesen werden.

Tabelle 6: Abfluss bei Niedrigerwasser von Rhein und Donau nahe der Untersuchungsgebiete Rastatter Rheinaue (Maxau), Kühkopf (Worms) und Donauauen/Lechmündung (Donauwörth). Zukunftsszenarien sowie Referenzzeitraum sind aus mehreren Quellen dargestellt, um die Bandbreite der Vorhersagen zu erfassen. NMQ7: das niedrigste arithmetische Mittel von 7 aufeinanderfolgenden Tageswerten des Durchflusses in einem Niedrigwasserzeitabschnitt, NMQ: mittlerer Niedrigwasserabfluss, FDCQ9: Abfluss der niedrigsten 10% aller Tage in 30 Jahren.

Literaturquellen:
[a] CHR/KHR 2010: Rheinblick 2050. Ist-Zustand: 1961-1990
[b] KLIWAS 2015: Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schiffhart in Deutschland. Ist-Zustand: 1961-1990
[c] IKSR 2011: Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins. Ist-Zustand: 1971-1990

Pegel	Beobachtung 1901 – 1930 [m³/s]	Beobachtung 1961 – 1990 [m³/s]	Beobachtung 1971 – 2000 [m³/s]	Szenario 2021-2050 (%)	Szenario 2071-2100 (%)
NM7Q Wasserhaushalts-jahr					
Mittl. Oberrhein (Maxau)		635 [b]		0 bis +10 [b]	-10 bis +5 [b]
Nördl. Oberrhein (Worms)		705 [b]		-5 bis +10 [b]	-10 bis 0 [b]
Donau (Donauwörth)		105 [b]		-15 bis -5 [b]	-45 bis -15 [b]
NM7Q Winter					
Mittl. Oberrhein (Maxau)	576 [c]		688 [c]	0 bis +10 [ac]	-5 bis +15 [ac]
Nördl. Oberrhein (Worms)	676 [c]		775 [c]	+5 bis +15 [ac]	-5 bis +15 [ac]
Donau (Donauwörth)					
NM7Q Sommer					
Mittl. Oberrhein (Maxau)	802 [c]		747 [c]	-10 bis +10 [ac]	-20 bis -10 [ac]
Nördl. Oberrhein (Worms)	870 [c]		811 [c]	-10 bis +10 [ac]	-25 bis -10 [ac]
Donau (Donauwörth)					
FDCQ90					
Mittl. Oberrhein (Maxau)				+5 bis +15 [a]	-10 bis +10 [a]
Nördl. Oberrhein (Worms)				+5 bis +15 [a]	-10 bis +10 [a]
Donau (Donauwörth)					

Entwicklung des Hochwasserabflusses

Die Zukunftsszenarien für die Abflüsse bei Hochwasser haben eine weite Amplitude. Für alle hier berücksichtigten Hochwassermessgrößen beinhalten die Prognosen eine Spanne zwischen Zunahme als auch Abnahme des Abflusses. Diese Spanne wird besonders bei den seltenen Hochwasserereignissen, wie 10-, 100- oder 1000- jährliches Hochwasser sehr groß, im extremem Fall zwischen -20 bis +65%. Eine klare Tendenz für einzelne Pegel gibt es somit nicht, aber die Prognosen zeigen deutlich, dass sich die Hochwasserereignisse verändern werden (Tabelle 7).

Tabelle 7: Abfluss bei Hochwasser von Rhein und Donau nahe der Untersuchungsgebiete Rastatter Rheinaue, Kühkopf und Donauauen/Lechmündung. Zukunftsszenarien sowie Referenzzeitraum sind aus mehreren Quellen dargestellt, um die Bandbreite der Vorhersagen zu erfassen.
MHQ: höchster mittlerer Tagesabfluss, HM5Q: das höchste arithmetische Mittel von 5 aufeinanderfolgenden Tageswerten des Durchflusses in einem Hochwasserzeitabschnitt, HQ10: 10-jährliches Hochwasser; HQ100, HQ1000 entsprechend.

Literaturquellen: a CHR/KHR 2010: Rheinblick 2050. Ist-Zustand: 1961-1990, b KLIWAS 2015: Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schiffhart in Deutschland. Ist-Zustand: 1961-1990, c IKSR 2011: Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins. Ist-Zustand: 1971-1990

Pegel	Beobachtung 1901 – 1930 [m³/s]	Beobachtung 1961 – 1990 [m³/s]	Beobachtung 1971 – 2000 [m³/s]	Szenario 2021-2050 (%)	Szenario 2071-2100 (%)
MHQ					
Mittl. Oberrhein (Maxau)	2861 [c]		3168 [c]	-5 bis +15 [ac]	-20 bis +15 [ac]
Nördl. Oberrhein (Worms)	3155 [c]		3568 [c]	-10 bis +20 [ac]	-15 bis +15 [ac]
Donau (Donauwörth)					
HM5Q					
Mittl. Oberrhein (Maxau)		2669 [b]		-5 bis +10 [b]	-10 bis +15 [b]
Nördl. Oberrhein (Worms)		3142 [b]		0 bis +10 [b]	-5 bis +15 [b]
Donau (Donauwörth)		337 [b]		-10 bis +5 [b]	-25 bis +10 [b]
HQ10 & häufiges Hochwasser					
Mittl. Oberrhein (Maxau)				-15 bis +20 [ac]	-15 bis +25 [ac]
Nördl. Oberrhein (Worms)				-15 bis +15 [ac]	-10 bis +35 [ac]
Donau (Donauwörth)					
HQ100 & mittleres Hochwasser					
Mittl. Oberrhein (Maxau)				-10 bis +15 [a] -15 bis +20 [c]	-25 bis +30 [ac]
Nördl. Oberrhein (Worms)				-5 bis +20 [ac]	-25 bis +35 [ac]
Donau (Donauwörth)					
HQ1000 & extremes Hochwasser					
Mittl. Oberrhein (Maxau)				-20 bis +35 [ac]	-20 bis +65 [ac]
Nördl. Oberrhein (Worms)				-15 bis +30 [ac]	-20 bis +45 [ac]
Donau (Donauwörth)					

Zusammenfassung und Bedeutung für die Vegetation

Die Vegetationsperioden werden sich durch die Temperaturzunahme verlängern, kurze Wintereinbrüche sind aber trotzdem möglich, was die Spät- und Frühfrostgefahr für die jungen Triebe erhöht. Die Wasserbilanz während der Vegetationsperiode wird sich verändern, da sich sowohl die Sommertrockenheit als auch der Winterniederschlag erhöhen wird. Mit dem veränderten Niederschlag- und Temperaturregime werden sich die hohen Phasen des mittleren Abflusses in den Winter verschieben, und die Niedrigwasserstände besonders im Sommer an der Donau zunehmen. Die extremen Hochwasserereignisse werden sich verändern, allerdings ja nach Pegel unterschiedlich, was keine allgemein gültigen Vorhersagen erlaubt.

Literatur zu AP7

KLIWA 2006--Arbeitskreis KLIWA (LUBW Landesanstalt Für Umwelt, Messungen Und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt Für Umwelt (BLFU), Deutscher Wetterdienst (DWD)) (Hrsg.) (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland Abschätzung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. KLIWA Bericht Heft 9, Karlsruhe, 100 S. [im Text als **KLIWA 2006**]

Feldmann, H., Früh, B., Kottmeier, C., Panitz, H.-J. & Schädler, G. (2010): Hochauflösende regionale Simulationen künftiger Starkniederschlagsereignisse in Baden-Württemberg (ReSiPrec). Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg. Karlsruhe, 72 S.

KLIWAS 2015- Fischer, H., Gratzki, A., Heinrich, H., Kofalk, S., Mai, S., Maurer, T., Mehling, A., Moser, H., Schröder, M., Schubert, B., Wienhaus, S. & Winkel, N. (2015): Abschlussbericht des BMVI- Fachliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen des Forschungsprogramms KLIWAS. Reihe: KLIWAS- Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Bonn, 111 S. [im Text als **KLIWAS 2015**]

CHR/KHR 2010--Görgen, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., De Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C. & Volkes, D. (2010): Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project. CHR Report I-23, Lelystad, 211 S. [im Text als **CHR/KHR 2010**]

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): Summary for Policymakers. In: IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Deutsche Übersetzung der Deutschen IPCC-Koordinierungsstelle, Dezember 2015.

IPCC Fourth Assessment Report (AR4), Climate Change 2007, WG I: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger • Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen; offizielle deutsche Übersetzung der Deutschen IPCC Koordinierungsstelle

IKSR 2011-Krahe, P., Nilson, E. & Gerlinger, K. (2011): Szenarienstudie für das Abflussregime des Rheins. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins, Bericht 188d, Koblenz, 25 S. und Anhang. [im Text als **IKSR 2011**]

KLIWAS 2014--Mosner, E. & Horchler, P. (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation der Flussauen. Schlussbericht KLIWAS-Projekt 5.06. KLIWAS-53/2014. Koblenz, 67 S. & Anhang [im Text als **KLIWAS 2014**]

Umweltbundesamt (UBA) (2015): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. 258 S.

AP 11: Synthese und Bewertung

In diesem Projekt wurde die Auwaldbewirtschaftung von verschiedenen Disziplinen untersucht und bewertet, was sowohl ökologische, ökonomische und praktische waldbauliche Erkenntnisse lieferte.

Für die Ökologie wurden drei übliche Bestandestypen des Auwaldes (Hybridpappel, Stieliche, Edellaub mit Esche) an Oberrhein und Donau in Bezug auf Vegetation und Bodenbiologie verglichen. Beide Regionen unterscheiden naturräumlich, was oft eine nähere Betrachtung der Ergebnisse innerhalb jeder Region erforderte. So war am Oberrhein die Baumartenzahl, Diversitätsindizes der Sommerkrautvegetation und die Verjüngungsdichte höher als an der Donau, und auch die Artenzusammensetzung der Bodenfauna unterschied sich deutlich. Am Oberrhein war der Einfluss der Bestandestypen für die Vegetation und die Bodenfauna deutlich erkennbar, während an der Donau physikalische Einflüsse wie Überflutung (Vegetation) oder Bodentypen (Bodenfauna und Zersetzung) wichtiger waren als der Bestandestyp. Trotzdem konnte regionenübergreifend mehrere Unterschiede zwischen den Beständen festgestellt werden: So war die Artenzahl in der Frühjahrsvegetation signifikant höher in den Edellaubbestände gegenüber Pappelbeständen, was u. a. durch die starke Streubedeckung unter Pappel bedingt sein kann. Edellaubbestände waren im Schnitt auch natürlicher bzw. weniger durch den Menschen verändert als Hybridpappel- und Eichenbestände. Für die Bewertung der Natürlichkeit wurden neben der Baumartenzusammensetzung auch Kriterien wie Bestandesstruktur, Nutzungsintensität, Totholzquantität und -qualität u.a. berücksichtigt. Ein Großteil der untersuchten Bestände war mäßig verändert bis naturnah (Hemerobiestufe 6-8 von 10). Desweiteren war die Bodenbiodiversität und die bodenbiologische Aktivität der Edellaubbestände höher als die der anderen Bestandstypen. So wurden in Edellaubbestände höhere und in den Eichenbeständen die niedrigsten Artenzahlen der Bodenfauna vorgefunden. Allerdings war die Artendichte (= Arten/Falle) bei den Diplopoda leicht höher in den Pappelbestände, wobei es sich meist um weit verbreitete Arten handelte, während die Artendichte von bundesweit seltenen Arten in den Edellaubbestände höher war. Die Individuendichte der Diplopoda war signifikant höher in den Pappelbeständen, so dass weniger Arten in höheren Populationsgrößen in diesen Beständen vorkamen, während bei den Lumbricidae leicht höhere Individuendichten in den Edellaubbeständen registriert wurden. Die Artenzusammensetzungen waren in allen drei Bestandstypen ähnlich, lediglich im Rheingebiet wurden bei der Lumbricidae deutlich unterschiedlichen Gemeinschaften registriert. Der schnellste Abbau mehrerer Streuarten (und der höchste Anteil der Fauna am Abbau) wurde in den Edellaubbeständen verzeichnet, die beiden anderen Bestandestypen zeigten wenig Unterschied. In mehreren Aspekten war somit der Edellaubbestand bei dieser Studie ökologisch hochwertiger als die anderen Bestände.

Naturverjüngung ist ein wichtiges und kontrovers diskutiertes Dauerthema in der Auwaldbewirtschaftung, welches in Rahmen des Projektes gleich mit mehreren Untersuchungsschwerpunkten in drei Gebieten (mittlere & nördlicher Oberrhein, Donau) berücksichtigt wurde. Aus den Ergebnissen lassen sich folgende Aussagen treffen:
Alle Hauptbaumarten der Hartholzaue wurden als Naturverjüngung gefunden. Mit abnehmender Überflutungsintensität dominierte der Bergahorn die Naturverjüngung vor allem ab der hohen Hartholzaue (an der Donau fast ausschließlich) und rückte zunehmend in die Baumschicht vor. Dort ist momentan noch die Esche vorherrschend, welche ein großes Verjüngungspotenzial hat; diese Bäume werden aber größtenteils wegen des Eschentriebsterbens verschwinden und die Esche stellt für die Bewirtschaftung keine relevante Baumart mehr dar. Desweiteren wurde die Eschenverjüngung stark verbissen. Die Naturverjüngung der Stieleiche beschränkte sich auf vereinzelte Sämlinge mit geringer Wuchshöhe, was sowohl teils auf Verbiss als auch auf Lichtmangel zurückzuführen ist. Am Oberrhein war das Potential für Naturverjüngung von standortheimischen Nebenbaumarten (Flatterulme, Winterlinde, Walnuss u.a.) größer, da diese in der Baumschicht und der Naturverjüngung mit geringer bis mittlerer Stetigkeit vertreten waren, an der Donau hingegen traten kaum Baumarten neben Esche, Bergahorn und Pappelarten auf und die Naturverjüngung hatte insgesamt geringe Sämlingszahlen. Das Vorkommen von Elternbäumen in der unmittelbaren Umgebung ist elementar für die Naturverjüngung, somit kann eine Umwandlung von Hybridpappelflächen, die in weiter Distanz zu Edellaubvorkommen liegen, womöglich nicht auf Naturverjüngung aufbauen. Eine deckungsstarke Krautschicht (Nitrophyten!) kann ausserdem Konkurrenz eine für das Sämlingsaufkommen darstellen (z.B. Giersch a.d. Donau).

Neben den Momentaufnahmen wurde auch der Faktor Zeit berücksichtigt. In der Langzeitstudie am Kühkopf (nördlicher Oberrhein) wurde über drei Jahrzehnte die Sukzession von einer Sandspülfläche nach einem Deichbruch (1983) hin zum Hartholzauwald beobachtet. Mehrere Hartholzbaumarten wie Stieleiche, Ulme, (Berg-) Ahorn und Wildobst waren spärlich zu finden. Die Esche kam in allen Flächen und Schichten vor, auch in der Verjüngung, war jedoch im älterem Stadium vom Eschentriebsterben betroffen. Die Strauchschicht war sehr gut entwickelt, wobei insbesondere Roter Hartriegel (*Cornus sanguinea*) und Weißdorn (*Crataegus monogyna*) dominierte und eine hohe Kronendeckung hatte. Damit zeichnet sich eine charakteristische stabile Strauchschichtphase ab. Auf einer der Teilflächen zeigte sich lokal die Goldrute (*Solidago canadensis*) seit mehr als drei Jahrzehnten als Verjüngungshemmer für jegliche Baumarten. Betrachtet man die Entwicklung der ungesteuerten, natürlichen Sukzession ergibt sich als Schlussfolgerung, dass diese ein langfristiger Prozess ist und der Faktor Zeit - abgesehen von Faktoren wie Witterung, periodische Hochwasserereignisse oder ausgeprägte Trockenheit, aber auch die Nähe zu Altbeständen - eine wichtige Rolle spielt. Man kann davon ausgehen das eine ungesteuerte Entwicklung viele Jahrzehnte braucht, bis ein Hartholzauenwald entsteht.

Für die ökonomische Bewertung wurden vier Auwaldbaumarten untersucht: Stieleiche, Hybridpappel, Schwarznuss und Hybridplatane. Sie wurden als zukünftig aussichtsreiche Baumarten genannt und zugleich standen ausreichende Eingangsdaten zur Verfügung. Für jede Baumart wurden Annuitäten (reine Holzproduktionswerte) mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen berechnet. Ökonomisch am vorteilhaftesten ist demnach der Anbau von Schwarznuss, gefolgt von Platane, Hybridpappel und schließlich der Stieleiche. Bei Schwarznuss und Platane kann mit einer hohen Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen, dass deutlich positive Annuitäten erwirtschaftet werden können. Dies hängt maßgeblich vom erzielbaren Holzpreis ab, der wiederum mit dem Zieldurchmesser korreliert ist, sowie auch evt. mit den Submissionsorten variiert. Die Ergebnisse für die Platane müssen mit einer gewissen Vorsicht betrachtet werden, da hierfür derzeit noch zu wenige Verkaufsergebnisse zur Ermittlung von Preisstreuung und Durchschnittspreis vorliegen. Ein Hybridpappelanbau lohnt sich lediglich bei hohen Zieldurchmessern, hier bei 70 cm, wenn mindestens durchschnittliche Holzpreise erzielt werden. Geringe Schwankungen bei den Erlösen können beim Pappelanbau schnell zu negativen Annuitäten führen. Nicht bewertet werden konnte bei der Pappel die kurze Laufzeit einer Anbauinvestition. Ein Eichenanbau ist unter den derzeitigen Rahmenbedingungen zumeist defizitär. Bei Beibehaltung des Preistrends der letzten 20 Jahre wäre zukünftig mit zwar geringen, aber positiven Annuitäten zu rechnen. Auch die Inanspruchnahme von Fördermitteln bei der Pflanzung kann bei Eiche zu positiven Annuitäten führen. Mischungen können das Risiko für negative Annuitäten bei hohen Ausfällen einzelner Arten (z.B. Schwarznuss) senken. Mit einer Nutzwertanalyse wurden die vier Baumarten hinsichtlich ihrer ökologischen Effekte und dem Anbaurisiko bewertet. Bei einem ausgewogenen Anbau, der sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte vereint, sind die Baumarten Eiche, Platane und Schwarznuss demnach fast gleichrangig zu bewerten. Bei einem ökologisch orientierten Anbau belegt die Eiche klar den ersten Platz. Soll ein Anbau zukünftig nach rein ökologischen Gesichtspunkten erfolgen, bieten die ermittelten Annuitätenwerte die Möglichkeit die monetären Verluste zu beziffern (z.B. Kompensationszahlungen im Privatwald, Entscheidungsfindung im öffentlichen Wald).

Bewirtschaftungsalternativen im Auwald wurden auch in der Praxis erprobt. Hierfür wurden sechs Baumarten in 3-4 Forstbetrieben auf Frei- und Schirmflächen angebaut: Wildbirne, Stieleiche, Feldahorn, Schwarzpapel, Hybridplatane, Tulpenbaum, sowie sechs weitere Arten in jeweils nur einem Forstbetrieb wegen abweichenden Standortbedingungen oder Schutzgebietsstatus. Die Mortalität nach zwei Vegetationsperioden war allgemein gering: Besonders geringe Ausfälle waren bei der Wildbirne zu beobachten, gefolgt von Stieleiche und Feldahorn, danach Platane, und deutliche Ausfälle bei Tulpenbaum und Schwarzpappel. Eine Ausnahme bildete eine Fläche in welcher Wasser zum Hochwasserschutz eingestaut wurde und sehr langsam abfloss. Hier war ein Totalausfall des Tulpenbaums sowie hohe Mortalitäten bei Feldahorn und Eiche zu verzeichnen. Auch alle anderen Flächen wurden jährlich überflutet, jedoch befinden sie sich im rezenten Auebereich mit fließenden Wasser. Der mittlere Höhenzuwachs nach zwei Vegetationsperioden war beachtlich, und variierte deutliche zwischen den Forstbetrieben. Die Schwarzpappel, der Feldahorn und die Wildbirne hatten die höchsten Zuwächse. Die meisten mittleren Höhenzuwächse je Baumart und Forstbetrieb betrugen zwischen 60 cm und 90 cm. Jede der Baumarten erscheint generell geeignet für die Anpflanzung in der Aue. Feldahorn und Tulpenbaum scheinen mit Überstauung weniger gut zurecht zu kommen. Da das Pflanzmaterial des Tulpenbaums auf allen Flächen stark zurückgedürrt war, waren die Ausgangsbedingungen für das Überleben einer Überflutung äußerst ungünstig und es sollte daher keine generellen Rückschlüsse auf die Eignung des Tulpenbaumes als Auwaldart gezogen werden. Die Beschirmung hatte bisher keinen

größeren Einfluss auf Wachstum oder Mortalität. Weitere waldbauliche Erkenntnisse sind erst in mehreren Jahrzehnten zu erwarten.

Desweiteren wurden waldbauliche Best-Practice Beispiele der Auwaldbewirtschaftung gesammelt, sowie Waldentwicklungstypen mit unterschiedlichen Zielrichtungen für die Hartholzaue beschrieben. Hierzu wurden die Merkmale von Haupt- und Gastabaumarten der Hartholzaue bewertet, welche sowohl Anpassung an den Klimawandel, ökologische und ökonomische Aspekte einschliessen. Aussichtsreich sind demnach vor allem der Anbau von Stieleiche, mehrere Nussbaumarten, Wildobst, Ahorne und Flatterulme, mit unterschiedlichen Anteilen je nach Bestandesziel.

Für eine zukünftige Bewirtschaftung im Auwald stellt sich vor allem die Frage der Zielsetzung und was in einem Bestand erreicht werden soll. Als hochproduktiver Standort ist die Aue forstökonomisch interessant, gleichzeitig erfüllt sie viele Ökosystemleistungen, die im Zuge des Klimawandels noch wertvoller werden, wie Habitat mit hoher Biodiversität, Retentionsraum, Kohlenstoffsenke. Selbst innerhalb eines Bestandesziels wie z.B. Naturschutz ergeben sich durch verschiedene Schwerpunkte, wie eine hohe Natürlichkeit, hohe Diversität oder der Schutz einzelner Arten unterschiedliche Maßnahmen. Neben der Ungewissheit der Auswirkungen der Klimaänderungen, neuer Ausfälle von Baumarten durch Krankheiten oder neue Anbaumöglichkeiten wärmeliebender Arten, stellt sich speziell im Auwald auch die Frage der Redynamisierung des Habitats in Zukunft, was wiederrum waldbauliche Konsequenzen hat. Somit muss sich die Auwaldbewirtschaftung auch in Zukunft ständig neu ausrichten.

AP 14: Leitfaden und Endbericht

Ein Endprodukt des Gesamtprojekts ist die Erstellung eines praxisorientierten Umsetzungsleitfadens zur Bewirtschaftung von Auwäldern unter Einbeziehung der Ergebnisse und Erfahrungen aus der Umsetzungs- und Testphase. Dafür wurde der Anbau möglicher Baumarten in den Bereichen Biodiversität, Klimaschutz und Einkommen bewertet und hieraus Waldentwicklungstypen definiert. Des Weiteren wurden in den Forstbetrieben bereits existente, innovative Konzepte der Auwaldbewirtschaftung („Best Practice Beispiele"), im Rahmen des Projektes dokumentiert und evaluiert. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse fließen als ausgewählte, kurz umrissene Beispiele in den Umsetzungsleitfaden mit ein. Durch den Leitfaden soll ein Wissens- und Methodentransfer in die waldbauliche Praxis für Forstbetriebe und Waldbesitzer sichergestellt werden. Zielgruppe des Leitfadens sind allgemein Forstakteure im süddeutschen Raum: Waldbesitzer, Waldbewirtschafter und Umsetzungspartner des Projektes. Der Umsetzungsleitfaden kann aber auch Entscheidungsträgern bei der Beurteilung von Planungen dienlich sein.

Der Aufbau des Leitfadens führt den Leser durch mehrere Auswahlmöglichkeiten zu dem passenden Waldentwicklungstyp. Die Untergliederung gestaltet sich wie folgt:

1. Motivation und Einleitung
2. Definition des Standorts
3. Definition und Bewertungsskalen der Baumartenmerkmale
4. Baumartentabelle mit Merkmalsbewertung an zwei Standorten (mittlere Hartholzaue, hohe Hartholzaue)
5. Nutzwertanalyse der Baumarten bei drei waldbaulichen Zielen: Ökonomie, Ausgewogen, Ökologie (Naturschutz)
6. Beschreibung der möglichen Waldentwicklungstypen und des potentiell natürlichen Auwalds
7. Best Practice Beispiele

Die Vorgehensweise für die Erstellung des Leitfadens stellte sich folgendermaßen dar:

Zunächst wurden eine Liste von 42 Baumarten ausgewiesen, die in der rezenten sowie ausgedeichten Hartholzaue wachsen könnten, was sowohl einheimische wie ortsfremde oder auch invasive Arten beinhaltet. Außerdem wurden 16 Merkmale gewählt, die Auskunft über die Baumarteneignung bezüglich Standort, Waldbau, Naturschutz, Toleranz gegenüber Klimawandel und Krankheiten geben.

Die Bewertung der 16 Merkmalen für jede der 42 Baumarten auf drei Auestandorten wurde zunächst projektintern durchgeführt, danach wurden auch externe Experten befragt. Die Bewertungsskala reichte im Normalfall von 1 (schlecht) bis 5 (sehr gut). Von den ursprünglich angedachten drei Auestandorte (tiefe, mittlere, hohe Hartholzaue) wurden letztlich nur zwei berücksichtigt (mittlere, hohe), da die tiefe Hartholzaue flächenmäßig zur Bewirtschaftung nur in unbedeutendem Ausmaß eine Bedeutung besitzt.

Aus der Arten-Merkmals-Matrix wurde die Baumarteneignung für drei forstliche Ziele („ökologisch", „ausgewogen", „ökonomisch") errechnet, indem jedem Merkmal pro Ziel eine andere Gewichtung gegeben wurde und danach pro Baumart alle Punkte summiert wurden. Daraus ergab sich für jedes Bestandsziel eine Rangbildung der Arten, welche in vier Gruppen als sehr geeignet, geeignet, weniger geeignet und ungeeignet eingeteilt wurden. Basierend auf diesem Artenspektrum wurden für die Waldentwicklungstypen „Stieleichenmischwald" und „Buntlaubbaummischwald" Untertypen für die mittlere und hohe Hartholzaue mit drei verschiedenen Zielen beschrieben (Tabelle 8, Abbildung 7).

Der Umfang beträgt zur Zeit ca. 42 Seiten, dies wird sich aber mit profesionellen Layout eher reduzieren. Die vorraussichtliche Veröffentlichung wird im Frühjahr 2021 erfolgen.

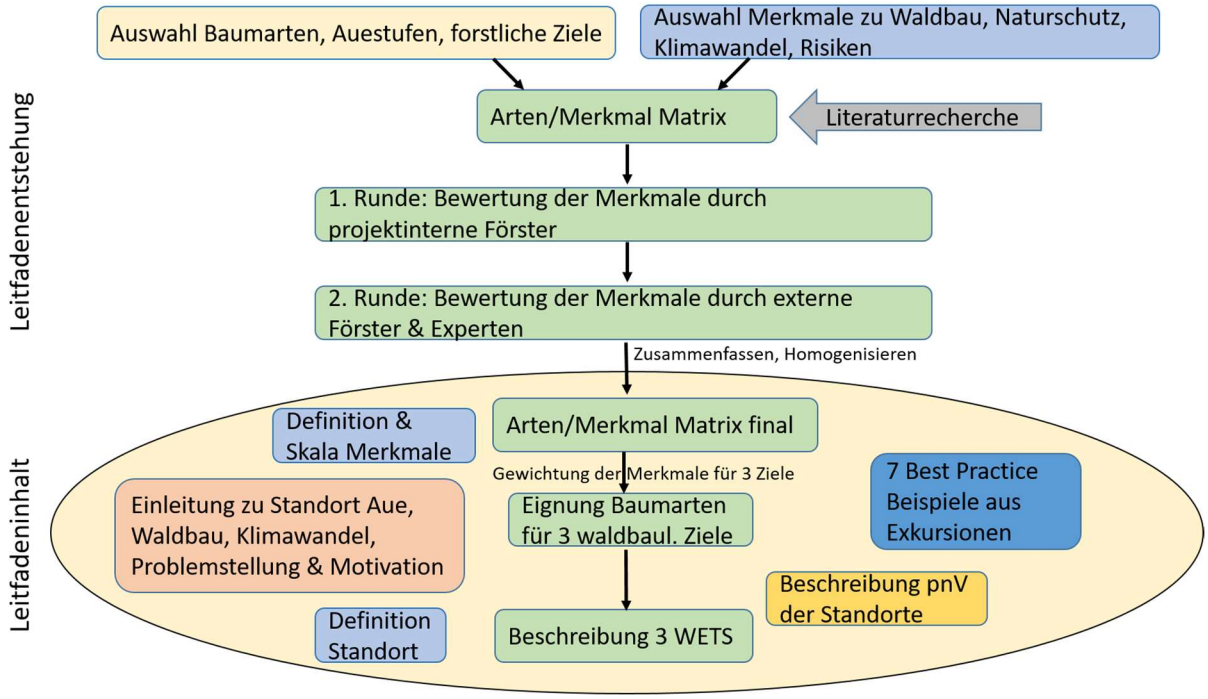


Abbildung 7: Entstehung und Inhalt des Leitfadens zur Auwaldbewirtschaftung. pnV= potentiell natürliche Vegetation. WET= Waldentwicklungstyp

Tabelle 8: Beispiel für die Baumartenanteile im Waldentwicklungstyp (WET) Stieleichenmischwald in 3 Zielrichtungen und zwei Auestufen.

Zielsetzung Betrieb	Ökonomisch	Ausgewogen	Ökologisch
Baumartenanteile			
Mittlere Hartholzaue	**> 50 % Stieleiche;** **< 50 % sonstige Laubbäume: Schwarz-/Wal-/Hybridnuss; Baumhasel;** Flatterulme; Balsam-/Hybridpappel; Berg-/Spitzahorn; Platane; Wildbirne	**60 - 80 % Stieleiche; 20 - 40% sonstige Laubbäume:** **Flatterulme; Wildbirne; Baumhasel; Schwarz-/Grau-/Silberpappel; Schwarznuss;** Wal-/Hybridnuss; Wildapfel; Traubenkirsche; Berg-/Spitzahorn; Balsampappel; Feldulme; Esche	**60 - 80 % Stieleiche; 20 - 40% sonstige Laubbäume:** **Wildapfel/-birne; Schwarz-/Silber-/Graupappel; Traubenkirsche;** Flatter-/Feldulme; Feld-/Spitz-/Bergahorn; Esche
Hohe Hartholzaue	**> 50 % Stieleiche;** **< 50 % sonstige Laubbäume: Schwarz-/Wal-/Hybridnuss; Baumhasel, Bergahorn, Platane,** Flatterulme, Balsam-/Hybridpappel; Wildbirne, Robinie	**60 - 80 % Stieleiche; 20 - 40% sonstige Laubbäume:** **Wildbirne; Flatterulme; Baumhasel; Bergahorn** Schwarz-/Grau-/Silberpappel; Wildapfel; Schwarz-/Hybrid-/Walnuss; Spitzahorn; Vogelkirsche; Platane	**60 - 80 % Stieleiche; 20 - 40% sonstige Laubbäume:** **Wildapfel/-birne; Schwarz-/Silber-/Graupappel;** **Traubenkirsche; Feldahorn; Flatterulme;** Aspe, Feldulme; Esche; Vogelkirsche; Spitz-/Bergahorn; Sandbirke; Hainbuche; Winterlinde

Teilarbeitspaket Endbericht- liegt hiermit vor.

Nebenergebnis 1: Bodenuntersuchung Maßnahmenflächen

Während des Projekts wurden Versuchsanpflanzungen im Auwald mit mehreren Baumarten auf 8 Flächen („Maßnahmenflächen“) von der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Bayern (LWF) durchgeführt. Die Flächen befinden sich in vier Forstbetrieben und teilen sich jeweils in nebeneinanderliegende Schirm- und Freifläche auf (= 16 Teilflächen). Für diese Flächen wurden vom KIT umfangreiche Bodendaten erhoben, welche im Bericht der LWF dargestellt sind. Diese dienen hauptsächlich zum Vergleich untereinander um Standortunterschiede zu erfassen, und können als erklärende Variable in der weiteren Auswertung der Mortalitäts- und Wachstumsdaten der Anpflanzung verwendet werden. (Siehe Bericht FKZ: 22WC4-110-04, LWF)

Nebenergebnis 2: Vernetzung von Auwaldförstern

Durch das Projekt wurden 14 aktive Förster aus 9 Betrieben mit Auwald in Hessen, Bayern, Baden-Württemberg und Österreich angesprochen und vernetzt, und dazu 4 weitere tlw. ausgeschiedene Förster während der Planungsphase oder für den Leitfaden kontaktiert. Die Vernetzung fand hauptsächlich durch die Exkursionen zu Bewirtschaftungsbeispielen in Auwäldern (siehe Tab. 2 in AP1), den Begehungen der Anpflanzungen (Maßnahmen), sowie über die Mitwirkung am Leitfaden statt. Dies ist hervorzuheben, da Auwaldreviere zerstreut liegen, ihre Bewirtschaftung sich vom „normalen“ Landwald unterscheidet und somit hier der Erfahrungsaustausch vereinfacht und erhöht wurde.

Nebenergebnis 3: Landschaftliche Entwicklung des NSG Kühkopf-Knoblochsaue seit 1829

Der Kühkopf ist der größte rezente Hartholzauwald in Deutschland und wurde nach einem Deichbruch in den 80er seit Jahrzehnten aus der forstlichen Nutzung genommen, gleichzeitig wurden ehemalig offene Landschaften der Sukzession durch Auwald überlassen. Die hier dargestellten acht Zeitschnitte veranschaulichen, wie sich unterschiedliche Ereignisse (Rheindurchstich 1829; Deichbruch und darauffolgende Nutzungsaufgabe der landwirtschaftlichen Flächen 1983) über eine Spanne von 200 Jahren auf die Landnutzung im Naturschutzgebiet Kühkopf-Knoblochsaue und die unmittelbar angrenzenden Flächen auswirkten. Kartengrundlagen für die Digitalisierung sind Historische Karten (1829, 1840), Scans einiger dem Aueninstitut analog vorliegender Orthophotos (1934, 1953, 1975, 1989 und 2000), sowie für den aktuellsten Zeitschnitt das LBM-DE 2018 (© GeoBasis-DE / BKG 2021).

Für eine einheitliche Darstellung wurde in grobe Landnutzungsklassen (Gewässer, Wald, Offenland, Acker, Siedlung) unterteilt, da insbesondere auf den historischen Karten nicht genauer unterschieden werden konnte. Das Offenland besteht in erster Linie aus Grünland, sowie entlang der Gewässer aus wenig Röhricht und Kiesfläche. Unterschiedliche Wasserstände bei Befliegung können das Verhältnis zwischen Gewässer und Offenland zwischen den Zeitschnitten leicht verfälscht wiedergeben. Für die Digitalisierungsarbeit wurde die Software ArcGis Desktop 10.8 der Firma ESRI verwendet.

Am deutlichsten erkennbar sind die Veränderungen der Landschaft an der Wasserfläche. Während die Rheinschlinge nach dem Durchstich 1829 noch viel Wasser führte und der Wasserflächenanteil im Gebiet 32% betrug, nahm er dann mit Ausbau des Rheindurchstichs und Uferbefestigung auf die Hälfte ab (15-16%). Der Anteil an ackerbaulich genutzter Fläche stieg von 1840 bis in die 1980er Jahre kontinuierlich an und nahm bis zu einem Viertel der Fläche ein. Nach dem Deichbruch 1983 wurde die Ackernutzung eingestellt und heute die macht Ackerfläche weniger als 10% aus (angrenzende Äcker außerhalb des Naturschutzgebietes). Die Waldfläche nahm von den 1950er bis 1970er Jahren zu und verbleibt bis in die Gegenwart (abgesehen von kleinen Schwankungen) auf diesen Anteil von 36- 41%. Der Anteil des Offenlandes veränderte sich über betrachteten zwei Jahrhunderte ständig, besonders niedrig war die Ausdehnung 1829 mit 17% (dafür viel Wasserfläche) und 1975 mit 20% (dafür viel Ackerfläche). Siehe Abbildung 8, 9, 10.

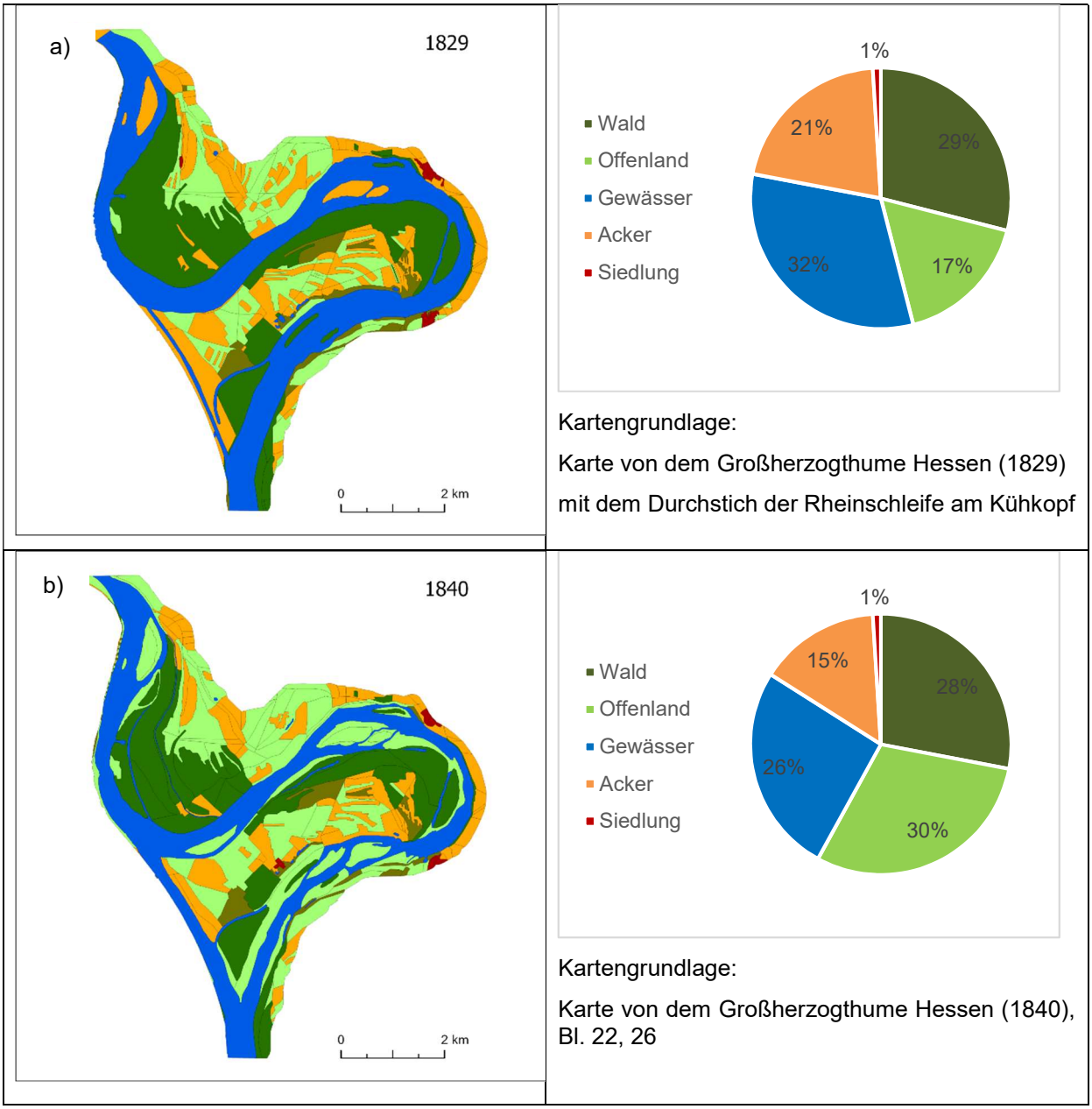


Abbildung 8: Kurz nach dem Rheindurchstich (a) und auch noch ein Jahrzehnt später (b) führte die Rheinschlinge viel Wasser, wie der hohe Anteil der Wasserfläche verdeutlicht. Zeitschnitte (a) 1829, (b) 1840

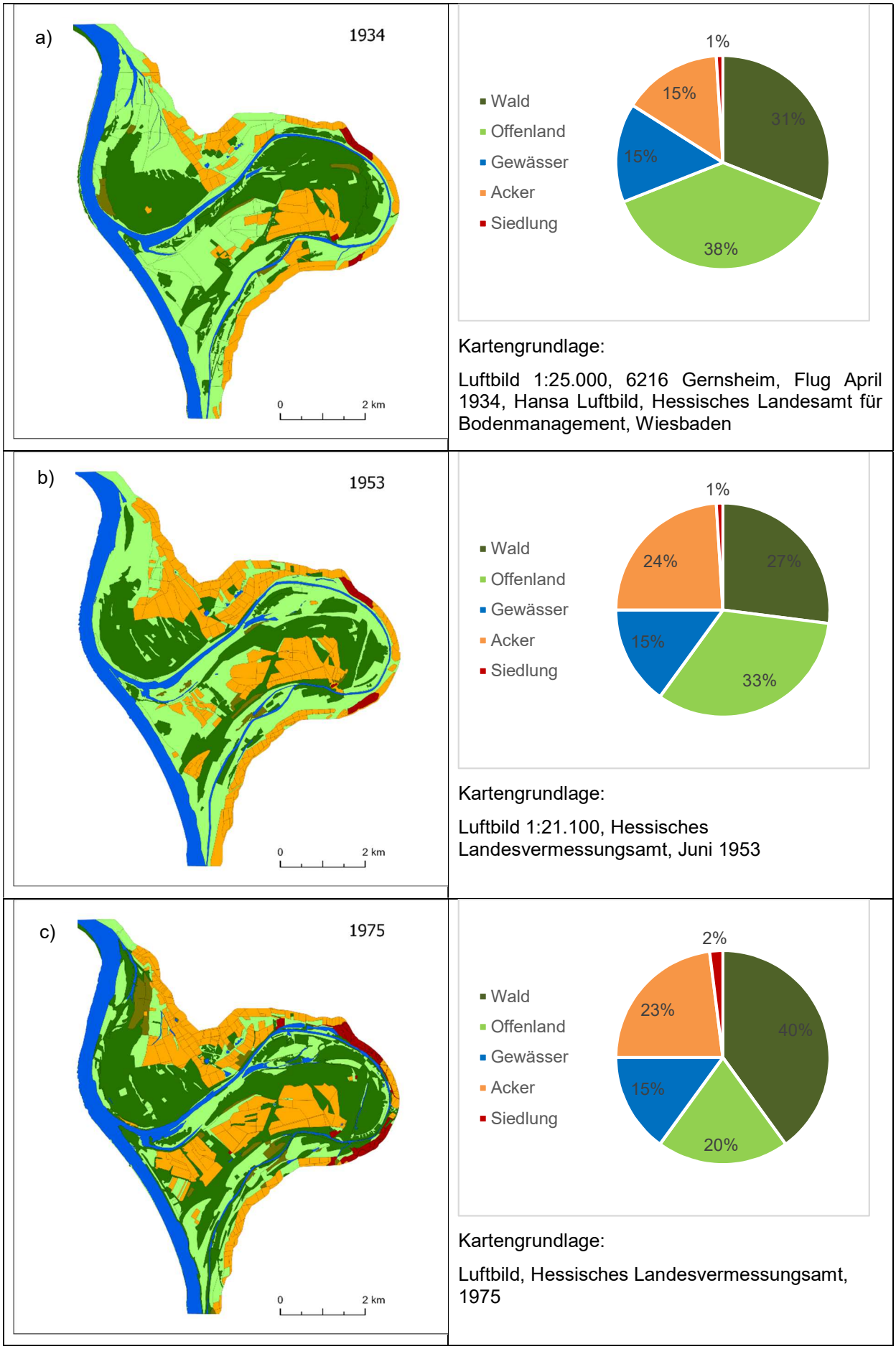
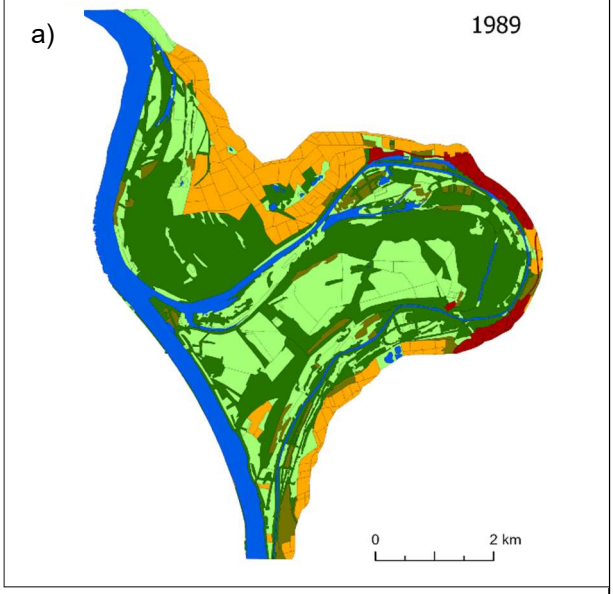
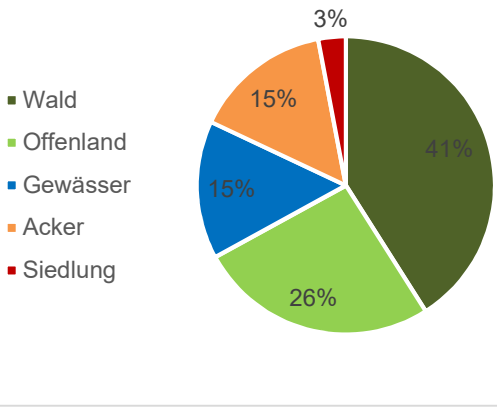


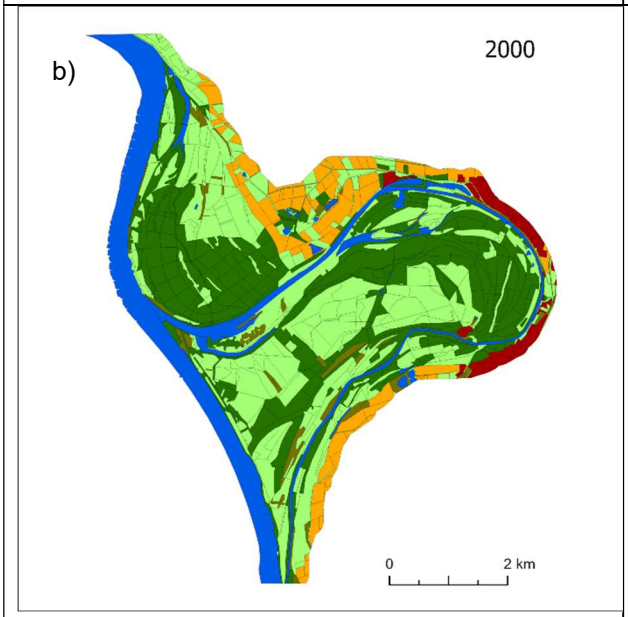
Abbildung 9: Mit dem Ausbau des Rheindurchstichs verringerte sich das Wasser in der Rheinschlinge. Die Ackerwirtschaft gewann an Bedeutung. Zeitschnitte (a) 1934, (b) 1953, (c) 1975.

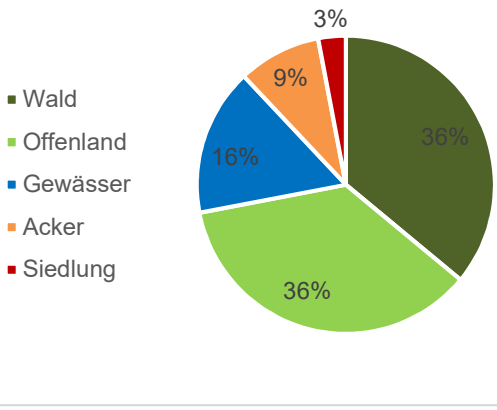




Kartengrundlage:

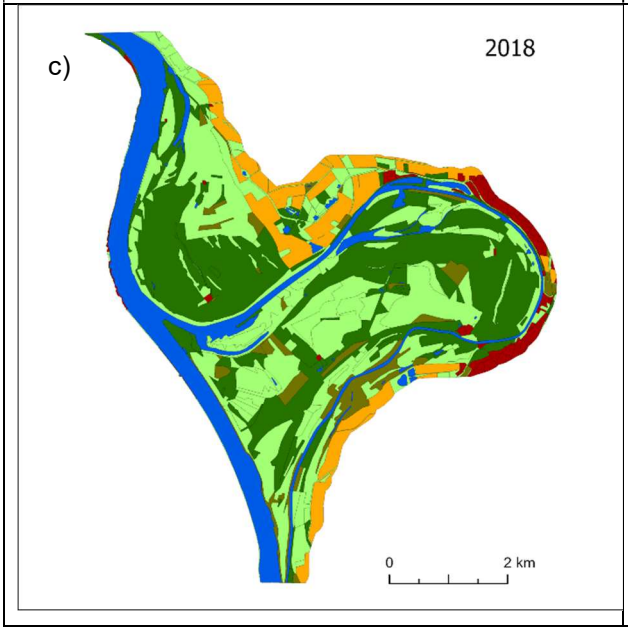
Luftbild, Hessisches Landesvermessungsamt, 1989

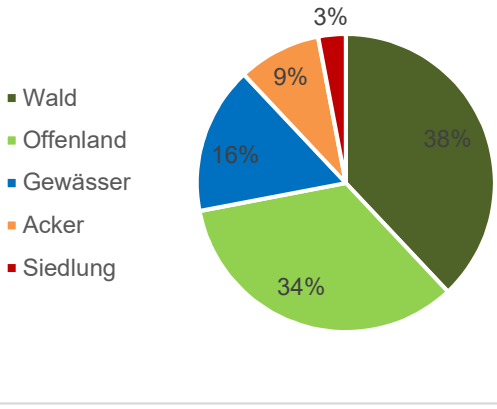




Kartengrundlage:

Luftbild, Hessisches Landesvermessungsamt, 2000





Kartengrundlage:

LBM-DE 2018 (© GeoBasis-DE / BKG 2021)

Abbildung 10. Entwicklung des Gebiets nach dem Deichbruch. Die Ackerwirtschaft wurde innerhalb des Kühkopfs aufgegeben, Offenland als extensives Grünland erhalten oder der Sukzession überlassen (olivgrün). Zeitschnitte (a) 1989, (b) 2000, (c) 2018.

2. Verwertung

Während der Projektlaufzeit wurde ein Leitfaden zur Auwaldbewirtschaftung erstellt (siehe AP14), welcher Baumarteneignung auf verschieden Auestandorten, Nutzwertanalyse, Waldentwicklungstypen für verschiedene Bestandsziele (ökonomisch, ökologisch, ausgewogen) sowie Best-Practice Beispiele enthält. Zugehörig zu dem Leitfaden wurden Faltblätter erstellt. Die Zielgruppe hierfür sind Waldbesitzer und andere Forstakteure wie Behörden oder Versuchsanstalten. Das Werk soll als ergänzende Entscheidungsgrundlage für die Praxis der Bewirtschaftung von Auwäldern dienen. Durch den regen Austausch von Wissenschaftler und Forstpraktikern konnten auf den gemeinsamen Treffen Umsetzungs- und Transferstrategien gut abgestimmt werden. Der tatsächliche, praktische Einsatz des Leitfadens für die Auwaldbewirtschaftung in Zukunft stellt die Anschlussfähigkeit des Projekts für andere Forstbetriebe, Behörden und Forschungseinrichtungen dar.

Eine besondere langfristige Verwertung bieten die Flächen in den vier Forstbetrieben, auf welchen die waldbaulichen Maßnahmen (Anpflanzungen) durchgeführt wurden. Eine wirtschaftliche und ökologische Beurteilung der durchgeführten forstlichen Maßnahmen wird erst nach Ende des Projektes und über mehrere Jahrzehnte möglich sein. Sie sind bei der LWF Datenbank als Dauerflächen erfasst, und sollen in Zukunft weiter von der LWF evaluiert werden. Das langfristige Monitoring der Maßnahmenflächen über den Projektzeitraum hinaus war bereits im Antrag erwähnt.
Weiterhin besteht besonders für die Flächen in der Rastatter Rheinaue die Möglichkeit, dass dort vom Aueninstitut betreute Abschlussarbeiten zu ökologischen Fragen durchgeführt werden (z.B. seltene Baumarten wie Flatterulme, Konkurrenzverhalten zwischen den Baumarten untersucht an den Parzellengrenzen, Entwicklung der Sukzession auf den Pufferflächen). Nicht zu unterschätzen ist auch die bereits vielfach genutzte Möglichkeit als Forstbetrieb interessante Beispielflächen präsentieren zu können.

Zusätzlich werden die anderen Partner des Projekts mehrere wissenschaftlich Publikation aus den Projektdaten verfassen und veröffentlichen, wie zur Ökonomie (Uni Freiburg), Vegetation (Uni Freiburg) und Bodenfauna und Zersetzung (Senckenbergmuseum Görlitz). Außerdem wurde ein Indikatoren- und Monitoringkonzept zur Auwaldbeständen erarbeitet (Siehe Bericht FKZ: 22WC4-110-02, Uni Freiburg). An dieser Stelle verweisen wir auf die separaten Schlussberichte der anderen Projektpartner.

3. Erkenntnisse von Dritten

Neue oder laufende Projekte, welche ähnliche Fragen verfolgen wie die der anderen Verbundpartner sind den dem jeweiligen Endbericht der Partner erwähnt.

4. Veröffentlichungen

Roeder M, R Unseld, A Reif, G Egger et al. 2021 (im Druck): Leitfaden zur Auwaldbewirtschaftung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow-Prüzen

Roeder M & Egger G (2021): Auwaldbewirtschaftung im Klimawandel, Auenmagazin 19, p.32-33

Vitzthum A L 2019 Untersuchung des natürlichen Verjüngungspotentials der Hauptbaumarten im Bereich der Hartholzaue unter Berücksichtigung der Überflutungsempfindlichkeit und des Wildverbisses. Masterarbeit am Karlsruher Institut für Technologie. 105 S.

Öffentlichkeitsarbeit:

Mehrere Berichte in der lokalen Presse über die Anpflanzungen während eines Pressetermins in der Rastatter Rheinaue März 2019: Badische Neuste Nachrichten, Badisches Tagblatt, SWR, Baden-TV und RAZ (Wochenzeitung Rastatt von A-Z).

Informationsschilder für Waldbesucher an den 8 Versuchsflächen des Verbundpartners LWF

Faltblatt für Leitfaden (wird mit der Veröffentlichung des Leitfadens gedruckt und verbreitet)

Informationsschild für Waldbesucher, Faltblatt zum Leitfaden, Pressespiegel,