

Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz	N.F. 22	3	491-535	2019	Freiburg im Breisgau 03. März 2019
--	---------	---	---------	------	---------------------------------------

Die Auenvegetation im Muschelkalkgebiet der Wutachschlucht, Südwestdeutschland

– Untersuchungen zur räumlichen Verteilung der Pflanzengesellschaften und der sukzessionalen Zusammenhänge

von

SOPHIE MAILÄNDER und ALBERT REIF *

Zusammenfassung:

Das Tal der Wutach, ein Mittelgebirgsfluss in Südwestdeutschland, ist durch heute noch vorhandene natürliche Auendynamik und standörtliche Vielfalt geprägt. Im Bereich des Muschelkalkabschnittes dieser Schlucht prägt die artenarme Pestwurzelflur (*Phalarido-Petasitetum hybridi*) die Pionierzone am Flussufer, unterbrochen von fragmentarischen kleinen Beständen der Wildkressen-Kriechstraussgras-Gesellschaft (*Rorippo-Agrostietum prorepentis*) und Rohrglanz-gras-Röhricht (*Phalaridetum arundinaceae*). Auf den höhergelegenen, seltener überfluteten Auenbereichen finden sich Waldgesellschaften, stellenweise auch großflächige, artenreiche Pestwurzbestände. Innerhalb der Waldvegetation wurde der Lavendelweiden-Wald (*Salicetum eleagni*) als typische Assoziation der Weidengesellschaften, der Grauerlenwald (*Alnetum incanae*), der Moschuskraut-Bergahorn-Wald (*Adoxo moschatellinae-Aceretum*) sowie aus Anbau hervorgegangene Fichtenbestände differenziert. Die vorherrschenden Vegetationstypen konnten teilweise geomorphologischen Strukturen und dem Überflutungsregime zugeordnet werden. Jedoch führt die Substratverlagerung zu ständigen räumlich-zeitlichen Veränderungen durch Erosion und Sedimentation sowie Sukzession.

Schlüsselwörter: Wutach, Weichholzaue, Auendynamik, *Alnus incana*, *Petasites hybridus*.

* M.Sc. Sophie Mailänder, Prof. Dr. Dr. h.c. Albert Reif, Universität Freiburg, Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Professur für Standorts- und Vegetationskunde, Tennenbacher Str. 4, D-79106 Freiburg. sophie.mailaender@waldbau.uni-freiburg.de; albert.reif@waldbau.uni-freiburg.de

The floodplain vegetation in the limestone canyon section of the Wutach river, South-west Germany

Abstract:

The floodplain vegetation along a section of the Wutach, a river of the lower mountains in south western Germany, has been studied. The focus was the survey of the plant communities and their correlation with spatial patterns and related site conditions. The temporal relationship between the communities and their potential distribution within succession was further part of the studies.

Vegetation surveys were made and the communities were identified. For spatial analysis, data about morphology and soil skeleton were collected. The Ellenberg indicator values were used to indicate the light, water and nutrient supply. The relation between species composition and site factors was illustrated by the NMDS ordination method. Furthermore, the regeneration was sampled in order to assess development trends within the stands.

Dominant community of the pioneer zone is the *Phalarido-Petasitetum hybridi*. Fragmentary, the *Rorippo-Agrostietetum prorepentis* and *Phalaridetum arundinaceae* are associations which can be found as narrow stripes, located directly at the stream. On the elevated and therefore less flooded areas there are mainly forest communities, but also large areas of the *Phalarido-Petasitetum hybridi*. Willow communities - especially the *Salicetum eleagni* -, grey alder forest (*Alnetum incanae*, the *Adoxo moschatellinae-Aceretum* and planted spruce (*Picea abies*)-stands formed the forest vegetation. Partly, the vegetation units could be related to certain geomorphological structures and the effect of the flooding regime. Ongoing high river morphodynamics and successional processes are still causing changes of the spatial distribution of the vegetation pattern.

Key words: Wutach, softwood forest, *Alnus incana*, *Petasites hybridus*.

1. Einleitung

Der Standort Aue kennzeichnet sich durch drei wesentliche Merkmale: (1) periodische bis hin zu episodischen Überschwemmungen, (2) starke Schwankungen des Grundwasserspiegels sowie (3) Erosions- und Sedimentationsprozesse (MOOR 1958; WILMANN 1989).

Das spezifische Überschwemmungsregime an einem Flussabschnitt und in den bestimmten Bereichen innerhalb der Auenfläche wird durch die Häufigkeit, die Dauer, den Zeitpunkt und die Intensität der Hochwasserereignisse charakterisiert (HUPP 1983; HUGHES 1997; BENDIX et al. 2000; POTT 2000; ELLENBERG & LEUSCHNER 2010), verbunden mit Erosions- und Sedimentationsprozessen.

Die Randbereiche des Flussbetts liegen periodisch trocken. Die Uferform variiert an den jeweils gegenüberliegenden Seiten einer Biegung. Die

Erosionskraft ist auf der äußeren Seite dort besonders groß, dort schneidet das Wasser ein steiles Ufer ein (Steilufer am Prallhang). Auf der gegenüberliegenden Seite fließt das Wasser langsamer und formt am Gleithang eine breite, flach ansteigende Uferzone (MOOR 1958; POTT 2000; AHNERT 2009; ZEPP 2011).

Hinter dem Flussbett schließen sich kleine Terrassen aus alluvialen Sedimenten an, die nur von den seltenen Hochwassern überspült werden (MOOR 1958; RICHARDS 1982). Mit der Entfernung zum Fluss nehmen die Fließgeschwindigkeit und die Häufigkeit der Überschwemmungen ab. Zusätzlich stellt die Vegetation ein Hindernis für Wasser und Substratteilchen dar. In die weiter entfernten Bereiche gelangt daher vor allem die Schwebstofffracht aus Feinsand, Ton und Schluff und lagert sich dort als Auelehm ab (HUPP 1983; AHNERT 2009; ZEPP 2011).

Die Vielzahl an Standorten und Strukturen sowie die spezifische Dynamik des hydrologischen Regimes prägt auch die Verteilung der Arten und der von ihnen gebildeten Gesellschaften (vgl. HUPP 1983). Die Reihenfolge der Vegetationstypen weg vom Flussbett hin die Aue entspricht in etwa der zeitlichen Entwicklung, die bei ausbleibender Störung an einem Ort stattfinden würde. Die Pioniervegetation würde sich über Röhrichte und Staudengesellschaften aus mehrjährigen Pflanzen zu Gebüschern und Wäldern der Weich- und Hartholzaue umwandeln (MOOR 1958). Jedoch wird durch die wiederkehrenden Überflutungen und Substratverlagerungen die Entwicklung der Vegetation immer wieder unterbrochen und Wiederbesiedlung initiiert oder in frühere Sukzessionsstadien zurückgeworfen.

Die Serie der Sukzessionsstadien verläuft vor allem nahe des Flusses meist unvollständig, das Schlussstadium der Waldgesellschaft wird dort meistens nicht erreicht. So können Staudenfluren, die auf eine Pioniervegetation gefolgt sind, durch regelmäßige Störungen (Überflutungen) zur Dauergesellschaft werden (ELLENBERG & LEUSCHNER 1996).

2. Untersuchungsgebiet

2.1 Räumliche Gliederung und Landschaftsgeschichte

Das Wutachgebiet ist eine wissenschaftlich bedeutsame Beispielregion für viele geomorphologische Prozesse und Formen. Die gesamte vertikale Abfolge der Gesteinsschichten Süddeutschlands kann hier auf engem Raum in der Horizontalen nachvollzogen werden. Durch die Hebung des südlichen Schwarzwalds bedingt, neigt sich das Gelände nach Südosten und die Schichten folgen oberflächlich in dieser Richtung mit abnehmendem Alter aufeinander. Die Wutachschlucht lässt sich anhand der Gesteinsabfolge, die

sie durchbricht, in drei Hauptabschnitte einteilen: Von der Gutachbrücke bei Neustadt bis zur Schattenmühle verläuft sie in der silikatischen Grundgebirgsschlucht aus Buntsandstein, geht dann bis zur Gauchachmündung in den Muschelkalk über, und verläuft ab dort bis zur Flussablenkung bei Achdorf im breiten Abschnitt des Keupers bis zum Opalinuston (LIEHL 1971; GROSSMANN 2014; NITSCH 2014).

Naturräumlich gesehen ist das Gebiet der Wutachschlucht als Landschaftsraum „Alb-Wutach“ zwischen den zwei Haupteinheiten „Schwarzwald“ und „Schwäbische Alb“ eingefasst (LIEHL 1971; GROSSMANN 2014).

Die Untersuchungsflächen dieser Arbeit liegen im Abschnitt des Muschelkalks zwischen Schattenmühle und Wutachmühle innerhalb des

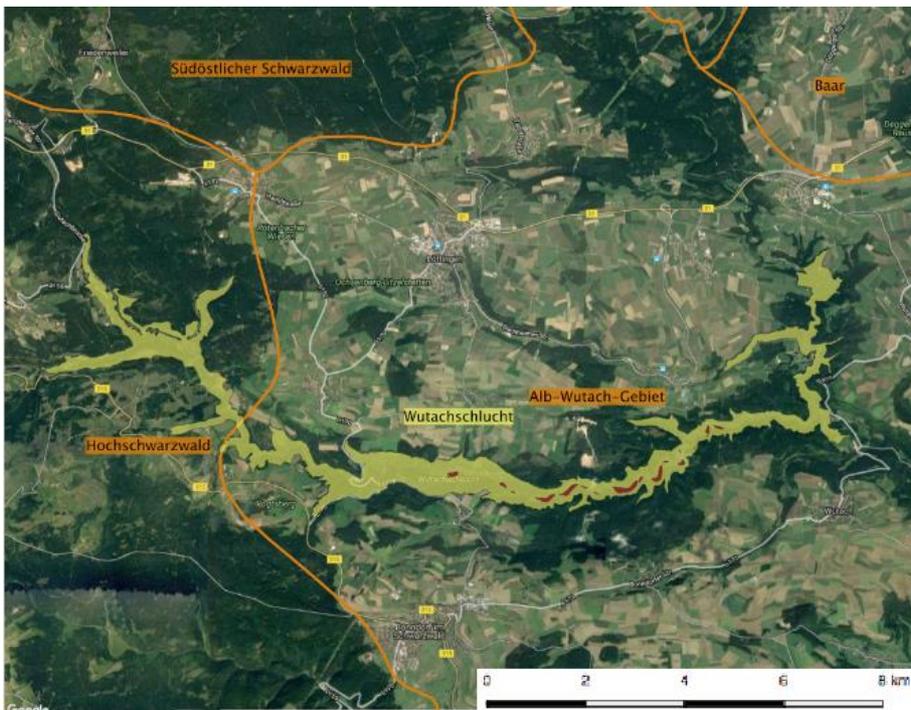


Abb. 1: Übersichtskarte der Wutachschlucht mit den Grenzen der naturräumlichen Einheiten sowie des Naturschutzgebiets „Wutachschlucht“. Rote Bereiche sind flächig ausgeprägte Auenstandorte, sie wurden mit Probeflächen erfasst. Hintergrundkarte: ©GeoBasis DE/BKG (©2009), Google, Inst. Geogr. Nacional Grafiken © 2016 TerraMetrics. Shapefiles zu Naturraum und Naturschutzgebiet: © 2016 Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Gez.: Sophie Mailänder.

Naturschutzgebiets „Wutachschlucht“ (Abb.1). Der Fluss hat hier ein Tal mit steilen Hängen geformt (PANKOW 2014). Die Talsohle ist stellenweise kaum über das Flussbett hinaus ausgeprägt, weitet sich aber häufig auch auf hundert Meter und mehr. Der Talboden ist mit fluvioglazialen Geschiebe und Hangschutt gefüllt. Die Wutach pendelt darin zwischen den Talseiten hin und her. Durch Hochwasser verändert sie zum Teil bis heute ihren Lauf. Sie formt flache Gleithänge und Inseln aus Kies und Sanden, schneidet aber auch häufig direkt die steile Muschelkalk-Felswand an. Insgesamt lassen sich starke Wechsel von Strömungsdynamik, Substrat und Formung des Flussbetts erkennen (STEEGMÜLLER 2014).

2.2 Hydrologie und Klima

Das Untersuchungsgebiet liegt in der feucht-temperierten Klimazone Mitteleuropas (NEUWIRTH 1971). Hohe Niederschläge und relativ niedrige Jahresmitteltemperaturen (Jahresmitteltemperatur 3,9°C) prägen das Großklima im Einzugsgebiet der Wutach (LORITZ & HAFERKORN 2014). Innerhalb der Schlucht treten kleinklimatische Unterschiede auf, die sich in Form von wechselndem Licht, Temperatur- und Wasserhaushalt äußern. Vor



Abb. 2: Aue der Wutach mit eschenreichem Moschuskraut-Ahorn-Auwald sowie Pestwurzflur am Ufer (Foto: Reif, 10.5.2006)

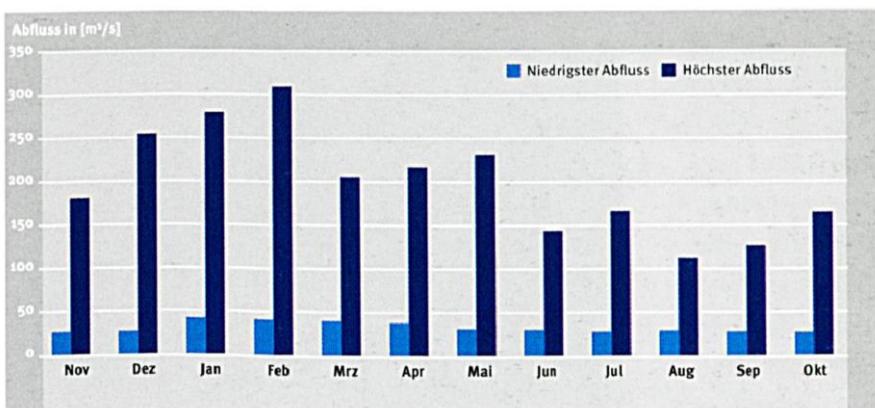


Abb. 3: Höchste und niedrigste Monatsabflüsse der Wutach am Pegel Egwatingen (1985-2012); Rohdaten der LUBW 2013, bearbeitet von LORITZ & HAFERKORN 2014.

allein die variierenden Strahlungsverhältnisse zwischen den eng beieinander liegenden Hängen führen zu ausgeprägten Unterschieden von Temperatur und Wasserhaushalt (WILMANN 2014).

Im Schluchtabschnitt des Mittellaufs (Abb.2) werden aufgrund der noch hohen Fließgeschwindigkeit vor allem Kiese und Schotter transportiert und sedimentiert, gleichzeitig findet noch immer Tiefenerosion statt (Simon 2014). Dies bedeutet auch, dass nicht Sauerstoffmangel im Wurzelbereich, sondern die Morphodynamik (Erosion – Transport – Sedimentation) der auenprägende standörtliche Faktor ist.

Infolge der Schneeschmelze und hoher Niederschlagsmengen treten die größten Hochwasser im Frühjahr auf. Im gesamten Winterhalbjahr – von November bis April - liegen die mittleren Monatsabflüsse deutlich über denen der Sommermonate (SCHWARZMANN 1971; LORITZ & HAFERKORN 2014). Das letzte Jahrhunderthochwasser trat im Februar 1990 auf, das letzte 20-jährige Hochwasser wurde im Januar 1995 aufgezeichnet (LORITZ & HAFERKORN 2014).

2.3 Vegetation und Naturschutz

Kleinräumige Wechsel der mikroklimatischen Bedingungen an den Hängen der Wutachschlucht und eine Vielfalt an Verwitterungs- und Bodenbildungsprozessen auf dem unterschiedlichen geologischen Untergrund haben zu einer großen Standortdiversität geführt. In der Talsohle schafft der Fluss durch seine hohe Dynamik immer wieder neue Lebensräume und lässt andere verschwinden. Entsprechend vielfältig sind

Flora und Fauna an den Hängen und auf dem Talboden der Schlucht (TRIBUKAIT et al 2014; WILMANN 2014).

Auch im Maßstab von pflanzengeographischen Zusammenhängen ist die Wutachregion eine Besonderheit im süddeutschen Raum, da sich hier zusätzlich zur Standortvielfalt Arten Mitteleuropa sowie drei weiteren europäischen biogeographischen Arealtypen treffen. Über das Donautal besteht eine Verbindung zu subkontinentalen Vegetation Osteuropa, die räumliche Nähe zu den Alpen führt zum reliktschen Vorkommen von Gebirgsarten, und über die Burgundische Pforte konnten submediterrane Arten einwandern (OBERDORFER 1971).

Die Wutachschlucht wurde bereits 1939 unter Schutz gestellt und zählt damit zu einem der ältesten Naturschutzgebiete Deutschlands. Zahlreiche geschützte Biotop und Natura 2000-Flächen finden sich in diesem Gebiet, darunter auch die Gesellschaften der Hangschutt- und –Schluchtwälder und der Auenwälder mit dem Grauerlenwald, dem Hainmieren-Schwarzerlenwald und der Weichholzaue (TRIBUKAIT et al. 2014; WILMANN 2014).

3. Methodik

3.1 Datenerhebung

Innerhalb des Muschelkalkteiles der Schlucht, also zwischen Schatten- und Wutachmühle, wurden die Auenbereiche fast vollständig erfasst. Bei der Platzierung der vegetationskundlichen Aufnahmeflächen im Gelände wurden die Kriterien der Homogenität von Standort und Bestandesstruktur sowie der Repräsentativität berücksichtigt (DIERSSEN 1990; DIERSCHKE 1994; FISCHER 2003; TREMP 2005). Für die Bestände mit bzw. ohne Gehölze sowie für die Flutrasenbestände wurden unterschiedliche Größen der Probenflächen gewählt (Flächen mit Gehölzen: 100 m²; ausreichend breite, gehölzfreie Flächen: 10 m², schmale Flutrasen: 1 m²). Für die Flutrasen konnte die Minimalfläche wegen der meist sehr geringen Gesamtfläche von nur wenigen Quadratmetern nicht immer gewährleistet werden.

Die Anzahl der Aufnahmeflächen wurde in dieser Arbeit bereits durch die begrenzte Gesamtfläche an Auenbereichen und deren kleinräumige Untergliederung bedingt. Die angestrebte Anzahl von Aufnahmeflächen eines jeden Vegetationstyps (DIERSCHKE 1994) konnte aufgrund ihrer Seltenheit nicht immer eingehalten werden.

Die Vegetationsaufnahmen fanden im Juni und Juli 2016 statt. Die Artmächtigkeit wurde anhand der kombinierten Abundanz-Dominanz-Skala nach Braun-Blanquet in der Erweiterung nach REICHEL und WILMANN (1973) erfasst. Die Höhen der Schichten wurden wie folgt definiert:

Krautschicht 0 - 150 cm, Strauchschicht 150 cm - 5 m, Baumschicht >5 m. Die Nomenklatur der Pflanzenarten folgt OBERDORFER (2001).

Der Anteil und die Größenverteilung des Bodenskeletts sowie die Korngrößenzusammensetzung des Oberbodens wurden mit Geländemethoden erfasst, um Informationen über die Fließgeschwindigkeit und damit die Strömungsdynamik zu erhalten. Der Bodenskelettanteil wurde in Anlehnung an Caspari und Schack-Kirchner (2015) in fünf Klassen ermittelt (Klasse **1**: <2 %; **2**: 2-10 %; **3**: 10-25 %; **4**: 25-50 %; **5**: 50-75 %; **6**: >75 %). Das Grobskelett wurde in fünf Durchmesserklassen untergliedert (Klasse **A**: 0,2-1 cm; **B**: 1-5 cm; **C**: 5-10 cm; **D**: 10-20 cm; **E**: > 20 cm). Die prozentualen Anteile des Gesamtskeletts sowie der verschiedenen Größenklassen wurden für die 1 m²- und 10 m²-Plots auf der gesamten Bodenoberfläche geschätzt. Für die 100 m²-Plots erfolgte die Schätzung im Sinne eines einheitlichen Methodendesigns auf einer 10 m²-Fläche am flussabwärts gelegenen Ende des Plots. Innerhalb dieser Bereiche wurde die Bodenart des Feinbodens abgesprochen.

Auf den Aufnahmeflächen wurde die Gehölzverjüngung in der Krautschicht quantitativ erfasst. Die Individuen wurden auf der 100 m² großen Fläche ausgezählt und nach der „Aufnahmeanweisung permanente Betriebsinventur 2014“ des Landesbetriebs Forst Baden-Württemberg (FORST-BW) in drei Höhenklassen unterteilt (**1**: bis 20 cm; **2**: 21-50 cm; **3**: 51-150 cm). Hierbei wurde die Stufe 3 bis 150 cm erweitert. Die Etablierung der Verjüngung in der Strauchschicht wurde nicht über die der Anzahl Individuen, sondern durch die Mächtigkeitsangaben aus den Vegetationsaufnahmen erfasst.

3.2 Auswertung

3.2.1 Klassifikation der Vegetationsaufnahmen

Eine numerische Klassifikation der Vegetationsaufnahmen wurde aufgrund der Verschiedenheit der einbezogenen Pflanzengesellschaften durch manuelle Sortierung weiter differenziert (Tab. I, II). Die Benennung der Syntaxa erfolgte in der Regel nach OBERDORFER (1957, 1977). Die Zeigerwerte nach ELLENBERG (1992) wurden gewichtet berechnet. Hierfür wurden die Artmächtigkeitswerte der Braun-Blanquet-Skala in eine ordinale Skala umgewandelt (+ = 1, 1 = 2, 2m = 3, 2a = 4, 2b = 5, 3 = 6, 4 = 7, 5 = 8).

3.2.2 Gradientenanalyse

Um Rückschlüsse auf die floristischen und standörtlichen Gemeinsamkeiten zu bekommen, wurden die Vegetationsaufnahmen anhand einer indirekten Gradientenanalyse in Form der nicht-metrischen multidimensionalen Skalierung (nMDS) ordniert, bei welcher die Aufnahmeflächen anhand ihrer floristischen Ähnlichkeit angeordnet werden (DIERSSEN 1990; DIERSCHKE 1994; TREMP 2005; DORMANN & KÜHN 2009).

Die Gehölzarten wurden für alle Schichten getrennt verrechnet, um die Vorkommen in verschiedenen Schichten einzubeziehen. Arten, welche in weniger als 5 % der Plots auftraten, wurden wegen der Streuungseffekte aus der Analyse ausgeschlossen.

Die numerischen Analysen wurden mit dem Programm R Studio, dort mit dem Paket „vegan“ durchgeführt. Die Varianzen wurden anhand der Funktion „metaMDS“ berechnet und der Bray-Curtis-Index als Distanzmaß verwendet. Die Signifikanz der Unähnlichkeiten zwischen den Punkten – die Plots oder Arten - in Bezug auf einen bestimmten Umweltfaktor wurde mit dem MRPP-Verfahren („Multi-Response Permutation Procedure“) getestet.

3.2.3 Bodenskelett

Die erfassten Daten über das Bodenskelett wurden über eine hierarchische Clusteranalyse mit dem Programm RStudio (Version 0.98.1083) ausgewertet. Hierfür wurde die Funktion „agnes“ aus dem Paket „vegan“, verwendet. Die in der Geländearbeit verwendeten Zifferncodes des Gesamtskeletts wurden in den jeweiligen prozentualen Mittelwert sowie die Substratgrößenklassen A bis E in die mittleren Durchmesser umgewandelt. Für die Berechnung der Unähnlichkeit wurde die Euklidische Distanz gewählt und die Gruppierung anhand der Methode „flexible“ durchgeführt. Das Cluster-Diagramm wurde in sechs Gruppen (k=6) von Probestellen mit jeweils sich ähnelnder Skelettgrößenzusammensetzung unterteilt.

3.2.4 Verjüngung

Die Gehölzverjüngung wurde graphisch mit dem Programm RStudio ausgewertet. Die Analyse erfolgte deskriptiv, da der Umfang der Datengrundlage für das Testen von Korrelationen nicht ausreichend groß ist. Für die Erstellung der Balkendiagramme wurde das Paket „ggplot2“ sowie die Pakete „lattice“, „grid“ und „gridExtra“ für das erweiterte Design der Graphiken verwendet.

Um den Einfluss der vorherrschenden Baumartenzusammensetzung zu untersuchen, wurde die Verjüngung in den einzelnen Plots graphisch mit der jeweiligen Deckung der Gehölzarten in Baum- und Strauchschicht verglichen.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Geländestrukturen

In dem untersuchten Abschnitt der Wutach wechseln sich gerade Abschnitte, leichte Biegungen und weite Schlingen in einem unregelmäßigen Muster ab. Entsprechend folgen die überfluteten Bereiche in unterschiedlichen Abschnitten aufeinander und variieren stark in Länge, Breite und Form.

Häufig erstrecken sich die Auen über die gesamte Schwingung des Gleithangs, zum Teil sind sie jedoch nur fragmentarisch ausgebildet und liegen im Übergangsbereich zum Prallhang, mancherorts fehlt eine Aue ganz. Eine große Vielfalt an verschiedenen Vegetationseinheiten ist auf Flächen vertreten, die sich über mindestens hundert bis mehrere hundert Meter entlang des Flusslaufs erstrecken und eine größere Breite aufweisen. Doch auch auf den kleineren, zum Teil nur etwa 20 m breiten Auen hat sich bei einem heterogenen Relief eine Abfolge aus mehreren schmalen Zonen verschiedener Pflanzengesellschaften entwickelt.

Die dem Wasser nächstliegende Zone ist meist ein Flachuferbereich, der im Sommer auf Höhe der Wasserlinie liegt. Hin und wieder erheben sich vor dem Ufer Schotterinseln aus dem Wasser, die bei Hochwasser hoch überflutet sind. In der Regel erstreckt sich das Flachufer entlang des mittleren Abschnitts der Gleithänge und endet vor dem Übergang zum Prallhang. Das Gelände der Auenfläche steigt stellenweise allmählich und mit leichter Steigung an, kann aber auch abrupt in ein steiles Ufergestade oder einen erhöhten, landseitig wieder leicht abfallenden Uferwall übergehen. Häufig wird die Grenze zwischen flachem Uferbereich und höher gelegene Aue durch ein Steilufer gebildet, dessen anschließende Terrasse bei Normalwasserstand etwa 1 bis 1,5 m über der Wasserlinie liegt. An diesen Uferformen lässt sich die Kraft des strömenden Wassers nachvollziehen, die an den Steilufern vor allem erodierend wirkt, an anderen Stellen aber scheinbar schwächer ist und dort weichere Bereiche formt.

Vom Fluss weg und in die Aue hinein zeigt jeder Auenbereich ein individuelles Geländeprofil, als Folge einer räumlich wechselnden hydrologischen Dynamik. Nach dem Anstieg im Uferbereich erstreckt sich die Aue stellenweise in eine breite Terrasse, stellenweise zieht sich zunächst ein flacher Uferwall am Fluss entlang, der dann im hinteren Bereich wieder abfällt. In den Randsenken liegt das Bodenniveau wieder nahe an der Sommerwasserlinie. Häufig wird das Geländeprofil von einigen Metern breiten Rinnen durchbrochen, welche die Wutach während der Überflutungsereignisse dort eingeschnitten hat. Die Aue endet entweder am steilen Hang der Schlucht oder an einer Hochterrasse, deren Höhe eine regelmäßige Überflutung der dahinterliegenden Flächen verhindert.

4.2 Pflanzengesellschaften und räumliche Verteilungsmuster

Die Auenbereiche der Wutach können in die flachen Uferbereiche auf Höhe der Sommerwasserlinie und die höher gelegenen Bereiche untergliedert werden. Jedoch ist diese Zonierung nicht immer idealtypisch ausgeprägt. Die Muster aus Standorten und Vegetationstypen sind in jedem einzelnen Auenbereich individuell kombiniert, oftmals treten sie nicht in der idealtypischen räumlichen Abfolge auf.

Ein Zusammenhang zwischen die topographischen Geländeeigenschaften mit den Anteilen von Bodenskelett und darüber mit der Vegetation lässt sich vermuten. Für manche Pflanzengesellschaften lässt sich die Bindung an eine bestimmte Lage innerhalb der Auenfläche recht deutlich erkennen, zum Teil ist die Beziehung zum Gelände jedoch nur angedeutet.

4.2.1 Pioniervegetation der gehölzfreien Uferbereiche (Tab. I)

Die flachen Uferbereiche, die auf Höhe des sommerlichen Wasserspiegels liegen und zu Beginn der Geländearbeit im Juni oft noch einige Zentimeter unter Wasser standen, sind Pionierstandorte unter dem Einfluss von zeitweisen Überschwemmungen und der mechanischen Belastung durch das strömende Wasser. Sträucher und Bäume fehlen vollständig, nur vereinzelt lassen sich kleine Jungflanzen in der Krautschicht finden.

An den offenen Uferbereichen herrschen insgesamt gute Lichtverhältnisse, hier haben sich fast ausschließlich die Flutrasen der Sumpfkressen-Kriechstraußgras-Gesellschaft (*Rorippo-Agrostietetum*) oder des Rohrglanzgras-Röhrichts (*Phalaridetum arundinaceae*) sowie artenarme bzw. überflutungsgeprägte Formen der Pestwurz-Flur (*Phalarido-Petasitetum hybridum*) angesiedelt.

Nur wenige angepasste Arten können sich unter den extremen Standortverhältnisse dauerhaft etablieren (MOOR 1958; SCHWABE 1987; ELLENBERG & LEUSCHNER 1996). Es finden sich dort Arten mit Eigenschaften wie Einjährigkeit, hoher Regenerationsfähigkeit, vegetativer Vermehrung oder ausgeprägter Wurzelbildung (HUPP 1983; ELLENBERG & LEUSCHNER 1996; POTT 2000; JÜRGING 2006). Für diese störungstoleranten Arten gibt es kaum Konkurrenzdruck, es entwickeln sich artenarme, offene Dominanzbestände.

Die Flutrasen und das Rohrglanzgras-Röhricht stehen auf gleicher Geländehöhe mit den artenarmen Ausprägungen der Pestwurzflur, aber etwas tiefer als deren artenreiche Ausprägung, in welcher sich bereits weitere Hochstaudenfluren und Waldarten etabliert haben. Diese Nischenbesetzung der Grasgesellschaften wurde auch in anderen Mittelgebirgsauen beobachtet (MOOR 1958; SCHWABE 1987). Trotz des engen räumlichen Kontakts gibt es kaum Durchdringung der Bestände. Beide stehen hauptsächlich auf kiesigem Untergrund, nur selten fehlte ein hoher Skelettanteil im Oberboden. Die Bindung der Gesellschaften an eher feinkörnigen, sandig bis tonigen Untergrund wurde ebenfalls in anderen Untersuchungen festgestellt (MOOR 1958; OBERDORFER 1977; SCHWABE 1987).

4.2.1.1 Kriechstraußgras-Gesellschaft (*Rorippo-Agrostietetum*)

In diesen niedrig gelegenen Flutrasen prägen das Kriechstraußgras (*Agrostis stolonifera* ssp. *prorepens*) und Sumpf-Kresse (*Rorippa sylvestris*) die Bestände, wobei erstere Art in der Stetigkeit deutlich überwiegt (Tab. I/1-10). Neben diesen treten kaum weitere Arten und dann nur selten solche mit

bedeutenden Deckungsanteilen auf. Bemerkenswert ist Wasser-Kresse (*Nasturtium officinale*) als häufiger Begleiter. Im Unterschied zu den entsprechenden historischen Aufnahmen von OBERDORFER (1971) tritt die Gauklerblume (*Mimulus guttatus*) heute nur selten auf, fehlt in den heute erfassten Probeflächen der Kriechrasen sogar vollständig, während sie damals als dritte Charakterart genannt wurde.

4.2.1.2 Rohrglanzgras-Röhricht (Phalaridetum arundinaceae)

Das Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) bildet eine hochwüchsige Röhrichtzone, das Phalaridetum arundinaceae (Tab. I/11-18). Weitere Arten treten auch hier nur in geringer Zahl und Menge auf. Typische Begleiter mit hoher Stetigkeit sind *Agrostis stolonifera* und *Rorippa sylvestris*. Oberdorfer (1971) nennt für die Wutachschlucht den Krausen Ampfer (*Rumex crispus*) als lokale Assoziationsdifferentialart, die Art wurde auf den hier erfassten Probeflächen allerdings nicht angetroffen.

4.2.1.3 Phalarido-Petasitetum hybridi (Pestwurzfluren)

Auffällige Charakterart der Pestwurz-Flur ist die namensgebende Pestwurz (*Petasites hybridus*) (Tab. I/19-46) (Abb. 4, 5). Häufigkeit und Mächtigkeit zusätzlicher Arten erlauben eine Differenzierung in eine artenarme und zwei artenreichere Ausbildungen.

Die artenarme Ausbildung besiedelt den unmittelbar am Ufer liegenden Streifen in der Zone der Pionierstandorte. Dort finden sich beinahe reine Pestwurzbestände, in denen nur vereinzelt und dann in geringer Menge andere Pflanzen vorzufinden sind (Tab. I/19-30). Das Substrat ist grobes Geröll mit hohen Anteilen von Korngrößen über 10 cm Durchmesser und einem fast hundertprozentigen Skelettgehalt. Nur vereinzelt haben sich sandige Feinsedimentanteile in den Zwischenräumen abgelagert. Dies weist auf eine zeitweise hohe Fließgeschwindigkeit im Uferbereich sowie gute Perkolation des Wassers im Wurzelbereich hin.

Arten stickstoffreicher, frischer bis nasser Saumgesellschaften differenzieren die Ausbildungen der Pestwurz-Flur mit Kriechendem Hahnenfuß (Tab. I/31-35) und mit Brennessel (Tab. I/36-46) gegenüber der artenarmen Ausbildung und leiten mit ihrem Vorkommen den Übergang zur Weichholzaue ein. Die Ausbildungen weisen eine artenreichere Krautschicht auf, welche sich unter- aber auch oberhalb des Daches aus Pestwurzblättern einfindet. Nitrophile Arten wie Knoblauchsrauke (*Alliaria petiolata*), Hunds-Quecke (*Elymus caninus*), Klebkraut (*Galium aparine*), Stadt-Nelkenwurz (*Geum urbanum*) und Gundermann (*Glechoma hederacea*) kommen an den nassen störungsreichen Standorten der Ausbildung mit Kriechendem Hahnenfuß hochstet, aber individuenarm vor, während sie in der Ausbildung mit Brennessel flächendeckende Anteile einnehmen.

Die Differenzierung der Ausbildung mit Kriechendem Hahnenfuß beruht auf dem Vorkommen von Arten nasser, offener und störungsreicher Standorte,

die Bestände finden sich an den Pionierstandorten der Flachuferbereiche. Die Ausbildung ist mit nur sechs Aufnahmen relativ schwach repräsentiert, für diese lassen sich keine häufigen Begleiter identifizieren. Das Vorkommen von Arten wie Rosenrotes Weidenröschen (*Epilobium roseum*), Acker-Schachtelhalm (*Equisetum arvense*), Weiß-Klee (*Trifolium repens*) und anderen unterstützt dennoch die Einordnung dieser Ausbildung in einen häufig überfluteten Pionierstandort.

Deutlich artenreicher ist die Ausbildung mit Brennessel. Der große Anteil hochwüchsiger Stauden und typischer Vertreter des eigentlichen Auenwaldes weist auf den Übergang zwischen den Uferpioniergesellschaften und den Gesellschaften der Weichholzaue hin. Unter dem kaum lichtdurchlässigen Dach der Pestwurzblätter siedeln sich halbschatten- und schattentolerante Arten wie Geißfuß (*Aegopodium podagraria*), Goldnessel (*Lamium galeobdolon*) und Wald-Ziest (*Stachys sylvatica*) an, welche auch im Auenwald den Unterwuchs prägen. Zugleich gedeihen lichtbedürftige Arten wie Masken-Distel (*Carduus personata*) und Kohl-Kratzdistel (*Cirsium oleraceum*), die in den schattigeren Wäldern stark zurücktreten. Nässe- und störungstolerante Arten finden sich kaum mehr.

Die Standorte dieser Ausbildung ähneln daher stärker denen der Waldgesellschaften als diejenigen der beiden anderen Ausprägungen des Phalarido-Petasitetum. Entsprechende Probestellen finden sich bei allmählichem Geländeanstieg, oder auch hinter einem Steilufer, das die unmittelbare Grenze zum Fluss darstellt. Auf diese Ausbildung nimmt auf großen Auenflächen oft viel Raum ein und erstreckt sich bis zu 50 m in die Fläche hinein. Im Auenquerschnitt stellt sie - im Gegensatz zu den Flachufergesellschaften - nicht unbedingt eine Zone dar, die der Weichholzaue vorgelagert ist. Vielmehr liegt sie im Längsverlauf der Aue häufig neben den Waldgesellschaften oder Gehölzstreifen auf Uferwällen. Der Skelettanteil der Böden variiert innerhalb dieser Ausbildung zwischen sehr geringen und sehr hohen Werten. Auch die Korngrößenzusammensetzung des Feinbodens reicht von vorwiegend sandigen bis zu tonigen Fraktionen. Ein allgemeiner Rückschluss auf die aktuelle Fließgeschwindigkeit von Hochwasser und damit das Störungsregime lässt sich daher kaum ziehen. Es ist aber anzunehmen, dass die Strömungskraft mit der Höhe der Bodenoberfläche und der Distanz zum Flussufer abnimmt.

4.2.1.4 Nitrophile Säume, Staudenfluren, initiales Himbeergebüsch

An wenigen Stellen finden sich Staudenfluren und Säume (Tab. I/47-50) sowie Initialstadien des Himbeer-Gebüsches. Hier finden sich Unterwuchsarten des Waldes, von Staudenfluren und der nitrophilen Säume.



Abb. 4: Pioniervegetation mit Pestwurz an kiesigem Ufer der Wutach (Foto: Reif, 8.4.2016).



Abb. 5: Pioniervegetation mit Pestwurz an kiesigem Ufer der Wutach. Angrenzend Grauerlenwald (Foto: Reif, 21.4.2017).

4.2.2 Waldgesellschaften (Tab. II)

Gehölze können sich erst oberhalb der mittleren Sommerwasserlinie ansiedeln, wo raschwüchsige Baumarten die Weichholzaue bilden. Im Anschluss an die gehölzfreien Uferbereiche entwickelt sich zunächst ein Gürtel aus Weidengebüschen- bzw. -wäldern. In kalkreichen Auen der montanen Lage übernimmt auf höher gelegenen und damit seltener überfluteten Bereichen die Grauerle (*Alnus incana*) die Vorherrschaft und bildet dort eine eigene Waldgesellschaft aus, das Alnetum incanae (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010), so auch in der Wutachschlucht.

Die Waldgesellschaften stehen in enger Beziehung zu Bodenskelettanteilen unter 50 %. Auf Standorten mit größerem Untergrund kommen sie nur selten vor und spielen dort im Verhältnis zu den gehölzfreien Gesellschaften eine untergeordnete Rolle. Ihre Oberböden sind in der Regel Ablagerungen von Sand oder Lehm, eine Folge der Strömungsreduktion und daher Aufsedimentierung in den sich etablierenden Gehölzbeständen.

4.2.2.1 Weichholzaue mit Weiden (*Salix spec.*)

Weidenarten (*Salix spec.*) sind Pioniergehölze, die gut an die Substratdynamik dynamischer Auen angepasst sind und als Nacktbodenkeimer auf frisch freigelegtem oder abgelagertem Mineralboden keimen und heranwachsen. Dank ihrer Biegsamkeit und hohen Regenerationsfähigkeit kommen sie hervorragend mit der Störungsdynamik von Hochwässern zurecht. Weidenarten werden allerdings bei abnehmenden Lichtverhältnissen rasch durch schattentolerantere Arten verdrängt (OBERDORFER 1977; WILMANN 1989). Die Enge der Schlucht und Beschattung durch seitliches Einragen von Randbäumen in die Aue sind wesentliche Ursachen, warum Weidenbestände im Wutachgebiet nur lokal und eher kleinflächig vorkommen (vgl. MOOR 1958; OBERDORFER 1971; SCHWABE 1987). Entlang der Wutach haben Weidenbestände einen auffälligen Schwerpunkt auf großen Auenflächen, an denen sich die Schlucht etwas weitet und wo sie in östlicher bis südlicher Richtung an den Fluss grenzen. Dies sind die Bereiche mit verhältnismäßig hohem Lichtangebot am Talboden, einem entscheidenden Faktor für die Etablierung junger Weiden.

Die nur kleinflächig auftretenden Weidenwälder an der Wutach stehen in der Regel auf der gleichen Höhe über der Wasserlinie wie die benachbarten Erlenwälder und sind nicht durch einen Wechsel des Reliefs räumlich von diesen getrennt. Auch im Querschnitt der Fläche ist keine Zonierung entlang einer zunehmenden Entfernung zum Fluss erkennbar, wie es die schematischen Darstellungen einer typischen Auenzonierung üblicherweise andeuten. Es fällt allerdings auf, dass die Weidendominanz fast ausschließlich auf die flussabwärtsgelegenen Hälften der Auenabschnitte beschränkt ist. Sie erstrecken sich dort tendenziell bis zu Enden der Flächen,

wo bereits der Übergang zum Prallhang stattfindet und sie unmittelbar an das Steilufer grenzen.

Die Weidenbestände im untersuchten Wutachabschnitt sind vor allem aus (*Salix eleagnos*) aufgebaut (Tab. II/3-7) (Abb. 6 -8). Nur zwei Stellen fanden sich kleine Bestände, die von Silber-Weide (*Salix alba*), Bruch-Weide (*Salix fragilis*; Abb. 8) oder Mandelblättriger Weide (*Salix triandra*) aufgebaut wurden (Tab. II/1-2).

Die von der Lavendel-Weide dominierten Bestände sind der Assoziation *Salicetum eleagni* zuzuordnen. Im Falle der angetroffenen Bestände handelt es sich allerdings nicht um frühe Pionierstadien, sondern um bereits entwickelte kleinflächige Waldbestände. Dies zeigt sich u.a. daran, dass die Grau-Erle bereits einen Anteil an der Baumschicht hat und die Edellaubhölzer mindestens in der Strauchschicht vertreten sind. Die angetroffenen Bestände sind daher zugleich als Initialphase des *Alnetum incanae* anzusehen, in welcher die Erle bereits in die Weidenwäldchen einwächst. Die Edellaubbäume *Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior* und *Ulmus glabra* treten in der Strauchschicht, vereinzelt auch in der Baumschicht, hinzu. Die Krautschicht weist bereits Waldbodenarten wie Wald-Zwenke (*Brachypodium sylvaticum*), Springkraut (*Impatiens noli-tangere*) oder Hain-Rispengras (*Poa nemoralis*) auf. OBERDORFER (1971) stellt derartige Bestände bereits zu den Grauerlenwäldern („*Alnetum incanae salicetosum*“). Ein entsprechendes Entwicklungsstadium zum *Alnetum incanae*, welche mit dem Eindringen von *Fagetalia*-Arten und einer zunehmenden Bodenreife einhergeht, wurde von OBERDORFER (1977) auch als *Stachys sylvatica*-Phase beschrieben.

4.2.2.2 Grauerlenwald (*Alnetum incanae*)

Die Grauerlenwälder finden sich etwa 1 bis 1,5 m oberhalb des sommerlichen Wasserspiegels (Abb. 9, 10). Häufig besiedeln sie kiesige Uferwälle, die sich unmittelbar hinter dem Ufer aus dem Gelände erheben und sich parallel zum Fluss über einen Abschnitt der Aue ziehen. Die Breite beträgt etwa fünf bis zehn Meter, dahinter fällt das Profil wieder bis zur Randsenke ab. Dies entspricht auch den Beobachtungen von SCHWABE (1985a) für die Grauerlenwälder des Schwarzwalds, die sich als zwei bis maximal sechs Meter breite Streifen entlang der Flussufer hinziehen. Nur auf breiteren kiesigen Terrassen hinter dem Steilufer nehmen die Grauerlenwälder eine größere Fläche ein. Selten liegt der Erlenbestand an einem periodisch wasserführenden Seitengerinne, das sich in der Randsenke gebildet hat.

Die von der Grau-Erle (*Alnus incana*) beherrschten Bestände sind von ihrer Artenzusammensetzung her relativ heterogen (Tab. II/10-17). Die floristische Unähnlichkeit betrifft die Anteile der Gehölzarten in Baum- und Strauchschicht, aber auch den Aufbau der Krautschicht. Bestände mit ge



Abb. 6: Lavendelweiden-Bestand, Blattaustrieb und Blüte (Foto: Reif, 21.4.2017).



Abb. 7: Lavendelweiden-Bestand. Altbäume gefällt durch den Biber (Foto: Reif, 21.4.2017).



Abb. 8: Die Bruchweide (*Salix fragilis*) ist im Muschelkalkteil eher selten (links). Altbäume der Lavendelweide (*Salix eleagnos*) gefällt durch den Biber (rechts) (Foto: Reif, 21.4.2017).

ringem Hartholzanteilanteil sind vermutlich häufiger überschwemmt, da sie hinter verhältnismäßig niedrigeren Steilufern liegen (Tab. II/10-12). Die edellaubholzreicheren Bestände leiten zum wenig höher gelegenen Moschuskraut-Ahornwald über (Tab. II/13-17)).

Überregional gesehen wird die Krautschicht der Grauerlenwälder von weichblättrigen, hygrophilen Stauden einschließlich Hochstauden des präalpinen Raums wie etwa Blauem Eisenhut (*Aconitum napellus*), Wolfs-Eisenhut (*Aconitum lycoctonum*), Behaartem Kälberkropf (*Chaerophyllum hirsutum*) und Eisenhutblättrigem Hahnenfuss (*Ranunculus aconitifolius*) aufgebaut, so etwa im Otschwarzwald (Schwabe 1985a). Floristisch können die Grauerlenwälder in weitere Subassoziationen unterschieden werden, welche nicht nur durch standörtliche Parameter wie Bodenzusammensetzung und -feuchtigkeit bedingt sind, sondern zum Teil auch die zeitliche Abfolge von Entwicklungsstadien darstellen (OBERDORFER 1971, 1977; SCHWABE 1985a, 1987). Im Kontakt zu Schluchtwäldern der angrenzenden Hänge dringt das Silberblatt (*Lunaria rediviva*) in die Aue ein (vgl. auch SCHWABE 1987).



Abb. 9: Von Schneebruch gezeichneter Jungbestand der Grauerle (Foto: Reif, 21.4.2017).

4.2.2.3 Schwarzerlenwald (Stellario-Alnetum glutinosae)

Nur an zwei Wuchsorten konnten kleine Gruppen von Schwarzerlen (*Alnus glutinosa*) angetroffen werden (Tab. II/8-9). Derartige Schwarzerlen-Auenwälder (Stellario-Alnetum glutinosae) sind in silikatisch geprägten Bach- und Flussauen tieferer Lagen häufig, so auch im Buntsandsteinabschnitt der Schlucht (OBERDORFER 1971).

4.2.2.4 Moschuskraut-Bergahornwald (Adoxo-Aceretum pseudoplatani)

Bei einer Höhe, die nur mehr vom mittleren Hochwasser erreicht wird, etablieren sich störungsempfindlichere Baumarten wie Esche (*Fraxinus excelsior*), Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*) sowie Berg-Ulme (*Ulmus glabra*) und bilden dort den Moschuskraut-Bergahorn-Auenwald (Tab. II/18-24; Abb. 11), benannt nach dem in den Wutachauen mit hoher Stetigkeit vorkommenden Moschuskraut (*Adoxa moschatellina*) (Abb. 12). Die Grauerle tritt zunehmend zurück („Sukzessionsrelikt“). Die Anteile der Baumarten sind nicht gleichmäßig verteilt, fallweise dominieren Esche, Berg-Ahorn oder Berg-Ulme. Die Strauchschicht ist schwach ausgeprägt. Die Krautschicht wird durch eine große Anzahl von Arten feuchter, stickstoff- und basenreicher Standorte geprägt, beispielsweise dem kalkliebenden Gelben Windröschen (*Anemone ranunculoides*) (Abb. 13).



Abb. 10: Grauerlen-Auwald (rechts), angrenzend und etwas erhöht Moschuskraut-Ahorn-Auwald (links) (Foto: Reif, 21.4.2017).



Abb. 11: Moschuskraut-Bergahorn-Auwald in etwas tiefer liegender Randsenke einer Flussterrasse (Foto: Reif, 21.4.2017).

In der Aue des Untersuchungsgebietes liegen die eher großflächiger ausgeprägten Edellaubbestände auf der flussabgewandten Seite hinter einem schmalen Uferwall, der mit Grau-Erle bestockt ist, oder in einer gering tiefer liegenden Randsenke. Die Entwicklung der Böden steht in engem Zusammenhang mit der Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit in Waldbeständen (AHNERT 2009) und damit verbunden der Sedimentation von schluffigem Auenlehm. Eine hohe Wasserspeicherung des Bodens und gute Nährstoffversorgung sind dadurch auch bei ausbleibender Überschwemmung gewährleistet.

Der Moschuskraut-Bergahorn-Auenwald findet sich überregional gesehen auf grundfeuchten Böden in Fließgewässernähe oder an Hangfüßen, dort standörtlich im Übergang von der Aue zum Schluchtwald (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010). Diese Zwischenstellung spiegelt sich auch an der Wutach in der Artenzusammensetzung wieder.

4.2.2.5 Fichtenbestände

Auf höheren Uferwällen oder leicht erhöhtem Gelände im hinteren Teil der Aue finden sich durch Pflanzung begründete Fichtenbestände (Tab. II/25-29; Abb. 14). Sie grenzen räumlich eng an die Grauerlenbestände an. An einer



Abb. 12: Moschuskraut (*Adoxa moschatellina*) ist eine häufige Art der Hartholzauenwälder (Foto: Reif, 21.4.2017).

Stelle nehmen diese Forsten einen größeren Bereich ein, dort etwa einen Meter oberhalb der angrenzenden Grauerlen- und Edellaubbestände. Die Bodenvegetation deutet an, dass die Bestände nicht von regelmäßigen Überflutungen betroffen sind. Neben der gepflanzten Fichte nimmt insbesondere die Esche einen steten, geringdeckenden Anteil an der Baumschicht ein. Die Strauchschicht wird von Heckenkirsche (*Lonicera xylosteum*) und weiteren Straucharten aufgebaut.

Alle Fichtenbestände der Wutachau sind wohl auf forstliche Anpflanzung zurückzuführen (OBERDORFER 1971). Tatsächlich wurden besonders um die Wende zum 20. Jahrhundert viele ehemalige Wiesen innerhalb der Wutachauen mit Fichtenreinbeständen überdicht aufgeforstet (HOCKENJOS 1971; SCHWENNINGER 2014). Allerdings erreichen diese labilen, standortsfremden Bestände fast nirgends die Hiabsreife. Viele Flächen litten an Kalamitäten wie Hallimaschbefall, Rotfäule, Windwurf oder Schneebruch und mussten vor allem seit den 1990er Jahren vorzeitig genutzt werden. In der Folgezeit entwickeln sich aus der bereits vorhandenen Vorausverjüngung unter Fichtenschirm neue Auwälder (SCHWENNINGER 2014, Abb. 14).

4.2.2.6 Holunder-Gebüsch

An zwei Stellen kommen Gebüschinitialen mit Schwarzem Holunder (*Sambucus nigra*) vor (Tab. II/30-31). Die Standorte sind stickstoffreich und nur unregelmäßig kurzzeitig überflutet.



Abb. 13: Gelbes Windröschen (*Anemone ranunculoides*) im Moschuskraut-Ahornwald (Foto: Reif, 21.4.2017).



Abbildung 14: Nach vorzeitiger Endnutzung eines Fichtenbestandes in der Talaue entwickelt sich ein Pionierwald aus Esche (*Fraxinus excelsior*) (Foto: Reif, 10.5.2006).

4.3 Die Gradientenstruktur der Vegetation

Die Überprüfung des Stresswerts bei unterschiedlicher Anzahl k von Dimensionen ergab einen Wert von 0,15 für $k=2$. Mit diesem Wert ist eine repräsentative Darstellung der tatsächlichen Unähnlichkeiten durch die Ordination gewährleistet, allerdings sollten feine Unterschiede nicht zu stark bewertet werden (CLARKE 1993).

Die Position der Vegetationsaufnahmen im Ordinationsdiagramm zeigt ihre gemeinsame Verteilung anhand von Übereinstimmungen in der Artenzusammensetzung (Abbildung 15a). Die Anordnung der Punkte entlang der Achsen des Biplots spiegelt die Verteilung der Arten und der Aufnahmeflächen entlang der beiden ökologischen Hauptgradienten wider. In Abbildung 15b wurden die Punkte der Aufnahmeflächen mit den Ziffern entsprechend der Vegetationstabellen I und II kodiert.

Aufgrund der floristischen Unähnlichkeit klar abgetrennt sind die ufernahen Gesellschaften (links oben), welche jeweils durch eine Art dominiert werden, von den Waldgesellschaften. Deren Bestände sind floristisch unterschiedlich zusammengesetzt und relativ artenreich.

Die Ursachen für die Verteilung der Probeflächen und damit ihre floristische Zusammensetzung wurden anhand einiger bekannter Umweltparameter visualisiert. Die Ordination der Vegetationsaufnahmen entlang der beiden Achsen ist mit Gradienten der Licht-, Feuchtigkeits- sowie Stickstoffzeiger-

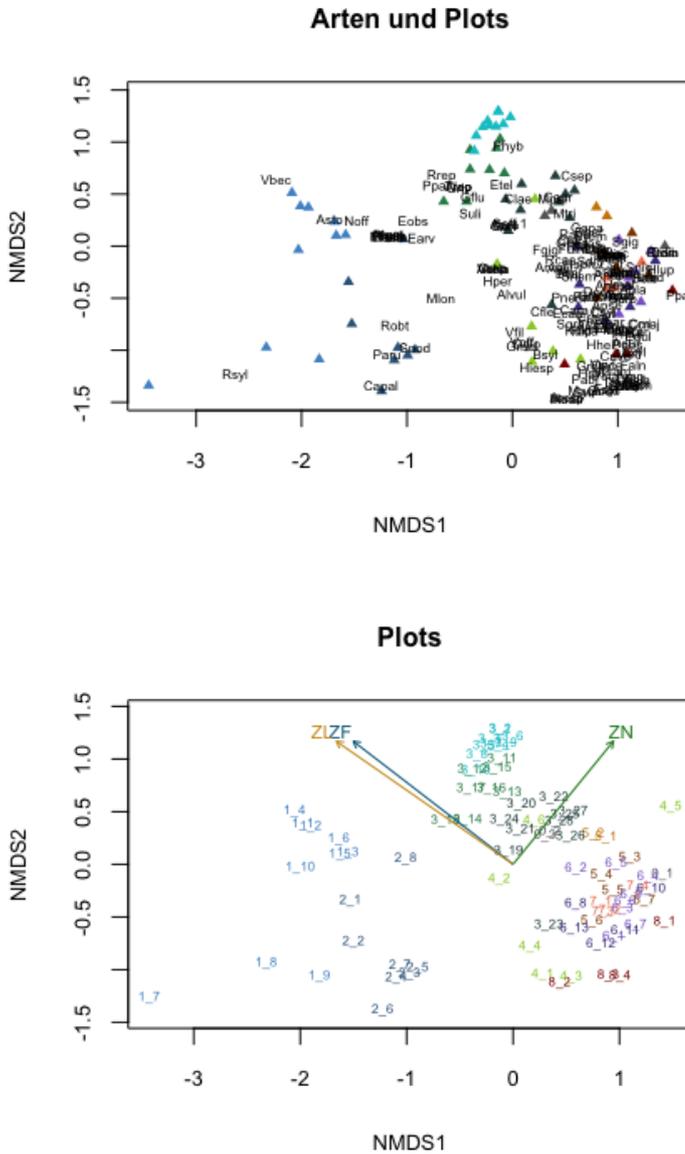


Abbildung 15a und b: Ordinationsdiagramm. a: Arten und Plots. Anordnung von Arten und Probeflächen als „Biplot“ entlang der beiden wichtigsten Ordinationsachsen. b: Plots. Ordination der Probeflächen in Relation zu den Umweltfaktoren Lichtangebot (Ellenberg-Zeigerwert ZL), Feuchtigkeit (ZF) und Stickstoff (ZN).

werte signifikant korreliert (MRPP-Analyse; p-Wert von 0,003 (N-Zeigerwert) sowie 0,001 (F-, L-Zeigerwert).

4.4 Bodenskelett

Die Unterschiede im Anteil von Skelett im Oberboden in Form von Kiesen ist eng mit den Vegetationseinheiten korreliert (MRPP, $p=0,001$). Auf kiesreichen Standorten entwickeln sich Flutrasen- und Pestwurzgesellschaften. Die Waldgesellschaften finden sich tendenziell auf Böden mit höherem Feinbodenanteil.

Die Gruppenbildung anhand des Gesamtskelettanteils und der Korngrößenverteilung lieferte weitere Hinweise auf Zusammenhänge zwischen Bodenskelett und der Etablierung bestimmter Gesellschaften (Abb.16).

In der Clustergruppe 3 – der Bodengruppe mit dem größten Skelettanteil – liegen fast ausschließlich Flächen ohne Gehölzbewuchs, darunter vor allem artenarme Pestwurzbestände der Pionierbereiche. Die Flächen dieser artenarmen Ausprägungen sind beinahe vollständig dieser Clustergruppe zugeordnet. In Clustergruppe 4 – mit einem ebenfalls hohen Skelettanteil – finden sich überwiegend Flächen der Sumpfkressen-Kriechstraußgras-Gesellschaft, des Rohrglanzgras-Röhrichts und Pestwurzfluren sowie einzelne Weiden- und Erlenbestände. Die Waldgesellschaften dominieren in den Clustergruppen 2 und 5 – mit einem Skelettanteil unter 25 bzw. 50 % –, während Gesellschaften der Pionierfluren hier nicht auftreten. In der Clustergruppe 1 – mit einem Skelettanteil unter 2 % – sind die Vegetationstypen zu gleichen Maßen vertreten.

4.5 Vegetationsdynamik und Sukzession

Die untersuchten Auenstandorte und ihre Vegetationstypen weisen eine unterschiedliche Anzahl und Artenzusammensetzung der Gehölzverjüngung auf (Abb. 17).

Häufig überflutete, tiefer gelegene und flussnahe Standorte sind durch regelmäßige Überschwemmungen im Winter und Frühjahr sowie starke Strömung mit Sedimentverlagerung geprägt. Dies erlaubt es nur wenigen Baumarten zu überdauern oder heranzuwachsen. Daher sind die meisten Bestände des Rohrglanzgras-Röhrichts und der artenarmen Pestwurz-Fluren Dauergesellschaften (Tab. I/11-18, 19-30). Nur bei Verlagerung des Stromverlaufs und daher reduzierter oder ausbleibender Störung können sich in der Pestwurzflur weitere Arten ansiedeln (Tab. I/31-46). Entsprechende Ausbildungen der Pestwurzfluren als Pionierstadium sowie als fortgeschrittene Saumgesellschaft finden sich auch in anderen montanen Flussauen wie in der Schweiz (MOOR 1958) oder dem Schwarzwald (SCHWABE 1987).

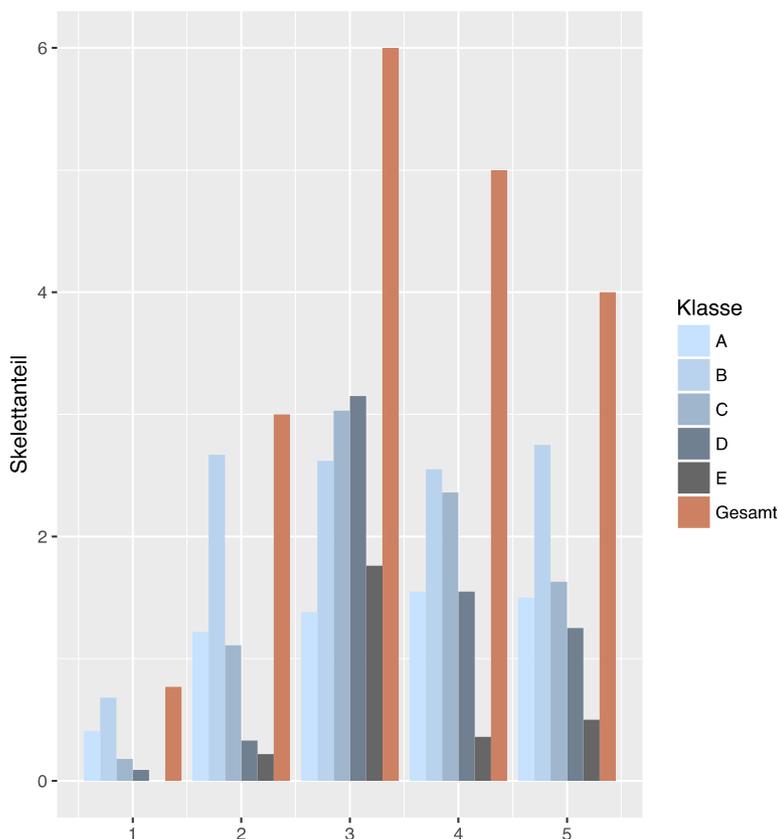


Abb. 16: Clustergruppen des Bodenskeletts. Gesamtskelett und Anteile der Korngrößenklassen (A: 0,2-1 cm, B: 1-5 cm, C: 5-10 cm, D: 10-20 cm, E: >20 cm); Angabe des Skelettanteils als Ordinalskala (1: <1 %, 2: 2-10 %, 3: 10-25 %, 4: 25-50 %, 5: 50-75 %, 6: >75 %) entsprechend den Klassen, die für die Datenerhebung verwendet wurden (siehe Abschnitt 3.1).

Die Initialphase der Entstehung von Weichholzauen und ihre frühen Sukzessionsstadien sind durch Jungwüchse der Weidenarten auf offenem, feuchtem Mineralboden geprägt (OBERDORFER 1977; WILMANN 1989; ELLENBERG & LEUSCHNER 2010). Derartige Situationen sind im untersuchten Abschnitt der Wutachschlucht aktuell praktisch nicht vorhanden. Nur ein einzelnes Exemplar der Lavendel-Weide (*Salix eleagnos*) mit einer Höhe von etwa 50 cm wurde in einem Grauerlenwald erfasst. Die relativ wenigen weidendominierten Bestände bestehen aus etablierten strauchförmigen Weiden bis hin zu hochwüchsigen Baumindividuen.

In den Beständen des *Salicetum eleagni* bildet die Lavendel-Weide die Baumschicht, oftmals zusammen mit der kodominanten Grau-Erle. Jungwüchse der lichtliebenden Weidenarten fehlen. Da die längerlebige Grauerle in der Baumschicht des Lavendelweiden-Auenwaldes bereits einen bedeutenden Anteil hat, kann nach Absterben der Weiden zunächst eine Entwicklung zum Grauerlenwald angenommen werden.

Im Grauerlenwald ist vielfach auch eine starke Verjüngung seiner prägenden Baumart in allen Verjüngungsklassen bis hin zur Strauchschicht zu beobachten. Es wurden bis zu 5500 Jungpflanzen von *Alnus incana* pro Hektar erfasst, in der Regel lag ihre Dichte allerdings unter 1800 pro Hektar (Abb. 17). Im Unterwuchs mancher Grauerlenbestände treten - angedeutet bereits in Lavendelweiden-Beständen - erste halbschattentolerante Gehölzarten, insbesondere Esche, Berg-Ahorn und Berg-Ulme, als Jungpflanzen in der Kraut- und auch der Strauchschicht auf. Bleiben starke Überflutungen für längere Zeit aus, bildet sich eine dichte Baumschicht mit relativ konstantem Anteil der Grauerle und einzelnen Edellaubbaumarten heraus. Im Unterwuchs sind fast keine Gehölze in der Kraut- und Strauchschicht zu finden. Auch die gepflanzten Fichtenbestände besitzen im Unterwuchs eine Vorausverjüngung von Bergahorn und Esche. Dies weist auf die sukzessionale Weiterentwicklung zum Moschuskraut-Bergahornwald hin.

In den entwickelten Beständen des *Adoxo-Aceretum* gibt es so gut wie keine Verjüngung in Kraut- und Strauchschicht. Trotz der meist lückigen Baumschicht wird das Aufkommen junger Gehölze vermutlich durch den dichten Unterwuchs gehemmt. Da die Wuchsorte hinter Uferwall und -terrasse liegen, also in einiger Entfernung zum Fluss, kann angenommen werden, dass sie zwar noch regelmäßig überschwemmt werden, aber nicht von einer starken Strömung betroffen sind. Auf derartigen Standorten bildet der Moschuskraut-Bergahorn-Auenwald eine Dauergesellschaft.

5. Ausblick

Bemerkenswert für die Aue der Wutachschlucht ist der hohe Natürlichkeitsgrad vieler Pflanzengesellschaften, die sich seit einigen Jahrzehnten auf großen Flächen ohne direkte Eingriffe des Menschen entwickeln. Dies würde die Wutachschlucht zur Ausweisung als „Wildnisgebiet“ prädestinieren, in dem sich der Schutz natürlich ablaufender Prozesse und deren Erleben durch Besucher synergistisch verbinden lassen.

Im Muschelkalkbereich der Wutachschlucht findet sich bis heute auf relativ kleinem Raum eine große Vielfalt an Standorten und Lebensräumen. Das Vorkommen der Pflanzengesellschaften und ihre räumliche Verteilung

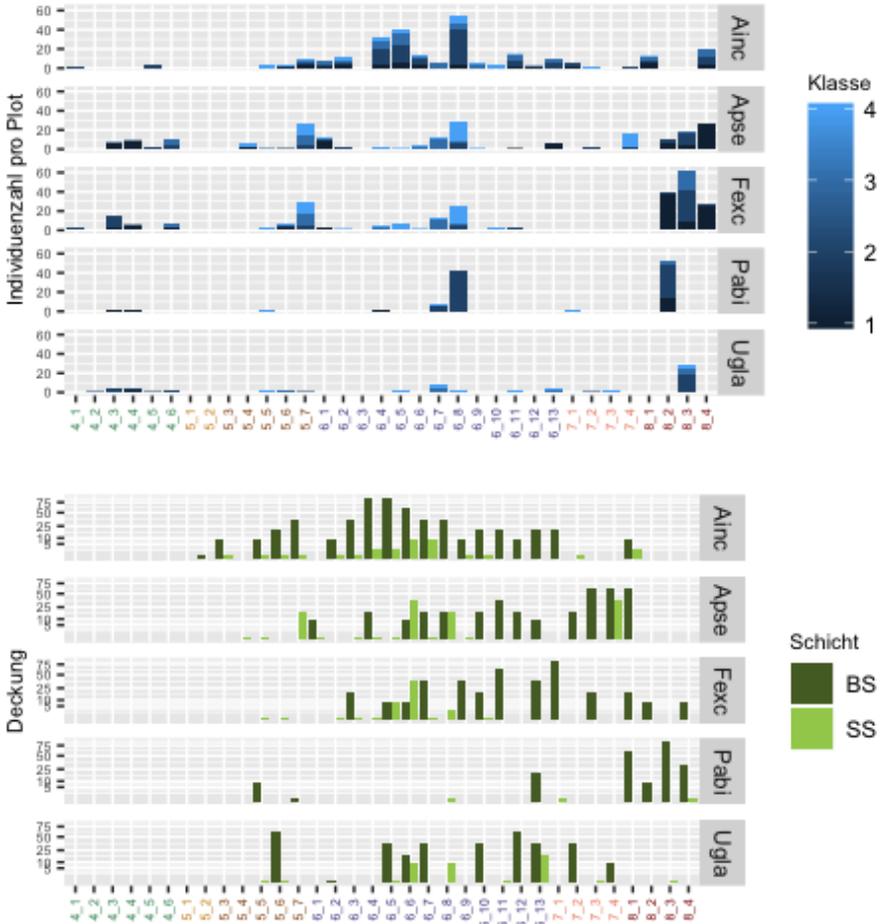


Abb. 17: Zusammenhang zwischen Verjüngung (Deckungsgrad in % und Individuenzahl pro Plot) und Baumbestand; x-Achse: geordnete Darstellung der Gesellschaften mit Gehölzverjüngung (4_x: Urtico-Aegopodietum bzw. Rubetum idaei, 5_x: Weidengesellschaften, 6_x: Alnetum incanae, 7_x: Adoxo-Aceretum pseudoplatani, 8_Fichtenbestände; y-Achse: Die Artmächtigkeit wird als prozentualer Mittelwert angegeben und die Skalierung der y-Achse ist so aufgeteilt, dass die niedrigen Werte gut erkennbar sind. Die relative Höhe der Balken spiegelt daher nicht die realen Verhältnisse wieder.

Oben: Verjüngung der Baumarten *Alnus incana* (Ainc), *Acer pseudoplatanus* (Apse), *Fraxinus excelsior* (Fexc), *Picea abies* (Pabi) und *Ulmus glabra* (Ugla) innerhalb der Höhenklassen. Die Weiden fehlen hier, da insgesamt nur ein Exemplar in der Krautschicht auftrat. Unten: Deckungsanteile derselben Baumarten inklusive der Gattung *Salix* in Baum- (BS) und Strauchschicht (SS).

variiert auch – je nach Größe und Topographie - zwischen den einzelnen Auenabschnitten.

Prägender Faktor ist das Wasserregime, das sich über die Auenfläche entlang eines Gradienten verändert. Entsprechend graduell erfolgt auch die Differenzierung der Vegetation, sodass die Artenzusammensetzungen der Pflanzengesellschaften weit ineinander übergreifen. Verstärkt wird dies durch die mosaikartige Verzahnung kleinflächig unterschiedlicher Standorte. Im Einzelnen lassen sich folgende Zusammenhänge erkennen:

- Zwischen den Uferbereichen, die unmittelbar oberhalb der Sommerwasserlinie liegen, und den höher gelegenen Flächen sind die unterschiedlichen Vegetationsmuster noch recht deutlich zu sehen. Die Flachufer sind Pionierstandorte, die bei höherem Wasserstand als erstes überschwemmt werden. Der Einfluss von ständiger Überschwemmung und starker Strömungskraft lässt sich an den dort vorkommenden Pflanzenarten ablesen. Nur wenige Arten, die an Nässe und Störung angepasst sind, können sich frei vom Konkurrenzdruck als Pioniere entwickeln, insbesondere in der Sumpfkressen-Kriechstraußgras-Gesellschaft, oder in dem Dominanzbestand des Rohrglanzgras-Röhrichts permanent überdauern.

- Auf den grobkiesreichen Uferböden mit perkolierendem Wasser gelangt die Pestwurz als artenarme Dominanzgesellschaft zur Vorherrschaft. Auf den etwas höher gelegenen Auenbereichen bildet sie großflächige, wesentlich artenreichere Bestände. Eine Weiterentwicklung der Pestwurz-Flur zur Weichholzaue konnte nicht nachgewiesen werden. Zwar besteht zum Teil eine enge räumliche Verzahnung mit Weidengebüschen, doch unterhalb des dichten Blätterdachs der Pestwurz wurde keine Etablierung junger Gehölze festgestellt.

- Die Waldbestände nehmen den größten Teil der Auenflächen ein. Eine gewisse Bindung an das Relief trennt die Gesellschaften innerhalb der Auenfläche standörtlich und zeitlich. Die Pionierwälder der Lavendel-Weide und der Grau-Erle besiedeln etwas höher gelegenes, kiesiges Substrat wie etwa Uferwälle oder flussnahe Terrassenbereiche. Die Edellaubwälder haben in den etwas tiefer gelegenen Senken der hinteren Aue ihren Schwerpunkt. Die gepflanzten Fichtenbestände konnten sich dort halten, wo die Überflutung nicht regelmäßig und nur sehr kurzzeitig stattfindet.

Insgesamt gesehen sind aktuell größere Verlagerungen des Flussbettes an der Wutach nur selten und lokal zu beobachten. Daher ist das aktuelle Muster der Verteilung der Pflanzengesellschaften eher standörtlich bedingt und weniger die Folge einer zeitlichen Sukzession. Dynamische Prozesse lassen sich für Lavendelweidengebüsche und Grau-Erlenwälder erkennen und spiegeln sich als graduelle Veränderungen der Artenausstattung zwischen den Vegetationseinheiten im Ordinationsdiagramm wieder (Abb. 15).

Zusätzlich weist die von der Baumschicht abweichende Gehölzartenzusammensetzung der Kraut- und Strauchschicht auf die sukzessionalen Tendenzen der Bestände hin, in diesem Fall auf Entwicklungen zum Moschuskraut-Bergahorn-Wald als topographisch bedingtes Schlusswaldstadium. Angesichts der veränderlichen standörtlichen Bedingungen der oft kurzlebigen Auenstandorte ist es jedoch schwer zu beurteilen, wo und nach welchem Zeitraum sich ein Schlussstadium einstellt, oder ein großes Hochwasser neue Standortsbedingungen mit frühen Sukzessionsstadien schaffen wird. In der Gesamtbilanz wird entlang eines natürlichen Flusses wie der Wutach die aktuelle Vielfalt sich zwar verändern („Fluktuation“), insgesamt gesehen jedoch erhalten.

Verändern sich allerdings die natürlichen Rahmenbedingungen, so werden sich auch die Lebensgemeinschaften. Ursachen hierfür sind der jüngst wieder eingewanderte Biber, der beispielsweise große Exemplare der Lavendel-Weide fällt. Eine gravierende Veränderung der Baumartenzusammensetzung dürfte das Eschentriebsterben zur Folge haben, das auch in der Wutachschlucht große Bestände befallen hat. Zur späteren Quantifizierung dieser Veränderungen kann die vorliegende Untersuchung als aktuelle Referenz dienen.

Danksagung

Wir bedanken uns bei dem „Wutachranger“ Martin Schwenninger, Mitarbeiter am Landkreis Waldshut, für die Hilfe bei der Auswahl der Untersuchungsflächen und die Diskussionsbeiträge sowie bei Friederike Tribukait und Dr. Friedrich Kretzschmar (Regierungspräsidium Freiburg, Ref. 56) für Informationen zum Gebiet.

Literatur

- AHNERT, F. (2009): Einführung in die Geomorphologie. 4. Aufl., Ulmer, Stuttgart
- Bendix, J. (1999): Stream power influence on southern Californian riparian vegetation. *Journal of Vegetation Science* 10: 243-252.
- BENDIX, J.; HUPP, C. R. & others (2000): Hydrological and geomorphological impacts on riparian plant communities. *Hydrological processes* 14: 2977-2990.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964). Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Aufl., Springer Verlag, Berlin.
- CASPARI, T. & SCHACK-KIRCHNER, H. (2015): Soil Description - A Field Guide. Institut für Bodenkunde, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.

- CLARKE, K. R. (1993): Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure, *Australian Journal of Ecology* 18: 117-143.
- CONERT, H. (2000): Pareys Gräserbuch: die Gräser Deutschlands erkennen und bestimmen. Parey, Berlin.
- DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie: Grundlagen und Methoden. Ulmer, Stuttgart.
- DIERSCHKE, H., OTTE, A. & NORDMANN, H. (1983): Die Ufervegetation der Fließgewässer des Westharzes und seines Vorlandes. Niedersächs. Landesverwaltungsamt, Fachbehörde für Naturschutz, Hannover.
- DIERSSEN, K. (1990): Einführung in die Pflanzensoziologie (Vegetationskunde). Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- DORMANN, C. F. & KÜHN, I. (2009): Angewandte Statistik für die biologischen Wissenschaften, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung-UFZ, Leipzig
- ELLENBERG, H. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2. Aufl., Goltze, Göttingen.
- ELLENBERG, H. & LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 7. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- FISCHER, A. (2003). Forstliche Vegetationskunde eine Einführung in die Geobot-Geobotanik, 3. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- FREY, W. & LÖSCH, R. (2004): Lehrbuch der Geobotanik. 3. Aufl., Spektrum Verlag, Berlin, Heidelberg.
- GROSSMANN, H. (2014): Junger Fluss in alter Landschaft. S. 2-13 in: BAER, J. (Hrsg.): Die Wutach Wilde Wasser - steile Schluchten. Regierungspräsidium Freiburg. Thorbecke, Ostfildern.
- HARRIS, R. R. (1987): Occurrence of vegetation on geomorphic surfaces in the active floodplain of a California alluvial stream. - *American Midland Naturalist* 118, 393-405.
- HOCKENJOS, F. (1971): Wald- und Forstwirtschaft in der Wutachschlucht. S. 523-542 in: SAUER, K.J.F. & SCHNETTER, M.: Die Wutach. Naturkundliche Monographie einer Flußlandschaft. Die Natur- und Landschaftsgeschichte Baden-Württembergs 6.
- HUGHES, F. M. R. (1997): Floodplain biogeomorphology. *Progress in Physical Geography* 21: 501-529.
- HUPP, C. R. (1982): Stream-grade variation and riparian-forest ecology along Passage Creek, Virginia. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 109: 488-499.
- HUPP, C. R. (1983): Vegetation pattern on channel features in the Passage Creek Gorge, Virginia. *Castanea* 48: 62-72.
- HUPP, C. R. & OSTERKAMP, W. R. (1996). Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology* 14: 277-295.
- JÜRGING, P. (2006): Fließgewässer- und Auenentwicklung: Grundlagen und Erfahrungen. Springer, Heidelberg, Berlin.
- LIEHL, E. (1971): Morphologie. S. 1-30 in: SAUER, K.J.F. & SCHNETTER, M. (eds): Die Wutach. Naturkundliche Monographie einer Flußlandschaft. Die Natur- und Landschaftsgeschichte Baden-Württembergs 6.

- LORITZ, J. & HAFERKORN, J. (2014): Abflussverhalten von Wutach und Gauchach. S. 105-109 in: BAER, J.: Die Wutach Wilde Wasser - steile Schluchten. Regierungspräsidium Freiburg. Thorbecke, Ostfildern.
- MERTZ, P. (2000): Pflanzengesellschaften Mitteleuropas und der Alpen: Erkennen, Bestimmen, Bewerten: ein Handbuch für die vegetationskundliche Praxis. Ecomed, Landsberg, Lech.
- MOOR, M. (1958): Pflanzengesellschaften schweizerischer Flussauen. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 34: 221 – 359.
- MÜLLER-DOMBOIS, D. (1974): Aims and methods of vegetation ecology. Wiley, New York.
- NEUWIRTH, R. (1971): Das Klima des Südosthanges des Schwarzwalds unter besonderer Berücksichtigung der Wutachschlucht. S. 209-220 in: SAUER, K.J.F. & SCHNETTER, M.: Die Wutach. Naturkundliche Monographie einer Flußlandschaft. Die Natur- und Landschaftsgeschichte Baden-Württembergs 6.
- NITSCH, E. (2014): Tektonik und Schichtlagerung. S. 60-63 in BAER, J.: Die Wutach Wilde Wasser - steile Schluchten. Regierungspräsidium Freiburg. Thorbecke, Ostfildern.
- OBERDORFER, E. (1971): Die Wutach. S. 261-322 in: SAUER, K.J.F. & SCHNETTER, M.: Die Wutach. Naturkundliche Monographie einer Flußlandschaft. Die Natur- und Landschaftsgeschichte Baden-Württembergs 6.
- OBERDORFER, E. (1977, Hrsg.): Süddeutsche Pflanzengesellschaften - 4: Wälder und Gebüsche. Textband. Bearbeitet von Theo Müller. 2. stark bearb. Auflage. Fischer, Stuttgart.
- OBERDORFER, E. (2001): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. 8., stark überarb. und erg. Aufl.. Ulmer, Stuttgart.
- PANKOW, W. (2014). Die Wutach als Lebensraum. S. 110-127 in: BAER, J.: Die Wutach Wilde Wasser - steile Schluchten. Regierungspräsidium Freiburg. Thorbecke, Ostfildern.
- POTT, R. (1992): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. Ulmer, Stuttgart
- POTT, R. (2000): Gewässer des Binnenlandes: 74 Tabellen. Ulmer, Stuttgart
- REICHEL, G. & WILMANN, O. (1973): Vegetationsgeographie. Westermann, Braunschweig.
- RICHARDS, K. (1982): Rivers from and process in alluvial channels. Methuen, London & New York.
- ROTHMALER, W. (2013): Rothmaler-Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Atlasband: mit 3000 abgebildeten Arten. 12., durchgesehene Aufl., Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- ROTHMALER, W. (2017): Rothmaler-Exkursionsflora von Deutschland, Gefäßpflanzen: Grundband. 12., durchgesehene Aufl., Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- SCHWABE, A. (1985a): Zur Soziologie *Alnus incana*-reicher Waldgesellschaften im Schwarzwald unter besonderer Berücksichtigung der Phänologie. Tuexenia 5: 413-446.

- SCHWABE, A. (1985b): Monographie *Alnus incana*-reicher Waldgesellschaften in Europa: Variabilität und Ähnlichkeiten einer azonal verbreiteten Gesellschaftsgruppe. *Phytocoenologia*. 13, 197-302.
- SCHWABE, A. (1987): Fluß- und bachbegleitende Pflanzengesellschaften und Vegetationskomplexe im Schwarzwald. J. Cramer, Berlin, Stuttgart
- SCHWARZMANN, H. (1971): Hydrographie des Wutachgebiets. S. 221-22 in: SAUER, K.J.F. & SCHNETTER, M.: Die Wutach. Naturkundliche Monographie einer Flußlandschaft. Die Natur- und Landschaftsgeschichte Baden-Württembergs 6.
- SCHWENNINGER, M. (2014): Wald- und Forstwirtschaft in der Wutachschlucht. S. 352-369 in: BAER, J.: Die Wutach Wilde Wasser - steile Schluchten. Regierungspräsidium Freiburg. Thorbecke, Ostfildern.
- SEIBERT, P. (1962): Die Auenvegetation an der Isar nördlich von München und ihre Beeinflussung durch den Menschen. Bayer. Landesstelle f. Gewässerkunde, Ref. F. Landschaftspflege u. Vegetationskunde.
- SIMON, T. (2014): Die Landschaftsgeschichte des Wutachgebiets. S. 64-85 in: BAER, J.: Die Wutach Wilde Wasser - steile Schluchten. Regierungspräsidium Freiburg. Thorbecke, Ostfildern.
- STANFORD, J., HAUER, F. & WARD, J. (1988): Serial discontinuity in a large river system. *Verh. Internationale Vereinigung f theoretische u angewandte Limnologie* 23: 1114-1118.
- STEEGMÜLLER, K. (2014): Von der Quelle zur Mündung. S: 88-103 in: BAER, J.: Die Wutach Wilde Wasser - steile Schluchten. Regierungspräsidium Freiburg. Thorbecke, Ostfildern.
- TREMP, H. (2005): Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten. Ulmer, Stuttgart.
- TRIBUKAIT, F., FRANKE, R., STOCKS, P. & ZAPF, F. (2014): Naturschutz in der Wutachschlucht. S. 404-449 in: BAER, J.: Die Wutach Wilde Wasser - steile Schluchten. Regierungspräsidium Freiburg. Thorbecke, Ostfildern.
- WARD, J. (1998): Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Biological Conservation* 83: 269-278.
- WILMANNS, O. (1989): Ökologische Pflanzensoziologie. Quelle & Meyer, Heidelberg.
- WILMANNS, O. (2014): Die Waldgesellschaften. S. 136-153 in: BAER, J.: Die Wutach Wilde Wasser - steile Schluchten. Regierungspräsidium Freiburg. Thorbecke, Ostfildern.
- ZEPP, H. (2011): Geomorphologie: eine Einführung. 5. Aufl., UTB GmbH, Stuttgart.

Anhang

Tab. I : Pioniergesellschaften des Muschelkalkabschnitts der Wutachaue

Tab. II: Waldgesellschaften des Muschelkalkabschnitts der Wutachschlucht

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz e.V. Freiburg i. Br.](#)

Jahr/Year: 2019

Band/Volume: [NF_22](#)

Autor(en)/Author(s): Mailänder Sophie, Reif Albert

Artikel/Article: [Die Auenvegetation im Muschelkalkgebiet der Wutachschlucht, Südwestdeutschland – Untersuchungen zur räumlichen Verteilung der Pflanzengesellschaften und der sukzessionalen Zusammenhänge 491-535](#)