



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung



Von der Europäischen Union kofinanziert
Transeuropäisches Verkehrsnetz (TEN-V)

Donauausbau Straubing-Vilshofen

Variantenunabhängige Untersuchungen zum Ausbau der Donau
zwischen Straubing und Vilshofen – 2007-DE-18050-S

Abschlussberichte – B.I. Bericht zum Ist-Zustand

**Anlage I.11 Standortpotenzial Vegetation
(Bundesanstalt für Gewässerkunde)**

Hinweise:

1. Die Durchführung der Untersuchungen und die Erstellung der Berichte wurden von der EU finanziell unterstützt.
2. Die Ausführungen in den Berichten und deren Anlagen binden nur die jeweiligen Verfasser, nicht aber die Europäische Kommission, die auch nicht für die weitere Nutzung der darin enthaltenen Informationen haftet.

BfG-1773

Vegetation der Donauaue zwischen Straubing und Vilshofen

Standortpotenzial für die Auenvegetation des Ist-Zustands und der Ausbauvarianten

Koblenz, November 2012

gez.: Dr. Peper, Dr. Schleuter, Dr. Horchler



Titelbild: Alte Silberweide mit Sumpf-Greiskraut im NSG Staatshafen. Foto: Peper 2011

BfG-1773

Bericht

Vegetation der Donauaue zwischen Straubing
und Vilshofen

Standortpotenzial für die Auenvegetation des Ist-
Zustands und der Ausbauvarianten

Dipl.-Landschaftsökologe Dr. Jan Peper

Dipl.-Biologe Dr. Peter Horchler

Dipl.-Biologe Dr. Michael Schleuter

unter Mitarbeit von:

Dipl.-Biologe Arnd Weber

Dipl.-Landschaftsökologin Marlén Schönfeld

Dipl.-Agraringenieur Dr. Elmar Fuchs

Referat U2, Koblenz, November 2012

Projekt: Variantenunabhängige Untersuchungen zum
Ausbau der Donau zwischen Straubing und Vils-
hofen

Auftraggeber: Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch die
RMD Wasserstraßen GmbH

Gefördert durch: Europäische Union

SAP-Nr.: M 39630204013

Seitenzahl gesamt: 117

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine
Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BfG.

Zusammenfassung

In den variantenunabhängigen Untersuchungen werden zwei Varianten des Donauausbaus zwischen Straubing und Vilshofen technisch und umweltplanerisch betrachtet. Auf welchen Standorten werden indirekte Wirkungen des Ausbaus die Vegetation verändern? Auf welchen Flächen können Eingriffe kompensiert werden? Um diese Fragen zu beantworten, werden die Zusammenhänge zwischen Standort und Vegetation betrachtet.

Grundlage dafür sind eingehende Untersuchungen des heutigen Zustandes. So werden Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen von Pflanzen bzw. Pflanzengesellschaften und Standortparametern wie Grundwasserflurabständen, Fließgeschwindigkeiten, Wasserspiegelschwankungen etc. mit verschiedenen statistischen Methoden untersucht.

Sowohl die Vegetation des Grünlandes, als auch die naturnahe Vegetation, zeigen starke Abhängigkeiten vom Grundwasserflurabstand bei niedrigen und mittleren Wasserständen sowie der Schwankungshöhe zwischen dem Grundwasserstand im Frühjahr und dem mittleren Niedrigwasserstand. Weitere wichtige Parameter für das Vorkommen bestimmter Vegetationstypen sind die Fließgeschwindigkeit bei Mittelwasser und die Frage, ob der Standort regelmäßig überflutet wird oder nicht. Andere Parameter wie Bodenart, Deckschichtmächtigkeit und Äquivalentleitfähigkeit des Bodens spielen eine untergeordnete Rolle.

Die ermittelten Zusammenhänge werden in Regeltabellen für das Grünland, die naturnahe Vegetation der rezenten Aue und für die naturnahe Vegetation des Deich-Hinterlandes zusammengefasst. Diese Regeln werden dann im Geographischen Informationssystem zu einer Karte der heutigen potenziell natürlichen Vegetation, bzw. des heutigen Standortpotenzials für Grünlandvegetation umgesetzt und anhand der aktuellen Vegetationskartierung verifiziert. Um das Standortpotenzial bei den Varianten darzustellen, wurden die Prognosen für Grundwasserflurabstände und Fließgeschwindigkeiten der RMD bei der Umsetzung der Regeltabellen verwendet. Aus den Ergebnissen können dann geeignete Flächen für Kompensationsmaßnahmen ausgewählt werden.

Mögliche Veränderungen der Standortpotenziale wurden bilanziert, indem die Potenziale der Varianten mit denen des Ist-Zustandes verglichen wurden. Die Modelle zeigen, dass durch Variante A sich das Standortpotenzial für die Vegetation auf ca. 76 ha verändern wird, bei Variante C_{2,80} sind ca. 300 ha betroffen. Die Veränderungen können für das Auenökosystem sowohl positive als auch negative Auswirkungen haben. Solch eine Bewertung ist Aufgabe der auf den Modellierungen aufbauenden Umweltplanung, welche die Ergebnisse mit den kartierten Biotop- und Lebensraumtypen verschneidet und Beeinträchtigungen für Flora und Fauna ableitet.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Anlagen	VI
1 Einleitung	1
2 Untersuchungsgebiet mit Ausbauvarianten	2
2.1 Kurzbeschreibung des Untersuchungsgebietes	2
2.2 Beschreibung der Ausbauvarianten	3
2.3 Erwartete Veränderungen der Standortbedingungen	4
3 Material und Methoden	6
3.1 Einsatz der Modellierung	6
3.2 Eingangsdaten	7
3.2.1 <i>Vegetation</i>	7
3.2.2 <i>Standort</i>	8
3.3 Erstellen der Modelle	14
3.3.1 <i>Ökologische Nischen typischer Pflanzenarten</i>	15
3.3.2 <i>Standortamplitude der Vegetationstypen</i>	17
3.3.3 <i>Gradientenanalyse</i>	17
3.3.4 <i>Ableitung von Regeltabellen</i>	18
3.3.5 <i>Kartographische Darstellung und Verifizierung</i>	18
3.3.6 <i>Bilanzierung indirekter Wirkungen durch die Varianten</i>	19
4 Ergebnisse	21
4.1 Klassifikation der Vegetationstypen	21
4.2 Zusammenhänge Standort und Vegetation	23
4.2.1 <i>Naturnahe Vegetation im Vorland</i>	23
4.2.2 <i>Naturnahe Vegetation im Hinterland</i>	35
4.2.3 <i>Grünland</i>	45
4.3 Beschreibung der Vegetationstypen	57
4.3.1 <i>Naturnahe Vegetation im Vorland</i>	57
4.3.2 <i>Naturnahe Vegetation im Hinterland</i>	68
4.3.3 <i>Grünland</i>	75
4.4 Kartographische Darstellung für Ist-Zustand und Varianten	82
4.5 Verifizierung mit Kartierung	82
4.6 Bilanzierung ausbaubedingter indirekter Veränderungen	85
5 Interpretation der Ergebnisse	91
5.1 Grenzen der Modellierung	91
5.1.1 <i>Standortfaktoren</i>	91
5.1.2 <i>Eingangsdaten und Modellkette</i>	93

5.2	Grundlage für die Umweltplanung	94
5.2.1	<i>LBP - Suche nach Kompensationsflächen</i>	94
5.2.2	<i>FFH-VU - Interpretation von indirekten Veränderungen</i>	95
5.2.3	<i>Fachbeitrag Artenschutz - Auswirkungen auf Arten</i>	96
5.2.4	<i>UVU - Auswirkungen auf Biotope und Arten</i>	97
5.3	Potenziell naturnahe Vegetation und Bodenwasserhaushalt	97
6	Fazit	101
7	Literatur	102
	Glossar	105

Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1: Für die Ableitung der Modelle verwendete Abflüsse an den Pegeln Pfelling und Hofkirchen	10
Tab. 3-2: Für die Ableitung der Modelle verwendete Grundwasserdruckhöhen bei entsprechenden Abflüssen der Donau.....	12
Tab. 4-1: Vegetationstypen der naturnahen Vegetation des Vorlandes.	21
Tab. 4-2: Vegetationstypen der naturnahen Vegetation des Hinterlandes.	22
Tab. 4-3: Vegetationstypen des Grünlandes	22
Tab. 4-4: Anzahl der zufälligen Stichproben je Vegetationstyp der naturnahen Vegetation des Vorlandes.....	23
Tab. 4-5: Korrelationsmatrix für alle betrachteten Standortparameter im Vorland.	24
Tab. 4-6: Korrelationen zwischen Standortparametern des Vorlandes und Ordinationsachsen	32
Tab. 4-7: Regeltabelle zur Darstellung der potenziell natürlichen Vegetation des Vorlandes	34
Tab. 4-8: Anzahl der zufälligen Stichproben je Vegetationstyp der naturnahen Vegetation des Hinterlandes.....	35
Tab. 4-9: Korrelationsmatrix für alle betrachteten Standortparameter im Hinterland	36
Tab. 4-10: Korrelationen zwischen Standortparametern des Hinterlandes und Ordinationsachsen.....	42
Tab. 4-11: Regeltabelle zur Darstellung der potenziell natürlichen Vegetation des Hinterlandes.....	44
Tab. 4-12. Anzahl der zufälligen Stichproben je Vegetationstyp der naturnahen Vegetation des Hinterlandes.....	45
Tab. 4-13: Korrelationsmatrix für alle betrachteten Standortparameter im Grünland	45
Tab. 4-14: Korrelationen zwischen Standortparametern des Grünlandes und Ordinationsachsen.....	53
Tab. 4-15: Regeltabelle zur Darstellung der Standortpotenziale für die Grünlandvegetation	56
Tab. 4-16: Ergebnisse der Verifizierung der Modellierung potenziell naturnaher Vegetation des Vorlandes.....	83
Tab. 4-17: Ergebnisse der Verifizierung der Modellierung der potenziell natürlichen Vegetation des Hinterlandes.....	84
Tab. 4-18: Ergebnisse der Verifizierung der Modellierung des Standortpotenzials für Grünlandtypen.	85
Tab. 4-19: Veränderungen von Standortpotenzialen des IST-Zustandes für die natürliche Vegetation im Vorland durch die Variante A und Variante C _{2,80}	87
Tab. 4-20: Veränderungen von Standortpotenzialen des IST-Zustandes für die natürliche Vegetation im Hinterland durch die Variante A und Variante C _{2,80}	88
Tab. 4-21: Veränderungen von Standortpotenzialen des IST-Zustandes für die natürliche Vegetation durch die Rückdeichungen bei Variante A und Variante C _{2,80}	89
Tab. 4-22: Veränderungen von Standortpotenzialen des IST-Zustandes im Grünland durch Variante A und Variante C _{2,80}	90

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1: Abflussdauerlinie für die Donau am Pegel Pfelling.....	9
Abb. 3-2: Schema der Modellierung des Standortpotenzials	15
Abb. 3-3: Formeln der logistischen Regressionen für die Modellierung der ökologischen Nischen	16
Abb. 3-4: Darstellung der fünf möglichen, immer komplexer werdenden Kurventypen der ökologischen Nischen.....	16
Abb. 4-1: Verteilung der Vegetationstypen im Vorland relativ zu verschiedenen Grundwasserflurabständen.	25
Abb. 4-2: Verteilung der Vegetationstypen im Vorland relativ zur Schwankungsbreite der Grundwasserstände.	26
Abb. 4-3: Verteilung der Vegetationstypen im Vorland relativ zur Höhe zu einzelnen Wasserspiegellagen und der Schwankungsbreite zwischen MHW und MW.....	27
Abb. 4-4: Oben: Verteilung der Vegetationstypen im Vorland relativ zur Fließgeschwindigkeit bei HQ ₅ . Unten: Verteilung von Wasserpflanzengesell- schaften und Pionierfluren relativ zur Fließgeschwindigkeit bei MW.	28
Abb. 4-5: Verteilung der Vegetationstypen des Vorlandes relativ zu Sand-, Ton-, Carbonat- und Humusgehalt in den obersten 30 cm des Bodens.....	29
Abb. 4-6: Verteilung der Vegetationstypen des Vorlandes relativ zu Parametern des Bodenwasserhaushalts.	30
Abb. 4-7: Ordinationsdiagramm (NMDS) für die Vegetation des Vorlandes.....	32
Abb. 4-8: Klassifikationsbaum zur Differenzierung der Vegetationstypen im Vorland.....	33
Abb. 4-9: Verteilung der Vegetationstypen des Hinterlandes relativ zu verschiedenen Grundwasserflurabständen.	37
Abb. 4-10: Verteilung der Vegetationstypen des Hinterlandes relativ zu Schwankungsbreiten der Grundwasserspiegel.....	38
Abb. 4-11: Verteilung der Vegetationstypen des Hinterlandes relativ zu Sand-, Ton-, Carbonat- und Humusgehalt in den obersten 30 cm des Bodens.....	39
Abb. 4-12: Verteilung der Vegetationstypen des Hinterlandes relativ zu Parametern des Bodenwasserhaushalts.	40
Abb. 4-13: Ordinationsdiagramm der NMDS für die Vegetation des Hinterlandes.	42
Abb. 4-14: Klassifikationsbaum zur Differenzierung der Vegetationstypen im Hinterland...	43
Abb. 4-15: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zu verschiedenen Grundwasserflurabständen.	47
Abb. 4-16: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zu Schwankungen der Grundwasserspiegel.....	48
Abb. 4-17: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zu Wasserspiegellagen und der Schwankungsbreite des Hochwassers.....	49
Abb. 4-18: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zur Fließgeschwindigkeit bei einem 5-jährlichen Hochwasser.....	50
Abb. 4-19: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zu Carbonat-, Sand-, Ton- und Humusgehalt in den obersten 30cm des Bodens.....	51
Abb. 4-20: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zu Parametern des Bodenwasserhaushalts.	52
Abb. 4-21: Ordinationsdiagramm der NMDS für die Vegetation des Grünlandes.	54

Abb. 4-22: Klassifikationsbaum zur Differenzierung der Grünlandtypen.....	55
Abb. 4-23: Verteilung von Wasserpflanzengesellschaften des Vorlandes relativ zum Grundwasserflurabstand bei MNW und der Fließgeschwindigkeit bei MQ.....	58
Abb. 4-24: Verteilung von Pflanzengesellschaften der Pionierfluren im Vorland gegenüber Grundwasserflurabständen bei MNW und MW.	59
Abb. 4-25: Verteilung von Gesellschaften der Weichholzaunen im Vorland relativ zu Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW, GW- Flurabstand bei MW und bei MW(März/April)	61
Abb. 4-26: Verteilung von Gesellschaften der Röhrichte und Riede im Vorland relativ zum GW-Flurabstand bei MW, bei MW(März/April) und Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW.	65
Abb. 4-27: Verteilung von Gesellschaften der Hartholzaue und mesophilen Gebüsch im Vorland relativ zum GW-Flurabstand bei MW(März/April).....	67
Abb. 4-28: Verteilung von Wasserpflanzengesellschaften des Hinterlandes relativ zum Grundwasserflurabstand bei MNW und bei MW(März/April).	68
Abb. 4-29: Verteilung von Röhrichten und Seggenrieden im Hinterland relativ zum Grundwasserflurabstand MW(März/April).	70
Abb. 4-30: Verteilung von Gesellschaften der Sumpfwälder und fossilen Weichholzaue im Hinterland relativ zum Grundwasserflurabstand bei MW(März/April).	71
Abb. 4-31: Verteilung von mesophilen Laubwald- und Gebüschgesellschaften des Hinterlandes relativ zum Grundwasserflurabstand bei MW(März/April) und zur Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW.	72
Abb. 4-32: Verteilung von Gesellschaften der Nasswiesen relativ zu GW-Flurabstand bei MNW, MW(März/April) und Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW.	75
Abb. 4-33: Verteilung von Flutrasengesellschaften und Intensivgrünland relativ zu GW- Flurabstand bei MW(März/April) und Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW.	77
Abb. 4-34: Verteilung von Feuchtwiesengesellschaften gegenüber GW-Flurabstand bei MW(März/April) und Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW.	78
Abb. 4-35: Verteilung von Gesellschaften der Frischwiesen und Halbtrockenrasen gegenüber GW-Flurabstand bei MW(März/April) und Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW	81

Anlagen

In Klammern Verweise auf Anlagennummern der Variantenunabhängigen Untersuchungen (VU)

Die Anlagen 1 und 3 befinden sich in den VU als elektronischer Anhang im Ordner

B_I_Ist_Zustand\Anlage_I_11.

- Anlage 1.1 Ökologische Nischen von Pflanzenarten im Vorland
- Anlage 1.2 Ökologische Nischen von Pflanzenarten im Hinterland
- Anlage 1.3 Ökologische Nischen von Pflanzenarten des Grünlandes

- Anlage 2.1 Potenziell natürliche Vegetation im Ist-Zustand (VU I.11.1 & 2)
- Anlage 2.2 Potenziell natürliche Vegetation bei Variante A (VU II.12.1 & 2)
- Anlage 2.3 Potenziell natürliche Vegetation bei Variante C_{2,80} (VU III.14.1 & 2)
- Anlage 2.4 Veränderungen der potenziell natürlichen Vegetation Variante A
(VU II.12.3 & 4)
- Anlage 2.5 Veränderungen der potenziell natürlichen Vegetation Variante C_{2,80}
(VU III.14.3 & 4)
- Anlage 2.6 Standortpotenzial für Grünland im Ist-Zustand (VU I.11.3 & 4)
- Anlage 2.7 Standortpotenzial für Grünland bei Variante A (VU II.12.5 & 6)
- Anlage 2.8 Standortpotenzial für Grünland bei Variante C_{2,80} (VU III.14.5 & 6)
- Anlage 2.9 Veränderungen des Standortpotenzials für Grünland Variante A
(VU II.12.7 & 8)
- Anlage 2.10 Veränderungen des Standortpotenzials für Grünland Variante C_{2,80}
(VU III.14.7 & 8)

- Anlage 3.1 Vegetationsaufnahmen der naturnahen Vegetation
- Anlage 3.2 Vegetationsaufnahmen des Grünlandes

- Anlage 4.1 Grundwasser/GW-Flurabstand für MW (März/April)
(Ist-Zustand VU I.11.7 & 8; Variante A II.12.11 & 12; Variante C_{2,80} III.14.11 & 12)
- Anlage 4.2 Grundwasser/GW-Flurabstand für MW
(Ist-Zustand VU I.11.5 & 6; Variante A II.12.9 & 10; Variante C_{2,80} III.14.9 & 10)
- Anlage 4.3 Grundwasser/GW-Flurabstand für RNW
(Ist-Zustand VU I.13.19 & 20; Variante A II.14.20 & 21; Variante C_{2,80} III.16.20 & 21)
- Anlage 4.4 Grundwasser/GW-Schwankungen für RNW-MW (März/April)
(Ist-Zustand VU I.11.9 & 10; Variante A II.12.13 & 14; Variante C_{2,80} III.14.13 & 14)

1 Einleitung

Die Donau zwischen Straubing und Vilshofen (Flusskilometer 2330-2248) soll für die kommerzielle Schifffahrt ausgebaut werden. Dafür stehen zwei unterschiedliche Ausbauvarianten zur Diskussion, welche im Auftrag der Bundesrepublik Deutschland durch die RMD Wasserstraßen GmbH (RMD) untersucht werden. Die dafür durchzuführende Studie „Variantenunabhängige Untersuchungen zum Ausbau der Donau zwischen Straubing und Vilshofen“ ist von der Europäischen Union gefördert.

Als Teil der „Variantenunabhängigen Untersuchungen“ analysiert die Bundesanstalt für Gewässerkunde im Auftrag der RMD die Zusammenhänge zwischen Vegetation und Standort im Ist-Zustand. Mit den daraus abgeleiteten Ergebnissen soll auf die ausbaubedingten Veränderungen durch die Ausbauvarianten in der Fläche geschlossen werden. Dabei kommt die großflächige Modellierung des Standortpotenzials für Vegetationstypen als direkte Unterstützung für Umweltplanungen zum Ausbau von Bundeswasserstraßen zum Einsatz. Damit kann abgeschätzt werden, welche Vegetationstypen nach dem Ausbau auf einer bestimmten Fläche wachsen könnten.

Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die FFH-Verträglichkeitsuntersuchung, Umweltverträglichkeitsuntersuchung, landschaftspflegerische Begleitplanung und den Fachbeitrag Artenschutz.

Dafür sind folgende übergeordnete Fragen zu beantworten:

1. In welchen Bereichen wird sich das Standortpotenzial durch indirekte Wirkungen des Ausbaus so verschieben, dass die Vegetation sich stark verändern oder ganz verschwinden wird?
2. Welche Flächen eignen sich aufgrund ihres Standortpotenzials für die Vegetation besonders als Kompensationsflächen?

Die Basis der hier vorgestellten Arbeit ist die vollflächige Kartierung der Vegetation des Untersuchungsgebietes aus den Jahren 2010 und 2011 inklusive Vegetationsaufnahmen (ArGe Danubia, 2012), welche mit flächigen Angaben zu Standortparametern wie Grundwasserflurabständen, Fließgeschwindigkeiten etc. verschnitten wurde. Als Referenz wurden außerdem u.a. die detaillierten Studien zur Vegetation der Isarmündung (Linhard, 1964), Donauauen bei Osterhofen (Ahlmer, 1989) und der Donauauen oberhalb Straubing (Zahlheimer, 1979) herangezogen. Jüngere Untersuchungen aus dem Isarmündungsgebiet sind umfassend bei (Foeckler *et al.*, 2010) dargestellt.

2 Untersuchungsgebiet mit Ausbauvarianten

2.1 Kurzbeschreibung des Untersuchungsgebietes

Die Untersuchungen berücksichtigen die Aue der Donau zwischen Straubing und Vilshofen zwischen den Flusskilometern 2330 bis 2248. Dabei wird die gesamte rezent überflutete Aue auf ca. 4450 ha betrachtet. Außerdem werden die Gebiete hinter den Deichen bis zur Wasseranschlagslinie eines 100-jährlichen Hochwassers mit untersucht. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt dabei in den Grenzen der Vegetationskartierung 2010-11 (siehe ArGe Danubia, 2012).

Im Untersuchungsgebiet befinden sich die FFH-Gebiete „Donauauen zwischen Straubing und Vilshofen“ sowie „Isarmündung“, welche auch die Naturschutzgebiete „Isarmündung“, „Donaualtwasser Staatshaufen“ und „Donaualtwasser Winzerer Letten“ integrieren.

Intensiv genutztes Grünland dominiert im Vorland, welches durch Auwaldsäume zur Donau hin abgegrenzt ist. Im Bereich der Isarmündung bis zum Staatshaufen hingegen befinden sich ausgedehnte Auwälder und Pappelforste, welche von Altarmzügen durchflossen werden. Große Strecken des Donaufers und der Inseln sind mit Blocksteinen und Strombauwerken befestigt. Besonders zwischen Isarmündung und Mühlhamer Schleife befinden sich größere natürliche Kiesbänke.

Im Hinterland dominieren Acker- und Grünlandnutzung, wobei extensiv genutztes Grünland nur noch auf wenigen Flächen, besonders im Bereich der Isarmündung (z.B. Schüttwiesen, Naturdenkmale um Sammern) anzutreffen ist. Hier befinden sich auch noch die größten zusammenhängenden Wälder neben dem hauptsächlich forstlich genutzten Auholz bei Irlbach und wenigen Auwaldinseln wie dem Zainacher Holz. Das Hinterland wird zudem von Straßen, Autobahnen und Siedlungsflächen zerschnitten. Die genaue Lage und Verteilung von Nutzungs- und Biotoptypen sowie Pflanzengesellschaften ist der entsprechenden Kartierung zu entnehmen (ArGe Danubia, 2012).

Eine umfassende Beschreibung des Untersuchungsgebietes befindet sich in den Varianteunabhängigen Untersuchungen (I Bericht zum Ist-Zustand).

2.2 Beschreibung der Ausbauvarianten

Es werden die möglichen Auswirkungen der Varianten A und C_{2,80} auf das Standortpotenzial der Vegetation untersucht. Dabei werden auch die Auswirkungen der jeweils auf die Ausbauvarianten zugeschnittenen Hochwasserschutzmaßnahmen inklusive der Deich-Rückverlegungen berücksichtigt. Lage und genauer Umfang der Maßnahmen ist dem Kapitel Technik der „Variantenunabhängigen Untersuchungen“ zu entnehmen (Kapitel II.2 und III.2).

Die **Variante A** sieht einen flussregelnden Ausbau mit der Erneuerung und Ergänzung von Buhnen sowie Parallelwerken vor. Außerdem wird an einigen Stellen die Fahrrinne durch Baggerungen vertieft und Kolke werden verfüllt. Um im Bereich der Isarmündung einen ausreichenden Hochwasserabfluss zu gewährleisten, sieht die Planung außerdem zwei Flutmulden vor, welche von der Isarmündung parallel zur Donau in Richtung Staatshaufen verlaufen. Im Rahmen des Hochwasserschutzes werden Deiche rückverlegt und Flutmulden gebaggert. Insgesamt werden dadurch über 550 ha heutiges Hinterland zukünftig wieder in der rezenten Aue liegen.

Variante C_{2,80} ist besonders oberhalb Deggendorf und unterhalb Winzer fast identisch mit Variante A. Der hauptsächliche Unterschied besteht in einem Schlauchwehr bei Aicha, welches die Donau bei Niedrigwasser (MNQ) um ca. 2,80 m anstaut. Die unterhalb liegende Mühlhamer Schleife wird dann nicht mehr von der Schifffahrt genutzt. Stattdessen wird diese Schleife durch einen Schleusenkanal umfahren.

Um dabei die Fisch-Durchgängigkeit der Donau zu gewährleisten und im Bereich Staatshaufen die Grundwasserdynamik aufrechtzuerhalten, ist ein Umgehungsgerinne rechts der Donau vorgesehen. Dieses beginnt mit kleinen Zuflüssen an der Isarmündung und wird später von weiteren Zuflüssen aus der Donau und dem Stöger Mühlbach gespeist. Bei Thundorf wird der mittlere Abfluss (MQ) 25 m³/s betragen. Danach teilt sich das Gewässer in mehrere Seitenarme und mündet unterhalb der Staustufe wieder in die Donau.

Um die Stauwirkung im Staatshaufen zu vermeiden, soll eine Dichtwand den gestauten Bereich der Donau von der restlichen Aue bei Niedrig- und Mittelwasser trennen. Bei Hochwasser wird die Aue wie im Ist-Zustand überflutet. Auch bei C_{2,80} sind Deich-Rückverlegungen mit der Anlage von Flutmulden in einem ähnlichen Umfang wie bei Variante A vorgesehen.

2.3 Erwartete Veränderungen der Standortbedingungen

Durch Baumaßnahmen wie der Anlage von Deichen und Buhnen wird die Landschaft direkt beeinträchtigt. Solche Flächen, die beispielsweise abgetragen, versiegelt oder neu aufgeschüttet werden, sind in der technischen Planung genau verzeichnet. Die direkten Auswirkungen dieser Eingriffe lassen sich relativ einfach in der Umweltplanung bilanzieren.

Wesentlich komplexer sind indirekte Veränderungen, welche das Wirkungsgefüge der Aue auch noch weit entfernt vom eigentlichen Eingriff beeinflussen können. Als Auslöser kommt z.B. der veränderte Wasserhaushalt infrage. Veränderungen von Wasserspiegellagen wirken sich an den Ufern und im Vorland auf die Überflutungsdauer, und damit vermutlich auch auf die Vegetation aus.

Außerdem korrespondieren Oberflächen- und Grundwasser in der Aue sehr stark miteinander, wobei sich besonders die Abflussschwankungen im Grundwasser fortsetzen und zum auetypischen Wechsel von feuchten und trockenen Perioden führen. Je nach Substrat kann das Grundwasser unterschiedlich schnell in den Auenböden aufsteigen und wieder absinken. Gleiches gilt für das Einsickern von Oberflächenwasser bei Überflutungen. Hinzu kommt noch das kapillar gebundene Bodenwasser, welches in feinen Substraten wesentlich höher als der Grundwasserstand steigen kann. Dies ist besonders an der Grenze zwischen den tief liegenden sandig-kiesigen Sedimenten und der feinkörnigen Auehmdeckschicht von Bedeutung. Wird die Deckschicht vom Grundwasser erreicht, steigt die Bodenfeuchte auch in höher gelegenen Bodenschichten. Fällt das Grundwasser hingegen unter die Deckschichtunterkante, kann die Bodenfeuchte schnell abnehmen.

So beeinflusst das Grundwasser auch die Bodenbildung und steuert u.a. bodenchemische Prozesse wie die Mobilität von Phosphat als Nährstoff oder die Reduktion bzw. Oxidation von Eisen und Mangan, welche in reduzierter Form toxisch auf Pflanzenwurzeln wirken können (Blume *et al.*, 2010). Über solch eine Wirkungskette können Wasserstandsänderungen zur Änderung der Bodengenese und folglich auch der Vegetation führen.

Unmittelbare Auswirkungen auf den Nährstoffhaushalt des Bodens können Überflutungen haben, welche nährstoffreiche Sedimente ablagern. Dieser Effekt kann sich möglicherweise bei Deich-Rückverlegungen auf Pflanzengesellschaften nährstoffarmer Standorte auswirken (Zahlheimer, 1991). All diese Wirkungszusammenhänge sollen durch die Modellierung des Standortpotenzials für die Vegetation dargestellt werden.

Die detaillierten Auswirkungen der Varianten auf die Schutzgüter Boden und Grundwasser sind den variantenunabhängigen Untersuchungen Kapitel II.4 und III.4 zu entnehmen. Deshalb werden hier nur die für die Vegetation relevanten Auswirkungen skizziert.

Variante A

Die größten indirekten Auswirkungen sind durch die Deich-Rückverlegung auf über 550 ha zu erwarten, wodurch Flächen wieder überflutet, und somit der Auendynamik ausgesetzt werden.

Die flussregulierenden Maßnahmen hingegen führen nur zu geringen Veränderungen der Niedrig- und Mittelwasserspiegel und zur Veränderung der Fließgeschwindigkeiten besonders in den erneuerten Bühnenfeldern und hinter Parallelwerken. Die Grundwasserspiegel verändern sich nur kleinflächig um mehr als 20 cm, wodurch auch nur geringe Veränderungen in den Böden zu erwarten sind. Die Hochwasserspiegel-Lagen werden sich nur um wenige Zentimeter verschieben. Ebenfalls bleibt das Abflussregime mit der Saisonalität und Häufigkeit von Hoch- und Niedrigwasserabflüssen unverändert durch den Ausbau.

Variante C_{2,80}

Auch hier werden die Deich-Rückverlegungen zu einer Re-Dynamisierung ehemaliger Hinterlandbereiche führen. Die weitaus stärksten indirekten Folgen werden durch den Bau des Stauwehrs bei Aicha erwartet. Damit steigen die Niedrig- und Mittelwasserstände im Rückstaubereich. Außerdem wird die Schwankungshöhe zwischen Mittelwasser (MW) und Mittlerem Niedrigwasser (MNW) direkt am Stauwehr gegen Null gehen. In abgeschwächter Form setzen sich diese Auswirkungen nach oberstrom bis auf die Höhe von Mariaposching fort.

Trotz dieser starken Änderungen im Wasserstand wird sich die abfließende Wassermenge nicht verändern. Somit bleibt wie bei Variante A das Abflussregime mit der Saisonalität und Häufigkeit von Hoch- und Niedrigwasserabflüssen unverändert. Lediglich in der Mühlhamer Schleife wird sich die Wassermenge leicht verringern, da Wasser für den Betrieb des Schleusenkanals benötigt wird.

Besonders hinter dem Stauwehr werden Uferbereiche dauerhaft überflutet und daran angrenzend steigen die Grundwasserstände (siehe auch Dister & Henrichfreise, 2009, Henrichfreise, 2000). Dadurch können sich Auenböden wie Vegen und Paternien in Auen-Gleye ohne Grundwasserdynamik umwandeln. Hinzu kommt eine häufigere Anbindung der Deckschicht an das Grundwasser, wodurch tiefere Bodenschichten länger vollständig mit Wasser gesättigt sein werden. In der Studie werden solche Veränderungen mittels 1-d Modellierungen des Bodenwasserhaushaltes detailliert untersucht und dargestellt (emc GmbH 2012).

Wie bei Variante A verlangsamt sich die Fließgeschwindigkeit hinter Parallelwerken und zwischen erneuerten Bühnen. Zusätzlich nimmt sie im Bereich der Stauhaltung ab und wird bei Mittelwasser ungefähr so hoch sein wie bereits im Ist-Zustand oberhalb der Isarmündung.

3 Material und Methoden

3.1 Einsatz der Modellierung

Die Prognose direkter und indirekter Auswirkungen von Baumaßnahmen auf die Vegetation erfolgt in der Umweltplanung durch eine fachgutachterliche Einschätzung (siehe u.a. Sommer *et al.*, 2007). Daneben erlauben es Modelle, das Standortpotenzial für die Vegetation, bzw. die potenziell natürliche Vegetation abzubilden. Modelle können auch darstellen, wie Änderungen der abiotischen Wirkfaktoren die Vegetation beeinflussen. Ein solcher Einblick unterstützt und objektiviert die fachgutachterliche Einschätzung.

Außerdem können das Standortpotenzial und durch Baumaßnahmen erwartete Veränderungen mittels Geographischer Informationssysteme (GIS) in der Fläche dargestellt werden. Entsprechende Werkzeuge wurden in der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Modellpaket INFORM (Integrated Floodplain Response Model) entwickelt (Giebel *et al.*, 2011, BfG, 2003) und für Fragen der Vegetationsentwicklung mit dem Modul MOVER (Model of Vegetation Response) bereits an Elbe und Rhein getestet. Die Systemkomponente MOVER in diesem Modellpaket bildet die Standorteignung für die Vegetation auf der Ebene von Pflanzengesellschaften (MOVER 3) oder Biotoptypen (MOVER 2) ab. Allerdings ist die direkte Übertragung der MOVER-Modelle von Elbe und Rhein auf die Donau nicht angebracht, da:

1. ein anderes Abflussregime sowie andere klimatische und morphologische Bedingungen vorliegen,
2. die Datenlage an der Donau wesentlich umfangreicher ist als in den anderen Projekten, und
3. an der Donau Einflüsse von Staubauwerken zur Diskussion stehen.

Es besteht aber die Möglichkeit, detaillierte sowohl an die vorliegende Datenfülle als auch technische Planung angepasste Modelle zu entwickeln. Dafür sind vier wesentliche Arbeitsschritte durchzuführen:

1. Analyse von Zusammenhängen zwischen Vegetation und Standortparametern.
2. Ableitung von empirischen Modellen des Standortpotenzials in Form von Regeltabellen.
3. Anwendung und Verifizierung dieser Modelle mit kartographischer Darstellung der Ergebnisse für Ist-Zustand und Varianten.
4. Flächenbilanzierung der Veränderungen.

Dabei werden folgende Ergebnisse produziert, welche zur Beurteilung der Ausbauvorhaben und zur Suche nach geeigneten Kompensationsflächen herangezogen werden können:

1. Karten der heutigen potenziell natürlichen Vegetation (entspricht dem Standortpotenzial für natürliche Vegetationstypen) und des Standortpotenzials für Grünland.
2. Karten des Standortpotenzials der natürlichen Vegetation und des Grünlandes nach Umsetzung der jeweiligen Ausbauvariante.
3. Karten der zu erwartenden Veränderungen abgeleitet aus dem Vergleich von Punkt 2 mit Punkt 1.

3.2 Eingangsdaten

Die Modelle bzw. Regeltabellen werden mit Daten zu Vegetation und Standort des Ist-Zustandes aus dem Untersuchungsgebiet erstellt.

3.2.1 Vegetation

Die Vegetation wird dabei durch 586 punktgenaue Referenzaufnahmen abgebildet, welche in den kartierten Pflanzengesellschaften, an Standorten von Rammkernsondierungen und an weiteren fachlich bedeutsamen Punkten in den Jahren 2007 bis 2011 angefertigt wurden. Für jeden dieser kartierten Punkte liegt somit eine Liste der Höheren Pflanzen mit ihrem Deckungsgrad und der Zugehörigkeit zu einer Schicht (Kraut-, Strauch- oder Baumschicht) in einer Datenbank (TURBOVEG, Hennekens and Schaminee, 2001) vor (Anlagen 3.1-3.3).

Es wurden zusätzlich Reste der Weichholzaue und Übergänge von Sumpfwäldern in der Stauhaltung Straubing als Referenzen für Zustände der Vegetation in staugeregelten Bereichen untersucht.

Die einzelnen Aufnahmen werden zu Vegetationstypen zusammengefasst, welche folgenden Anforderungen genügen müssen:

1. Deutliche Unterscheidung in der Artenzusammensetzung.
2. Deutliche Unterscheidung der ökologischen Ansprüche.
3. Umfang von möglichst mehr als 20 Aufnahmen.
4. Übertragbarkeit in FFH-Lebensraumtypen und/oder Biototypen.

Zur Unterstützung der Typisierung werden hierarchische Clusteranalysen (Ward, 1963) in der freien Software „R“ verwendet (R Development Core Team, 2012, Paket „vegan“). Diese liefern eine erste grobe Typisierung, welche von Hand überprüft wird. Besonders Aufnahmen mit wenigen und seltenen Arten (z.B. *Chara fragilis* - Reinbestände) wurden teilweise durch die rein mathematische Typisierung ökologisch nicht begründbar zugeordnet. Hier erfolgte

dann beispielsweise die manuelle Einteilung in den Typ „Wasserpflanzengesellschaften“.

Den Vegetationstypen werden danach auch die kartierten Pflanzengesellschaften zugeordnet, um die Vegetationskartierung mit in die Modellerstellung einzubeziehen.

Grünland und naturnahe Vegetation werden jeweils durch eigene Modelle abgebildet. Stark anthropogen überprägte Vegetationstypen wie die der Forsten, Intensivgrünländer, Äcker, Wegränder und Ruderalstellen werden nicht betrachtet.

Neben den Vegetationsaufnahmen wird die flächige Kartierung der Pflanzengesellschaften (ArGe Danubia, 2012) zur Ableitung von Regeln mit einbezogen. Dafür werden mit ArcGIS in jeder der über 46000 kartierten Flächen zwei Punkte zufällig ausgewählt, mit denen die Standortamplitude der Gesellschaften dargestellt werden kann.

3.2.2 Standort

Es werden die von indirekten Veränderungen beeinträchtigten Standortfaktoren berücksichtigt, welche auch in der Literatur überregional (z.B. Ellenberg & Leuschner, 2010, Koenzen, 2005, Dister, 1999) sowie regional (Foeckler *et al.*, 2010, Linhard, 1964, Walentowski *et al.*, 2006, Zahlheimer, 1979, Ahlmer, 1989) für die Vegetationsausprägung in Auen als entscheidend angesehen werden.

Dabei müssen diese als Rasterdaten im GIS sowohl für den Ist-Zustand als auch für die Varianten vorliegen. Für alle Punkte der pflanzensoziologischen Referenzaufnahmen werden aus den Rastern die Standortparameter ausgelesen und mit den Vegetationsdaten verknüpft.

Digitales Höhenmodell (DHM)

Um ökologische Wirkungszusammenhänge in Auen zu verstehen, muss man zu allererst das Relief analysieren. So bilden u.a. der Auenquerschnitt mit der Lage von Mäandern und Altarmen, der Neigung von Ufern und dem Vorhandensein hochgelegener Flächen wichtige Randbedingungen für das Vorkommen bestimmter Pflanzengesellschaften.

Diese Daten werden durch digitale Höhenmodelle (DHM) für den Ist-Zustand und die Varianten bereitgestellt. Die DHM wurden von der ArGe Danubia erstellt (Genauigkeiten etc. siehe Variantenunabhängige Untersuchungen) und als Rasterdaten mit einer Auflösung von 1x1 m zur Verfügung gestellt. Überflutungshöhen, Grundwasserflurabstände und die Mächtigkeit der Auelehmdeckschicht werden durch Verschneidung entsprechender Daten mit dem Höhenmodell erstellt.

Oberflächenwasser

Entscheidend für die biologische Ausstattung des dynamischen Ökosystems Aue sind Überflutung bzw. Austrocknung. Diese können zum einen über die mittlere Überflutungsdauer (Tage pro Jahr, Tage pro Vegetationsperiode) abgebildet werden, oder aber durch die relative Höhenlage des Standorts zu Wasserspiegellagen bei unterschiedlichen Abflüssen (Tab. 3-1). Die Verwendung der Überflutungsdauer hat den Nachteil, dass damit nur wirklich überflutete Gebiete abgedeckt werden können, und eine Differenzierung der höher gelegenen Standorte und des Deich-Hinterlandes nicht möglich ist.

Um diese Beschränkungen und Probleme bei der Modellierung der Überflutungsdauer zu umgehen, wird mit der relativen Höhe zu Wasserspiegellagen gearbeitet. Die Wasserspiegellagen für niedrige und mittlere Abflüsse wurden von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in einem 3-D-Hydraulikmodell berechnet (VU Kapitel I.5). Wasserspiegellagen für Hochwasser berechnete die RMD in einem 2-D-Hydraulikmodell (VU I.6). Bei Bedarf kann jeder Wasserspiegellage eine bestimmte Überflutungsdauer anhand von Dauerlinien (Abb. 3-1) zugeordnet werden.

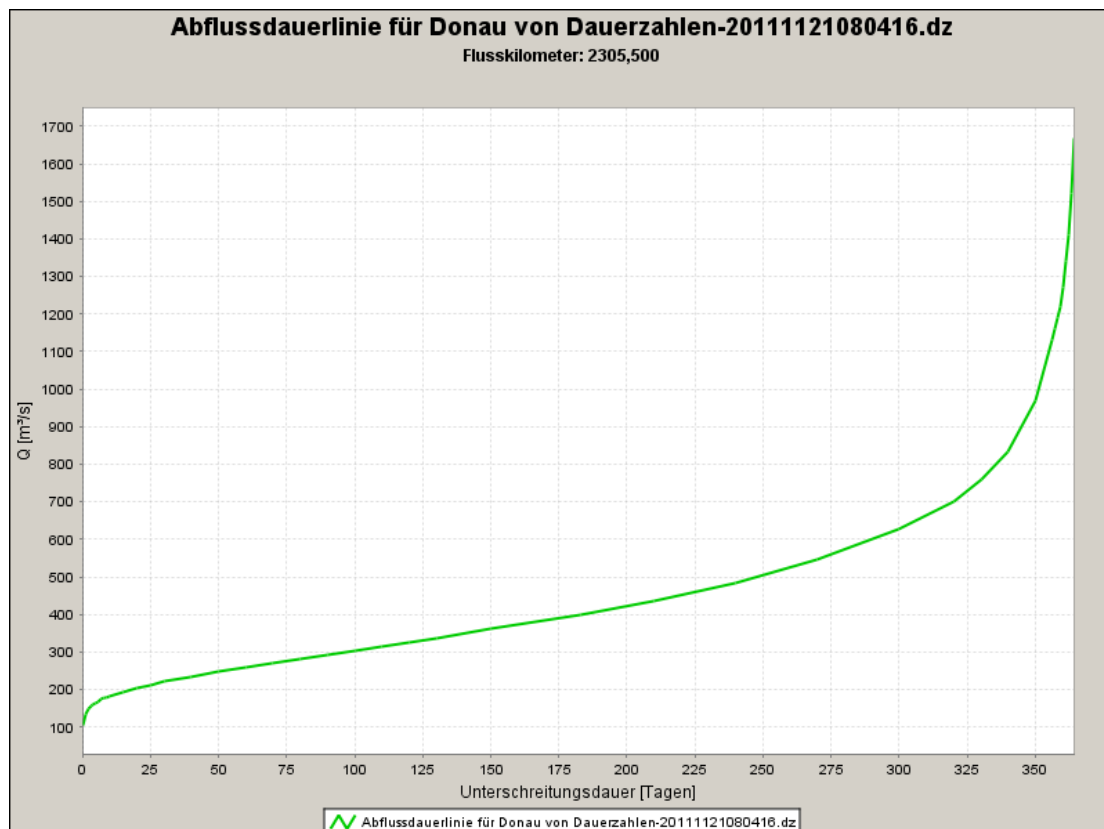


Abb. 3-1: Abflussdauerlinie für die Donau am Pegel Pfelling. Quelle: Flussinformationssystem FLYS der BfG (Busch, 2009). Damit kann jedem Abfluss (y-Achse) eine bestimmte Unterschreitungsdauer (x-Achse) und damit mittlere jährliche Überflutungsdauer zugeordnet werden.

Da das Abflussregime (z.B. Auftretenszeitpunkt, Häufigkeit und Frequenz von Hochwasserabflüssen) durch die Ausbaumaßnahmen kaum verändert wird, werden entsprechende zeitliche Komponenten nicht berücksichtigt. Von Bedeutung sind aber die geplanten Änderung der niedrigen und mittleren Wasserstände besonders bei der Variante C_{2,80}. Diese Änderungen müssen in der Modellierung des Standortpotenzials besonders berücksichtigt werden.

Die Wasserspiegellagen werden innerhalb eines GIS mit der Geländeoberkante aus dem DHM verrechnet. Die dabei entstehenden Raster bilden die relative Höhenlage eines Standortes zu den einzelnen Wasserspiegeln, und damit gleichzeitig die Überflutungshöhe ab. Die zu verwendenden Wasserspiegel wurden nach Feldmessungen und langjährigen Beobachtungen festgelegt (Tab. 3-1).

Tab. 3-1: Für die Ableitung der Modelle verwendete Abflüsse (Q) an den Pegeln Pfelling (oberhalb Isarmündung) und Hofkirchen (unterhalb Isarmündung) der Donau zur Berechnung der Wasserspiegellagen (W) mit Angabe der jeweils korrespondierenden mittleren jährlichen Überflutungsdauer und Wasserstand aus FLYS.

<i>Nr. Bezeichnung der Abflüsse</i>	Q Pfelling [m³/s]	W Pfelling [cm]	Überflutungsdauer Pfelling ca. [d]	Q Hofkirchen [m³/s]	W Hofkirchen [cm]	Überflutungsdauer Hofkirchen ca. [d]
1 MNQ Sommer 2003	168	259	360	265	178	359
2 RNQ-97 (1961-90), ca. MNQ	211	289	343	324	205	327
3 Untergrenze Schlammlingsfluren	251	313	313	358	219	319
4 Untergrenze Weichholzaue	410	389	176	540	285	198
5 MQ-97 (1961-90)	463	409	140	642	312	143
6 MQ(März/April) (1974-03)	595	452	77	787	344	89
7 Untergrenze tiefe Hartholzaue	750	496	37	1010	387	40
8 HNN-97	1375	655	4	1765	515	4
9 MHQ (1961-90)	1500	684	2	1860	530	3
10 HQ ₅	1900	765	<1	2300	594	<1

1. Als tiefster Wasserspiegel wird der mittlere Wasserstand der Monate Juli-September des Trockensommers 2003 verwendet.
2. Der regulierte Niedrigwasserstand-97 (RNW-97) entspricht in etwa dem mittleren Niedrigwasser (MNW) an der Donau zwischen den Jahren 1961 und 1990.
3. Wenige Zentimeter höher liegt die an verschiedenen Probestellen gemessene Untergrenze der Schlammlingsfluren im Trockenjahr 2003.

4. Auch der Wasserstand, bis zu dessen Niveau einzelne ältere Weiden im Untersuchungsgebiet (UG) wachsen, wurde im Feld eingemessen und der in den Hydraulik-Modellen zu modellierende Abfluss über die Abflusstafel der Pegel ermittelt.
5. Das Mittelwasser der Jahresreihe 1961-90 entspricht im UG in etwa dem Mittelwasser im Sommerhalbjahr.
6. Besonders für die Folgeverwendung im Grundwassermodell ist der mittlere Wasserstand im März/April wichtig. Grundlegend war hier die vorhandene Jahresreihe 1974 bis 2003. Durch die Schneeschmelze im Frühjahr liegt dieser Wasserstand 30-40 cm über dem Mittelwasser.
7. Die Wasserspiegellage an der Untergrenze der Hartholzaue wurde ebenfalls durch Einmessungen besonders tief stehender Gehölze der Hartholzaue ermittelt.
8. Das HNN-97 ist der höchste schiffbare Wasserstand und damit rein nautisch begründet. Da Berechnungen für diesen Zustand sowieso vorliegen, wurden die Werte zur Datenverdichtung zusätzlich mit berücksichtigt.
9. Das mittlere Hochwasser basiert auf der Jahresreihe 1961-1990. Dieser Wasserstand wird rein rechnerisch ungefähr aller 1,5 Jahre überschritten.
10. Das 5-jährliche Hochwasser überschwemmt bis auf wenige hoch gelegene Bereiche die gesamte Fläche zwischen Fluss und Deich.

Um die Hochwasserdynamik abzubilden, wird die Schwankungshöhe zwischen MHW und MW berechnet. Die Dynamik unterhalb MW wird hingegen mit Daten des Grundwassermodells abgebildet.

Zum Komplex des Oberflächenwassers gehört auch die Fließgeschwindigkeit, welche ebenfalls Bestandteil der Hydraulikmodelle ist. Es wird die Fließgeschwindigkeit bei Mittelwasser verwendet, um aquatische Vegetationstypen zu differenzieren. Direkt bilden Fließgeschwindigkeiten auch mechanische Störungen ab, die maßgeblich zum Erscheinungsbild der Vegetation beitragen können. Solche Ereignisse sollen durch die Verwendung der Fließgeschwindigkeit bei HQ_5 abgebildet werden, da dann das Vorland flächig überflutet ist. Auf die Betrachtung extremer, aber deswegen auch sehr seltener Ereignisse wie ein HQ_{100} , wurde verzichtet. Ein solches kann je nach Zeitpunkt des Auftretens, Dauer bis zur Wiederkehr und Länge des Zustandes ganz unterschiedliche Auswirkungen auf die Vegetation haben. Solche stochastischen Ereignisse lassen sich nur sehr schwer abbilden.

Grundwasser

Bei Niedrig- und Mittelwasserabflüssen bilden Wasserspiegellagen den Wasserhaushalt in der Aue nur sehr grob ab. Deshalb wurden dafür zusätzlich Grundwasserdruckhöhen durch die RMD (VU Kapitel I.7) berechnet (Tab. 3-2). Laut Wasserspiegellage kann am Auenrand beispielsweise ein Seggenried 3 m über Mittelwasser wachsen – also auf einem offensichtlich trockenen Standort. Jedoch kann das vom Hang zuströmende Grundwasser dort fast in der Flur stehen. Hier stellt das Grundwassermodell die tatsächliche hydrologische Situation aus ökologischer Sicht wesentlich besser dar.

Der Grundwasserflurabstand und seine Schwankungen wirken sich im Wurzelraum der Pflanzen durch Nässe- bzw. Trockenstress aus. Dadurch ist der Grundwasserflurabstand auch einer der wichtigsten Parameter zur Differenzierung von Pflanzengesellschaften (van Ek *et al.*, 2000, Koska *et al.*, 2001).

Henrichfreise (2000) hingegen lehnt die Verwendung von Grundwassermodellen in der Aue kategorisch ab, und begründet dies mit einem heterogenen Bodenaufbau. So kann Grundwasser nicht ungehindert den Boden durchdringen und wird gegebenenfalls artesisch gespannt. Damit kann die Grundwasserdruckhöhe im Pegelrohr deutlich vom Wasserstand im Boden abweichen. Da die Grundwassermodelle die Druckhöhen angeben, seien diese für vegetationskundliche Zwecke nicht verwendbar. Damit weist er auf eine durchaus problematische Eigenschaft der Grundwassermodelle hin, kann aber keine großflächig anwendbare Alternative aufzeigen.

Um solche Alternativen zu finden, werden in der Studie weitere Bodenparameter untersucht (siehe unten). Momentan stellen die Grundwassermodelle allerdings die beste verfügbare Grundlage dar, das Standortpotenzial für Vegetation flächig für das gesamte Untersuchungsgebiet sowohl im Ist-Zustand als auch nachvollziehbar für die Varianten abzubilden. Genauere Methoden können nur punktuell angewendet werden. Nichtsdestotrotz müssen die Modellergebnisse natürlich auch unter diesen Einschränkungen interpretiert werden.

Tab. 3-2: Für die Ableitung der Modelle verwendete Grundwasserdruckhöhen bei entsprechenden Abflüssen der Donau. Zur Beschreibung der Abflüsse siehe „Oberflächenwasser“.

	Q Pfelling	Q Hofkirchen
<i>Name der Abflüsse</i>	<i>[m³/s]</i>	<i>[m³/s]</i>
MNQ Sommer 2003	168	265
MNQ-97 (1961-90)	211	324
MQ-97 (1961-90)	463	642
MQ(März/April) (1974-03)	595	787

Die Grundwasserflurabstände werden aus Geländeoberkante aus dem DHM minus Grundwasserdruckhöhe berechnet. Die Grundwasserdruckhöhen entsprechen im Flussschlauch in etwa den Wasserspiegellagen. Negative Grundwasserflurabstände sind als Gewässertiefe bei einem bestimmten Abfluss zu interpretieren.

Ein ökologisch bedeutsamer Fall ist der Grundwasserflurabstand bei MNQ (siehe Anlage 4.3 bzw. VU I.13.19 & 20 Ist-Zustand; II.14.20 & 21 Variante A; III.16.20 & 21 Variante C_{2,80}). Dieser Wert ist im Gebiet eng mit der Lage des Reduktionshorizontes (Gr-Horizont) in Grundwasser beeinflussten Böden korreliert (emc GmbH 2012) und begrenzt damit den „effektiven Durchwurzelungsraum“ (We in cm unter Flur) (AG Boden 2005), in dem Pflanzen potenziell Wasser und Nährstoffe aus dem Boden ziehen können. Besonders durch Einstau kann sich der Gr-Horizont stark verschieben und dadurch den effektiven Durchwurzelungsraum einengen.

Im zeitigen Frühjahr setzt bei vielen Pflanzenarten die Bildung neuer Feinwurzeln ein. Dieser Prozess kann nur in durchlüftetem Boden, nicht aber im voll wassergesättigtem Bereich stattfinden, wobei jedoch jede Pflanzenart auf den Nässestress unterschiedlich stark reagiert. Um diesen selektiven Parameter abzubilden, hat sich der mittlere jährliche Grundwasserflurabstand im März/April (siehe Anlage 4.1 bzw. VU I.11.9 & 10 Ist-Zustand; II.12.13 & 14 Variante A; III.14.13 & 14 Variante C_{2,80}) bewährt (Runhaar *et al.*, 1997).

Um im Bereich zwischen MNW und MW(März/April) weiter differenzieren zu können, wird auch der Grundwasserflurabstand bei MQ betrachtet (siehe Anlage 4.2 bzw. VU I.11.5 & 6 Ist-Zustand; II.12.9 & 10 Variante A; III.14.9 & 10 Variante C_{2,80}).

Viele Pflanzenarten können auf grundwassernahen Standorten mit stark schwankenden Grundwasserspiegeln nicht dauerhaft wachsen. Eine Ausnahme bilden die Arten der Weichholzaue, die allerdings auf Standorten mit geringeren Schwankungen der Konkurrenz anderer Arten unterlegen sind. Um solche Standorte abzubilden, werden die Schwankungsbreiten des Grundwassers zwischen MW und MNW sowie MW(März/April) und MNW (siehe Anlage 4.4 bzw. VU I.11.9 & 10 Ist-Zustand; II.12.13 & 14 Variante A; III.14.13 & 14 Variante C_{2,80}) verwendet.

Boden und Bodenwasserhaushalt

Für die Untersuchungen stehen Daten aus über 25000 Bohrstockeinschlägen, Rammkernsondierungen und entsprechende flächige Interpolationen der Daten bereit. Keimung und Wachstum der Pflanzen werden auch durch das Substrat und damit die Bodenart in der Aue bestimmt (Ellenberg & Leuschner, 2010). Im Gebiet gibt es wenige Standorte mit anstehenden, größeren Materialien wie Kiesen und Sanden. Der überwiegende Teil wird von einer Aue-

lehmdeckschicht überzogen. Durch eine flächige Darstellung der Mächtigkeit dieser Deckschicht (Anlage I.11.11 der Gesamtstudie) lassen sich diese Standorte unterscheiden.

Zusätzlich wird die Wasserdurchlässigkeit der Deckschicht durch die Äquivalentleitfähigkeit abgebildet (Anlage I.11.13 der Gesamtstudie). In diesen Parameter fließen u.a. die Mächtigkeit der Deckschicht, der Grundwasserflurabstand und die spezifische Wasserdurchlässigkeit der einzelnen Bodenhorizonte ein, welche für über 15000 Bohrprofile berechnet und dann flächig interpoliert wurde (emc GmbH 2012).

Durch Verschneidung der Deckschichtunterkante mit den Grundwasserspiegellagen für MW und MNW wird der Grundwasserstand in der Deckschicht dargestellt. Daraus lassen sich Standorte mit potenziell gespanntem Grundwasser bzw. der Anschluss der Deckschicht an das Grundwasser ablesen.

Aus den Bohrstockeinschlägen wurden außerdem noch der Carbonat-, Humus-, Ton- und Sandgehalt der oberen 30 cm interpoliert und den Vegetationsaufnahmen im GIS zugeordnet.

Landnutzung

Daten zur aktuellen Landnutzung sind entscheidend, um das Untersuchungsgebiet im Vorfeld in Grünland, naturnahe Gebiete und stark anthropogen überprägte Flächen wie Wege und Siedlungen zu unterteilen. Dafür wird die Vegetationskartierung verwendet, die für jede kartierte Pflanzengesellschaft gleichzeitig die Nutzungsart dokumentiert.

3.3 Erstellen der Modelle

Ziel ist die Erstellung von Regeltabellen, welche die Standortpotenziale für Vegetationstypen anhand von abiotischen Parametern klar definieren und kartographisch umgesetzt werden können. Dafür werden entsprechend der vorhandenen Datenlage unterschiedliche Analysen durchgeführt, und deren Ergebnisse dann zu Regeltabellen integriert. Die einzelnen Bearbeitungsschritte sind in Abb. 3-2 schematisch dargestellt.

Von vornherein wird zwischen Grünland und naturnaher Vegetation unterschieden. Außerdem werden für die naturnahe Vegetation das Vorland (Fläche überflutet bei HQ₅) und Hinterland (Fläche nicht überflutet bei HQ₅) getrennt betrachtet, um die Übersichtlichkeit der Regeltabellen zu wahren.

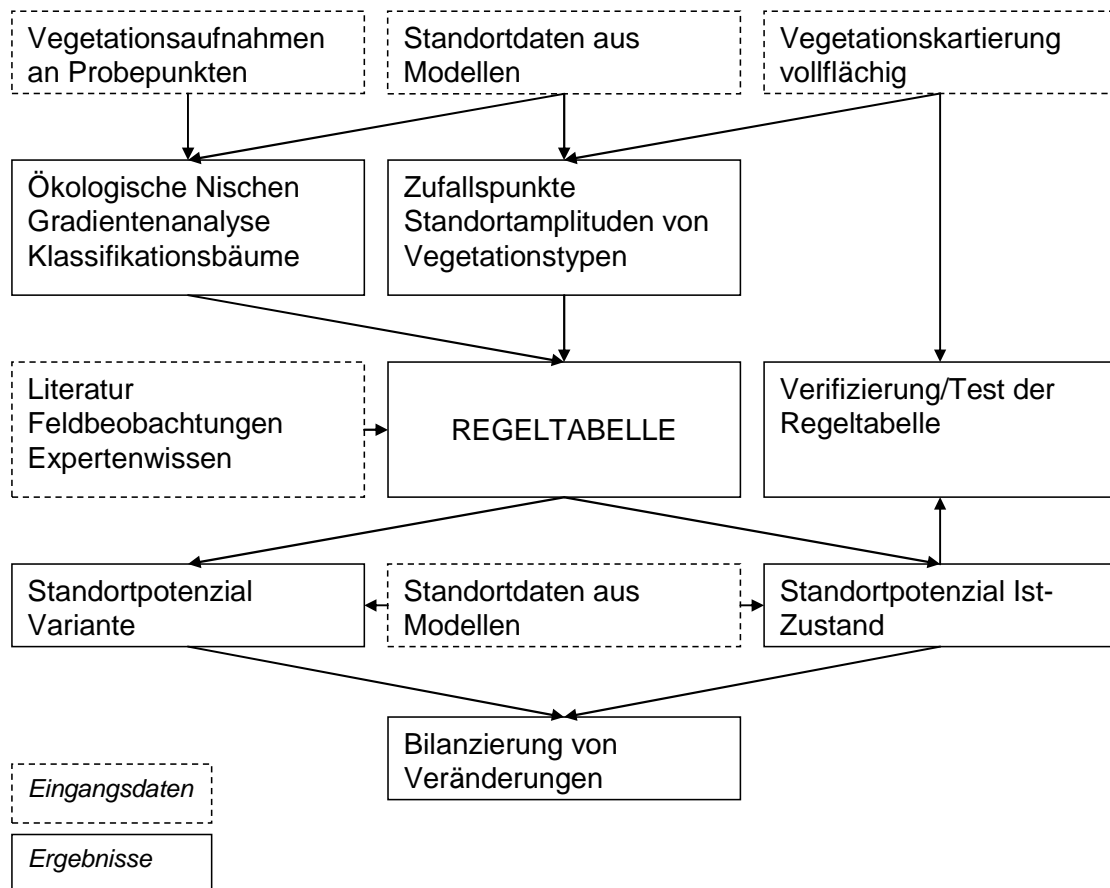


Abb. 3-2: Schema der Modellierung des Standortpotenzials mit Eingangsdaten und Ergebnissen der Arbeitsschritte.

3.3.1 Ökologische Nischen typischer Pflanzenarten

Um eine genauere Vorstellung des Verhaltens von Pflanzenarten entlang ökologischer Gradienten in der Aue zu bekommen, werden deren ökologische Nischen modelliert. Dafür werden in der Vegetationsökologie übliche sogenannte logarithmische HOF-Modelle verwendet (Siehe Huisman *et al.*, 1993, Kalusova *et al.*, 2009, Peper *et al.*, 2011). Die Berechnungen werden mit der Software „R“ (R Development Core Team, 2012) und dem Paket „vegdata.dev“ durchgeführt.

Dafür werden für die lagegenauen Vegetationsaufnahmen im GIS die Werte aller Standortparameter selektiert um danach die Pflanzenarten auszuwählen, welche in mindestens 10 Aufnahmen vorhanden sind und eine auetypische Pflanzengesellschaft repräsentieren. Aus dem Verhältnis von Vorhandensein und Fehlen der Pflanzenart wird nun die Vorkommenswahrscheinlichkeit mit fünf logistischen Modelle berechnet (Abb. 3-3 & Abb. 3-4).

Das jeweils beste Modell wird durch Bayes-Informations-Kriterium (Gideon, 1978) ausgewählt, welches die Anzahl der Probepunkte, die Komplexität der Modelle und deren Anpassungsgüte berücksichtigt. Wenn nur wenige Probepunkte vorhanden sind, wird durch das

Kriterium zumeist ein Modell mit weniger Schätzparametern ausgewählt, um eine Scheingenaugigkeit der Ergebnisse zu verhindern.

$$y = M \frac{1}{1 + e^a} \quad (1)$$

$$y = M \frac{1}{1 + e^{a+bx}} \quad (2)$$

$$y = M \frac{1}{1 + e^{a+bx}} \frac{1}{1 + e^c} \quad (3)$$

$$y = M \frac{1}{1 + e^{a+bx}} \frac{1}{1 + e^{c-bx}} \quad (4)$$

$$y = M \frac{1}{1 + e^{a+bx}} \frac{1}{1 + e^{c+dx}} \quad (5)$$

Abb. 3-3: Formeln der logistischen Regressionen für die Modellierung der ökologischen Nischen aus (Huisman et al., 1993). Die Modelle werden von 1 bis 5 immer komplexer. y ist die Vorkommenswahrscheinlichkeit als abhängige Variable, x der Standortgradient als erklärende Variable. M ist hier 1 als Konstante bei der Verwendung von Präsenz/Absenz Daten. a , b , c und d sind die Schätzparameter.

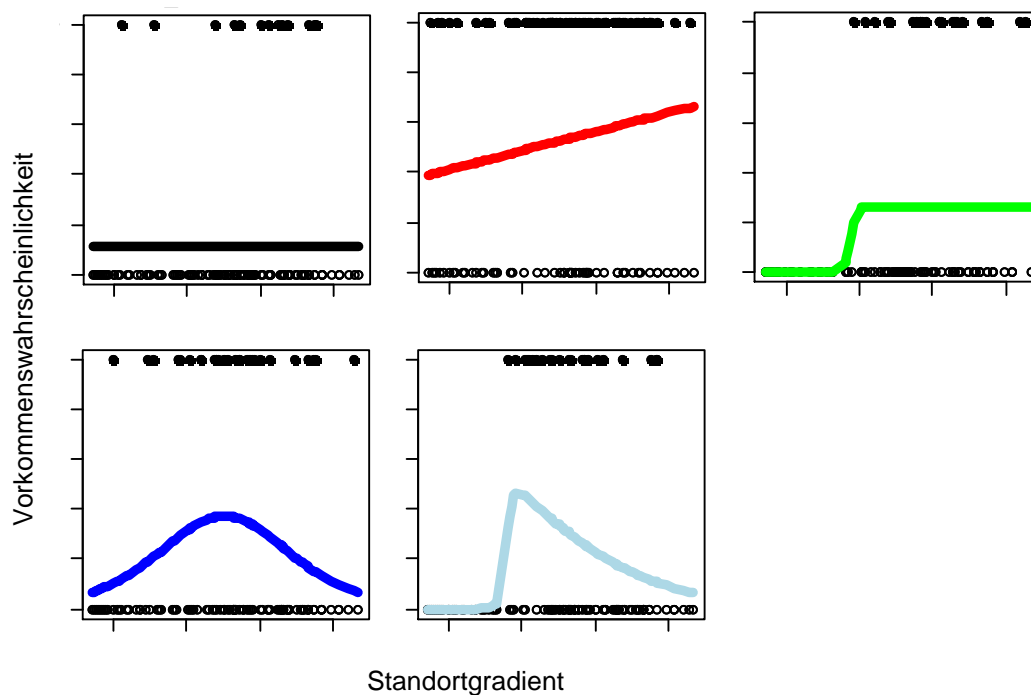


Abb. 3-4: Darstellung der fünf möglichen, immer komplexer werdenden Kurventypen der ökologischen Nischen mit Vorkommenswahrscheinlichkeit (y-Achse) einer Art entlang eines Standortgradienten (x-Achse). Die Kreise stehen jeweils für eine Referenzaufnahme mit Vorkommen der Art (volle Kreise oben) und ohne Vorkommen der Art (leere Kreise unten). Bei Typ 1 (schwarz) reagiert die Pflanzenart nicht auf den Gradienten, bei Typ 2 (rot) nimmt sie stetig zu oder ab, bei Typ 3 (grün) nimmt sie zu bis ein Plateau erreicht ist, bzw. fällt umgekehrt von einem Plateau ab, bei Typ 4 (dunkelblau) hat sie die klassische glockenförmige Verteilung und bei Typ 5 fällt sie zu einer Seite steil ab.

3.3.2 Standortamplitude der Vegetationstypen

Die aus der Kartierung der Pflanzengesellschaften extrahierten Zufallspunkte werden mit den Standortparametern verschnitten. Außerdem werden die Pflanzengesellschaften den in der Modellierung verwendeten Vegetationstypen zugeordnet. Aus diesem Datensatz werden für ausgewählte Umweltparameter Boxplot-Diagramme mit der Software „R“ erstellt, welche für alle Vegetationstypen die jeweilige ökologische Amplitude angeben. So wird ersichtlich, ob sich beispielsweise der Weichholzauwald in seiner Lage über der Mittelwasserlinie vom Hartholzauwald unterscheidet. Solche Darstellungen werden auch für einzelne Pflanzengesellschaften erstellt, um das Standortpotenzial eines Vegetationstyps möglicherweise bis auf die Ebene der Pflanzengesellschaften interpretieren zu können.

3.3.3 Gradientenanalyse

Boxplots und ökologische Nischen geben einen Einblick in die ökologischen Zusammenhänge, reichen aber meist allein nicht aus um Regeltabellen zu erstellen. So wird zum Beispiel deutlich, dass einige Parameter sehr stark miteinander korrelieren, und damit sehr ähnliche Gradienten abbilden (z.B. Höhe zu MHW und HW₅). Diese Korrelationen werden mit dem Spearman-Rang-Korrelationstest berechnet und in Matrizen dargestellt.

Für den Modellaufbau sollte von ähnlichen Parametern nur derjenige verwendet werden, welcher die Vegetation am besten differenzieren kann. Eine Reduktion der Umweltvariablen ist somit notwendig. Dabei helfen indirekte Ordinationen, in diesem Fall die Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung (NMDS) (Legendre & Legendre, 1998, Leyer & Wesche, 2007), welche in der Software „R“, Paket „vegan“, integriert ist. Eine Ordination ordnet alle Referenzaufnahmen so an, dass Aufnahmen mit sehr ähnlichem Artenspektrum nahe beieinander stehen. Je unterschiedlicher zwei Aufnahmen sind, desto entfernter voneinander werden sie angeordnet. Dadurch werden Gradienten in der Artenzusammensetzung der Vegetation entlang der Ordinationsachsen abgebildet.

Nun werden die Korrelationen zwischen Ordinationsachsen und den Standortparametern berechnet. Je höher der Korrelationswert, desto besser kann der Standortparameter die Unterschiede in der Vegetation erklären. Dabei sind ähnliche Parameter mit einer Ordinationsachse korreliert. Für die notwendige Datenreduktion ist es nun möglich, für jeden Vegetationsgradient die Parameter mit den höchsten Korrelationen auszuwählen und sehr ähnliche nicht mehr weiter zu verwenden.

Es kann vorkommen, dass ein Vegetationsgradient nicht mit den vorhandenen Standortparametern interpretiert werden kann. Dies kann vielfältige Gründe haben, muss aber in der weiteren Modellierung beachtet werden. So können Unterschiede zwischen Vegetationstypen, die entlang solch einer Achse liegen, nicht differenziert werden. Die häufig verwendete

direkte Ordination (z.B. Kanonische Korrespondenzanalyse CCA) ermöglicht diesen kritischen Blick auf den Datensatz hingegen nur eingeschränkt und wird deshalb nicht verwendet.

3.3.4 Ableitung von Regeltabellen

Durch die vorhergehenden Schritte wird ermittelt, welche der über 20 Umweltparameter die Vegetation gut differenzieren. Daraus lassen sich auch schon erste Schwellenwerte direkt ablesen, bei deren Überschreiten ein bestimmter Vegetationstyp mit hoher Wahrscheinlichkeit sich sehr stark verändern bzw. verschwinden würde. Bei einigen Parametern sind diese Schwellenwerte allerdings auf den ersten Blick nicht erkennbar. Um auch in diesen Fällen Regeln ableiten zu können, werden dichotome Klassifikationsbäume berechnet (Classification and Regression Tree Analysis; Vayssières *et al.*, 2000, De'ath & Fabricius, 2000, Breiman *et al.*, 1983, Crawley, 2007) Die Klassifikationsbäume werden mit der Software „R“ und dem Paket „mvpart“ berechnet.

Die CART-Analyse teilt den Datensatz in mehreren Schritten so auf, dass am Ende möglichst eine ganz bestimmte Kombination von Standortparametern einem Vegetationstyp zugeordnet werden kann. Dabei werden Standortparameter ausgewählt, welche den jeweiligen Datensatz am besten aufteilen können. Gering differenzierende Parameter werden nicht verwendet, wodurch eine weitere Datenreduktion stattfindet.

Alle Ergebnisse der Teilanalysen werden nun miteinander verglichen und interpretiert, um eine Regeltabelle z.B. für die potenziell natürliche Vegetation abzuleiten. Dabei müssen auch der aktuelle Nutzungseinfluss und Sukzessionsstadien berücksichtigt werden. Das Standortpotenzial soll für das „Endstadium“ der Sukzession abgebildet werden, wodurch z.B. viele aktuelle Weidenstandorte das Potenzial für Hartholzaue zugewiesen bekommen.

In einer Regeltabelle wird einem Vegetationstyp eine bestimmte Kombination von Standortmerkmalen wie z.B. eine bestimmte Spanne des Grundwasserstandes bei Mittelwasser und eine maximale Fließgeschwindigkeit zugeordnet. Dabei werden die Standortpotenziale für die einzelnen Vegetationstypen klar voneinander abgegrenzt, so dass kein Standort mehrere Potenziale aufweisen kann. Diese klaren Grenzen helfen bei der Interpretation der Ergebnisse, spiegeln aber nicht immer die natürlichen kontinuierlichen Übergänge wider. Näheres zu dieser Problematik wird in Kapitel 5.1, Grenzen der Modellierung, diskutiert.

3.3.5 Kartographische Darstellung und Verifizierung

Die abgeleiteten Regeln können über die Raster Berechnung in ArcGIS unter Verwendung der Rasterkarten für die Standortparameter umgesetzt werden. Dies erfolgt sowohl für die Daten des Ist-Zustands als auch für die beiden Varianten. Dabei bekommt jeder Vegetationstyp eine bestimmte Rasterkennzahl zugeordnet.

Um die Aussagefähigkeit der modellierten potenziell natürlichen Vegetation bzw. des Standortpotenzials für Grünlandtypen abzuschätzen, bestehen mehrere Möglichkeiten. Häufig werden Testdatensätze verwendet. In diesem Falle müssten das verortete Vegetationsaufnahmen sein, welche mit der Modellierung verglichen werden. Je häufiger der modellierte Vegetationstyp mit den tatsächlich kartierten übereinstimmt, desto besser ist das Modell. Diese ursprünglich geplante Methode mit Stichproben benötigt eine sehr hohe Anzahl an Vegetationsaufnahmen. Diese liegen jedoch nicht in ausreichender Zahl vor.

Als Alternative wird die flächige Kartierung der Vegetation herangezogen. Darin werden die kartierten Pflanzengesellschaften den modellierten Vegetationstypen zugeordnet und bekommen ebenfalls die typspezifischen Rasterkennzahlen. Nun wird im GIS das Raster der kartierten Vegetation vom Raster des modellierten Ist-Zustandes subtrahiert. Im entstehenden Raster zeigen nun alle Zellen mit dem Wert 0 die Übereinstimmung zwischen Kartierung und Modellierung. Alle anderen Zahlen codieren jeweils eine ganz bestimmte Abweichung (z.B. Silberweidenwald kartiert, Potenzial für Hartholzauce modelliert). Dann wird geprüft, ob diese abweichenden Kombinationen ökologisch plausibel sind. Dabei sind verschiedene Umstände zu berücksichtigen, welche im entsprechenden Ergebniskapitel beleuchtet werden. Durch diese Verifizierung lässt sich ablesen, wie gut die Modellierung bestimmte Vegetationstypen abbilden kann.

3.3.6 Bilanzierung indirekter Wirkungen durch die Varianten

Bis zu diesem Arbeitsschritt liegen die Raster-Karten der potenziell natürlichen Vegetation für den Ist-Zustand und die Varianten vor. Dabei sind die Vegetationstypen mit der sogenannten Mian-Chowla-Sequenz (1, 3, 7, 12, 20, 30, 44, 65...) codiert (Finch, 2003). Aufgrund dieser Codierung können nun die Karten der Varianten jeweils vom Ist-Zustand subtrahiert werden und die dabei entstehenden Raster-Codes lassen sich in jeweils ganz bestimmte Verschiebungen des Standortpotenzials übersetzen.

Die resultierenden Raster weisen sehr oft Kleinstflächen von wenigen Quadratmetern mit Veränderungen auf, die zumeist als „Rauschen“ in den Daten bzw. Artefakte aus der vorausgehenden Modellkette zu interpretieren sind. Um diese wenig aussagekräftigen Flächen zu eliminieren, wird zweimal ein Filter angewendet. Dieser weist einer einzeln stehenden Rasterzelle den Wert der Mehrheit der sie umgebenden acht Zellen zu, wobei mindestens vier der Nachbarzellen gleiche Werte haben müssen. Im Resultat bleiben dann alle größeren zusammenhängenden Flächen ab ca. 6 m² übrig, die dann auch sinnvoll in der weiteren Planung berücksichtigt werden können.

Um der Modellunschärfe Rechnung zu tragen, werden nur Flächen mit Veränderungen dargestellt, an denen sich variantenbedingt eine Grundwasserspiegellage um mindestens

20 cm verschiebt, bzw. die Fließgeschwindigkeit bei Mittelwasser sich um mindestens 20 cm/s verändert. Außerdem werden nur Flächen dargestellt, die nicht direkt von Baumaßnahmen betroffen sind.

Für die Bilanzierung ist nun interessant, ob im Ist-Zustand vorhandene Vegetation betroffen sein wird. Daher werden Veränderungen im natürlichen Potenzial nur dort dargestellt, wo sich bereits heute naturnahe Vegetation befindet. Für das Grünland wird entsprechend verfahren. Zum Schluss werden die Rasterdaten zur besseren Darstellung in Vektordaten, also Polygone umgewandelt. Aus diesen Karten lassen sich dann im Nachhinein z.B. alle beeinträchtigten Flächen mit FFH-Lebensräumen selektieren.

4 Ergebnisse

4.1 Klassifikation der Vegetationstypen

Naturnahe Vegetation im Vorland

Zur Analyse der naturnahen Vegetation im Vorland standen 144 Vegetationsaufnahmen zur Verfügung (Anlage 3.1), welche zu neun Vegetationstypen zusammengefasst wurden (Tab. 4-1). Dabei werden die Waldsäume und Hochstaudenfluren als Ersatzgesellschaften von Wäldern später nicht in den Regeltabellen berücksichtigt. Diese Aufnahmen werden aber für die Modellierung der ökologischen Nischen verwendet.

Für eine weitere floristisch-soziologische Differenzierung der Weichholzaue reichen die vorhandenen Aufnahmen nicht aus. Im Gelände und der Literatur (z.B. Linhard, 1964) ist aber eine Teilung in untere und obere Weichholzaue zu erkennen. Durch den bei Variante C_{2,80} vorgesehenen Einstau der Donau muss auch mit dem Auftreten einer dauerfeuchten Weichholzaue bis hin zu Sumpfwäldern gerechnet werden. Die einzelnen Typen mit einer Zuordnung zu den kartierten Pflanzengesellschaften werden im Kapitel 4.3.1 beschrieben.

Tab. 4-1: Vegetationstypen der naturnahen Vegetation des Vorlandes. * Die Weichholzaue wird in der flächigen Modellierung in drei standörtlich unterschiedliche Typen gegliedert. ** Vegetationstypen die nicht in der flächigen Modellierung angesprochen werden.

Vegetationstyp	Anzahl Vegetationsaufnahmen
Wasserpflanzen	22
Röhrichte und Riede	20
Pionierfluren	10
Weichholzaue	46
Obere Weichholzaue*	
Untere Weichholzaue*	
Dauerfeuchte Weichholzaue*	
Hartholzaue	20
Hochstauden**	13
Waldsäume**	13

Naturnahe Vegetation im Hinterland

Zur Analyse der naturnahen Vegetation im Hinterland standen 163 Vegetationsaufnahmen zur Verfügung (Anlage 3.1), welche in fünf Typen aufgeteilt wurden (Tab. 4-2). Dabei ist aktuell noch die Hartholzaue vertreten, obwohl aufgrund des fehlenden Hochwasserregimes zukünftig von einer Umwandlung in Eichen-Hainbuchen- oder Ahorn-Eschenwälder auszugehen ist. Für die flächige Modellierung werden diese heute nur kleinflächig vertretenen Ty-

pen dennoch berücksichtigt. Die Vegetationstypen mit einer Zuordnung zu den kartierten Pflanzengesellschaften werden im Kapitel 4.3.2 beschrieben.

Tab. 4-2: Vegetationstypen der naturnahen Vegetation des Hinterlandes. * Die Bestände der Hartholzaue werden als fossil angesehen und nicht in der flächigen Modellierung berücksichtigt. ** Dafür wird von einer Entwicklung zu Eichen-Hainbuchen- und Ahorn-Eschenwäldern ausgegangen.

Vegetationstyp	Anzahl Vegetationsaufnahmen
Wasserpflanzen	51
Röhrichte und Riede	35
Sumpfwald	18
Hartholzaue*	20
Eichen-Hainbuchenwald	37
Feuchter Eichen-Hainbuchenwald**	
Frischer Eichen-Hainbuchenwald**	
Ahorn-Eschenwald**	

Grünland

Zur Analyse der Vegetation des Grünlandes standen insgesamt 141 Vegetationsaufnahmen zur Verfügung (Anlage 3.2). Diese wurden zuerst fünf Typen zugeordnet (Tab. 4-3). In der Regeltabelle wird dann zusätzlich noch zwischen wechselfeuchten und dauerfeuchten bzw. undynamischen Frisch- und Feuchtwiesen unterschieden, um die Auendynamik abzubilden. Diese lassen sich jedoch mit den vorhandenen Vegetationsaufnahmen nicht sicher differenzieren. Die einzelnen Typen und die Zuordnung zu Pflanzengesellschaften werden im Kapitel 4.3.3 beschrieben.

Tab. 4-3: Vegetationstypen des Grünlandes welche in der flächigen Modellierung berücksichtigt werden. * Diese Typen können anhand der vorhandenen Vegetationsaufnahmen nicht differenziert werden. Allerdings ist besonders bei Realisierung von Variante C_{2,80} mit dem Auftreten der undynamischen Ausprägungen zu rechnen.

Vegetationstyp	Anzahl Vegetationsaufnahmen
Flutrasen	18
Nasswiesen	37
Feuchtwiesen	52
Feuchtwiese wechselfeucht*	
Feuchtwiese dauerfeucht*	
Frischwiesen	25
Frischwiese wechselfeucht*	
Frischwiese undynamisch*	
Halbtrockenrasen	9

4.2 Zusammenhänge Standort und Vegetation

Die Abhängigkeiten der Vegetationstypen von Standortfaktoren werden anhand der ökologischen Nischen, der aktuellen Standortamplitude der Pflanzengesellschaften und der Gradientenanalyse dargestellt. Unter Berücksichtigung der Klassifikationsbäume werden dann die Regeltabellen erstellt und die einzelnen Schwellenwerte erläutert.

4.2.1 Naturnahe Vegetation im Vorland

Für die Modellierung der ökologischen Nischen wurden 29 Pflanzenarten ausgewählt (Anlage 1.1). Aus der Kartierung der Pflanzengesellschaften wurden insgesamt 20452 Zufallspunkte extrahiert, um die Verteilung der Vegetationstypen relativ zu Standortfaktoren darzustellen (Tab. 4-4).

Tab. 4-4: Anzahl der zufälligen Stichproben je Vegetationstyp der naturnahen Vegetation des Vorlandes aus der Kartierung der Pflanzengesellschaften 2011 im Untersuchungsgebiet.

Vegetationstyp	Anzahl Stichproben
Hartholzaue	1455
Pionierfluren	3456
Röhrichte, Riede	1944
Wasserpflanzen	4166
Weichholzaue	9325
Weichholzaue dauerfeucht	106
Summe	20452

Die vielen zur Verfügung stehenden Standortparameter sind oft voneinander abhängig. Dadurch zeigt sich oftmals eine ähnliche Verteilung der Vegetationstypen bei auf den ersten Blick voneinander unabhängigen Standortparametern. Einen Überblick über diese Zusammenhänge gibt Tab. 4-5. So sind z.B. alle Wasserspiegellagen und Grundwasserflurabstände sehr stark miteinander korreliert. Eine negative Korrelation besteht zwischen Ton- und Sandgehalt. Außerdem ist die Deckschichtmächtigkeit positiv mit den Grundwasserflurabständen korreliert.

Tab. 4-5: Korrelationsmatrix (Spearman's Rankkorrelationskoeffizient „rho“) für alle betrachteten Standortparameter im Vorland. In Fett starke Korrelationen, in Normaldruck mittlere Korrelation in Grau schwache Korrelationen.

Standortparameter	GW-Flurabstand MW	GW-Flurabstand MW(März/April)	GW-Flurabstand MNW Sommer 03	GW-Flurabstand MNW	Wasserspiegellage HNN	Wasserspiegellage HQ5	Wasserspiegellage MHQ	Wasserspiegellage MQ(März/April)	Wasserspiegellage MQ	Wasserspiegellage MNQ Sommer 2003	Wasserspiegellage MNQ	Wasserspiegellage Unterkannte Hartholzau	Wasserspiegellage Unterkannte Schlammlingsflur	Wasserspiegellage Unterkannte Weichholzau
GW-Flurabstand MW	1.00													
GW-Flurabstand MW(März/April)	0.98	1.00												
GW-Flurabstand MNW Sommer 03	0.85	0.81	1.00											
GW-Flurabstand MNW	0.89	0.80	0.92	1.00										
Wasserspiegellage HNN	0.79	0.86	0.80	0.55	1.00									
Wasserspiegellage HQ5	0.75	0.83	0.77	0.49	0.99	1.00								
Wasserspiegellage MHQ	0.77	0.85	0.79	0.52	1.00	1.00	1.00							
Wasserspiegellage MQ(März/April)	0.86	0.86	0.87	0.74	0.89	0.84	0.86	1.00						
Wasserspiegellage MQ	0.85	0.82	0.91	0.80	0.80	0.74	0.77	0.98	1.00					
Wasserspiegellage MNQ Sommer 2003	0.85	0.81	1.00	0.92	0.80	0.77	0.79	0.87	0.91	1.00				
Wasserspiegellage MNQ	0.76	0.68	0.97	0.84	0.61	0.54	0.58	0.86	0.93	0.97	1.00			
Wasserspiegellage Grenze Hartholzau	0.85	0.88	0.83	0.68	0.94	0.90	0.92	0.98	0.94	0.83	0.79	1.00		
Wasserspiegellage Grenze Schlammlingsflur	0.79	0.73	0.96	0.84	0.67	0.61	0.64	0.90	0.95	0.96	1.00	0.83	1.00	
Wasserspiegellage Grenze Weichholzau	0.85	0.83	0.90	0.80	0.81	0.75	0.78	0.98	1.00	0.90	0.92	0.94	0.95	1.00
Fließgeschwindigkeit bei HQ5	-0.21	-0.27	-0.12	-0.01	-0.35	-0.37	-0.36	-0.18	-0.11	-0.12	0.01	-0.23	-0.03	-0.12
Fließgeschwindigkeit bei MQ	-0.07	-0.05	-0.15	-0.08	-0.11	-0.11	-0.12	-0.09	-0.10	-0.14	-0.13	-0.09	-0.12	-0.09
Schwankungsbreite MHW-MW	-0.13	-0.23	-0.03	0.11	-0.43	-0.51	-0.48	-0.09	0.04	-0.03	0.20	-0.18	0.14	0.02
GW-Schwankung MW-MNW	-0.01	-0.17	0.30	0.37	-0.33	-0.37	-0.33	-0.10	0.03	0.29	0.31	-0.19	0.24	0.01
GW-Schwankung MW(März/April)-MNW	-0.01	-0.17	0.31	0.38	-0.32	-0.36	-0.32	-0.09	0.04	0.30	0.32	-0.18	0.25	0.02
Carbonatgehalt	-0.07	-0.07	-0.05	-0.05	-0.13	-0.12	-0.13	-0.10	-0.10	-0.05	-0.10	-0.10	-0.09	-0.10
Humusgehalt	0.00	0.01	0.03	-0.01	0.05	0.09	0.08	0.03	0.03	0.03	0.08	0.03	0.08	0.03
Sandgehalt	0.17	0.17	0.17	0.18	0.14	0.16	0.15	0.12	0.11	0.17	0.09	0.12	0.09	0.11
Tongehalt	-0.11	-0.10	-0.10	-0.12	-0.06	-0.07	-0.07	-0.06	-0.06	-0.10	-0.04	-0.06	-0.04	-0.06
Deckschichtmächtigkeit	0.54	0.53	0.54	0.53	0.45	0.45	0.46	0.49	0.48	0.53	0.44	0.48	0.46	0.48
Höhe MW in Deckschicht	-0.08	-0.09	-0.12	-0.03	-0.14	-0.11	-0.12	-0.15	-0.16	-0.14	-0.14	-0.16	-0.14	-0.17
Höhe MNW in Deckschicht	-0.19	-0.14	-0.20	-0.26	-0.03	0.02	0.00	-0.13	-0.19	-0.22	-0.25	-0.10	-0.23	-0.19
Äquivalentleitfähigkeit	0.03	0.04	0.02	0.01	0.07	0.08	0.07	0.06	0.06	0.04	0.04	0.06	0.05	0.06

Fortsetzung Tab. 4-5

Standortparameter	Fließgeschwindigkeit bei HQ5	Fließgeschwindigkeit bei MQ	Schwankungsbreite MHW-MW	GW-Schwankung MW-MNW	GW-Schwankung MW(März/April)-MNW	Carbonatgehalt	Humusgehalt	Sandgehalt	Tongehalt	Deckschichtmächtigkeit	Höhe MW in Deckschicht	Höhe MNW in Deckschicht	Äquivalentleitfähigkeit
Fließgeschwindigkeit bei HQ5	1.00												
Fließgeschwindigkeit bei MQ	0.37	1.00											
Schwankungsbreite MHW-MW	0.39	0.09	1.00										
GW-Schwankung MW-MNW	0.31	-0.03	0.42	1.00									
GW-Schwankung MW(März/April)-MNW	0.30	-0.02	0.42	1.00	1.00								
Carbonatgehalt	0.00	0.02	0.16	-0.04	-0.03	1.00							
Humusgehalt	-0.19	-0.32	-0.23	0.08	0.11	-0.04	1.00						
Sandgehalt	0.12	0.33	-0.23	0.04	0.04	0.15	-0.17	1.00					
Tongehalt	0.02	-0.19	0.12	-0.02	-0.03	-0.19	0.11	-0.75	1.00				
Deckschichtmächtigkeit	-0.17	-0.11	-0.13	0.12	0.14	0.04	0.05	-0.01	-0.08	1.00			
Höhe MW in Deckschicht	-0.07	-0.08	-0.08	0.15	0.16	0.10	0.03	-0.12	-0.01	0.70	1.00		
Höhe MNW in Deckschicht	-0.18	-0.06	-0.24	-0.13	-0.12	0.08	0.08	-0.20	0.03	0.61	0.86	1.00	
Äquivalentleitfähigkeit	0.13	0.19	-0.04	-0.12	-0.11	-0.06	-0.08	0.22	-0.04	-0.47	-0.58	-0.61	1.00

Grundwasserflurabstand und Dynamik

Für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens fast aller untersuchten Pflanzenarten zeigt sich der Grundwasserflurabstand von entscheidender Bedeutung und zeichnet die Auenzonierung nach (siehe Anlage 1.1). Dabei ähneln sich die Muster der ökologischen Nischen relativ zu allen untersuchten Abflusszuständen. Am tiefsten stehen die Wasserpflanzengesellschaften,

gefolgt von Pionierfluren, Röhrichten und Rieden, danach die Weichholzaue und dann die Hartholzaue. In Abb. 4-1 werden allerdings auch die großen Überlappungsbereiche zwischen den Vegetationstypen deutlich. Am besten differenzieren dabei die höheren Grundwasserstände MW und MW(März-April).

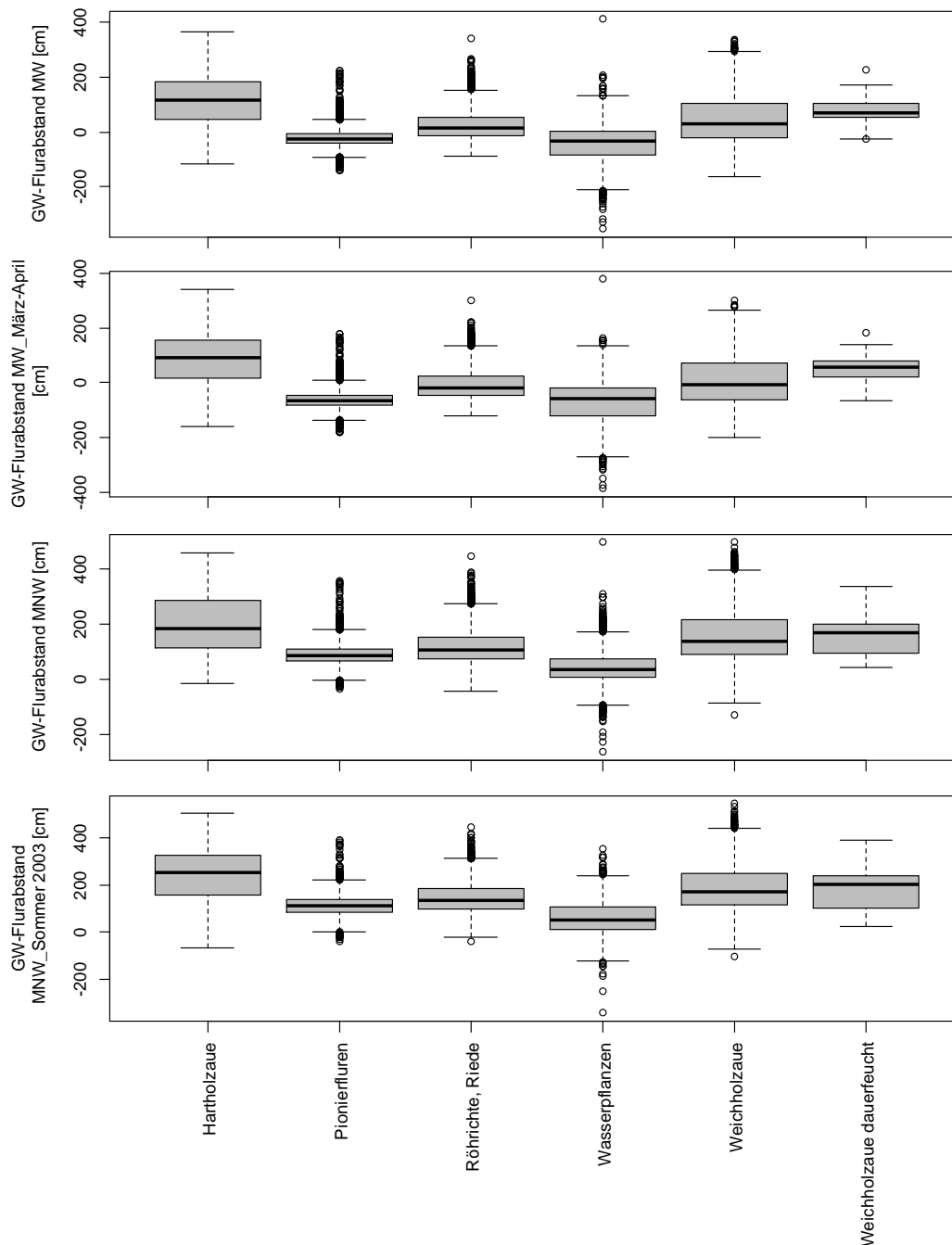


Abb. 4-1: Verteilung der Vegetationstypen im Vorland relativ zu verschiedenen Grundwasserflurabständen. Die Box-Whiskerplots geben Quartile an. Die Whisker begrenzen die oberen und unteren 25 % der Standorte, die mittleren 50 % befinden sich im gefüllten Rechteck und werden durch den Median (dicke Linie) getrennt. Einzelne Kreise stellen Ausreißer dar. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-4 zu entnehmen.

Wesentlich weniger Arten sind von schwankenden Grundwasserständen, also Weichselfeuchte abhängig. Jedoch zeigen typische Auenarten wie *Salix alba*, *Rorippa sylvestris* und *Chaerophyllum bulbosum* enge Bindungen an große Schwankungen. Auf der anderen Seite wachsen *Phragmites australis* und *Prunus padus* eher auf Standorten mit geringer Weichselfeuchte (Anlage 1.1). Dies zeigt sich auch an der Verteilung der Vegetationstypen. So kommen die Pionierfluren und die Weichholzaue tendenziell auf Standorten mit stärker schwankenden Grundwasserständen häufiger vor als die übrigen Vegetationstypen (Abb. 4-2).

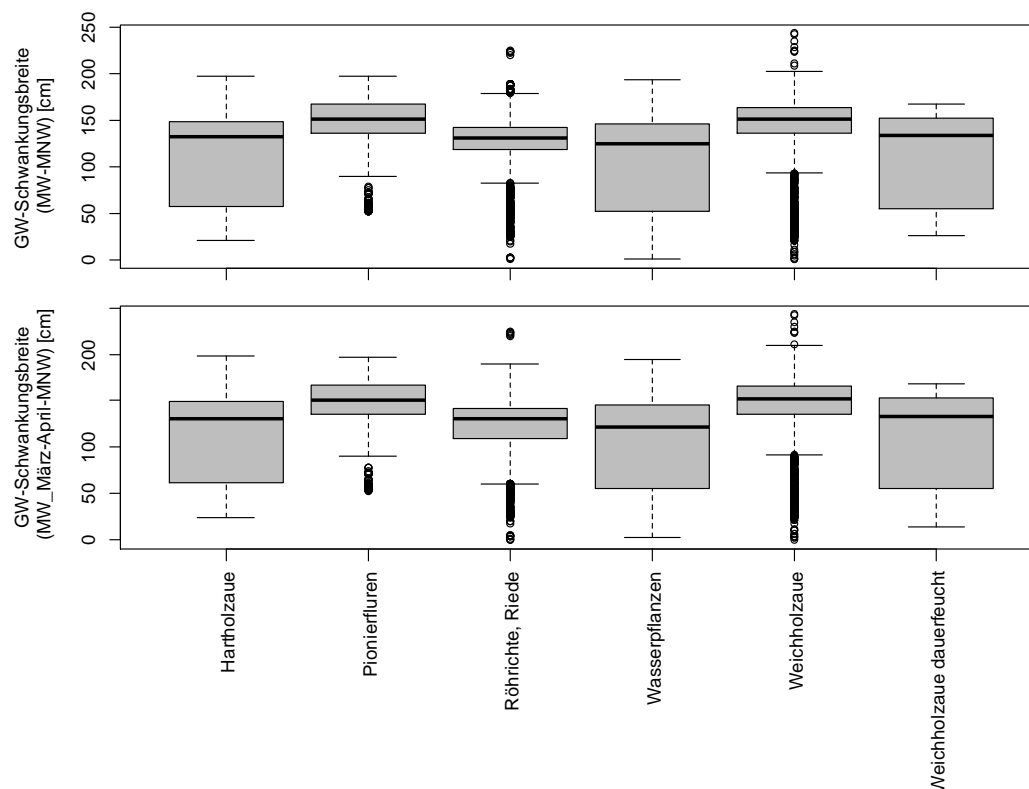


Abb. 4-2: Verteilung der Vegetationstypen im Vorland relativ zur Schwankungsbreite der Grundwasserstände. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-4 zu entnehmen.

Wasserspiegel und Dynamik

Die relative Höhe des Standortes zu einer Wasserspiegellage hat sehr ähnliche Auswirkungen auf das Vorkommen der Pflanzenarten wie der Grundwasserflurabstand. Viele Arten zeigen deutliche Minima und Maxima der Überflutungshöhen bei MHW und HW_5 (Anlage 1.1). Allerdings differenzieren die einzelnen Wasserspiegellagen die Vegetationstypen alle sehr ähnlich.

Bei der Analyse der Differenzen des Wasserstandes zwischen MHW und MW zeigt sich, dass die Hartholzaue, Wasserpflanzen und die dauerfeuchte Weichholzaue sowohl bei geringen als auch bei hohen Wasserstandsamplituden vorkommen können. Alle anderen Typen kommen aktuell im Untersuchungsgebiet bis auf wenige Ausnahmen nur ab Differenzen von 1,5 m und mehr vor.

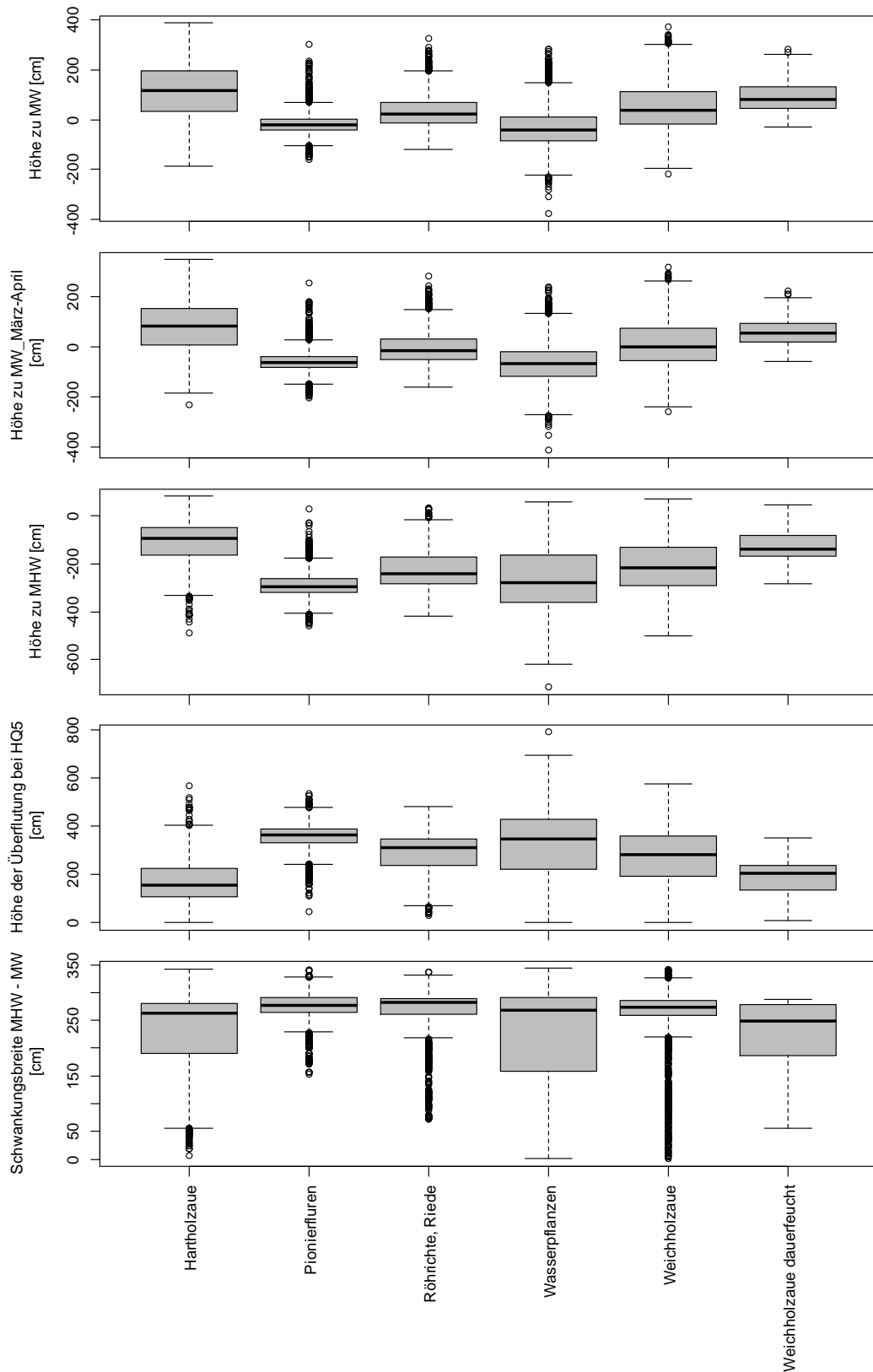


Abb. 4-3: Verteilung der Vegetationstypen im Vorland relativ zur Höhe zu einzelnen Wasserspiegellagen und der Schwankungsbreite zwischen MHW und MW. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-4 zu entnehmen.

Fließgeschwindigkeiten

Ökologische Nischen wurden nur für Pflanzenarten in Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeit bei HQ₅ berechnet (Anlage 1.1), da bei MW nur sehr wenige Vegetationsaufnahmen überhaupt von Wasser bedeckt werden. Circa die Hälfte aller Arten zeigt keine Reaktion. Die Arten der Hartholzaue kommen zum Großteil nur bei Geschwindigkeiten bis 0,3 m/s vor, Arten der Weichholzaue vertragen bis 0,7 m/s. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Vegetationstypen: Hartholzaue und dauerfeuchte Weichholzaue werden bei Hochwasser nur von geringer Strömung beeinflusst, während die Standorte der Pionierfluren und der Weichholzaue stärker überströmt werden.

Die Fließgeschwindigkeit bei Mittelwasser ist hauptsächlich für Wasserpflanzen und indirekt für Pionierfluren von Bedeutung. Der Großteil der Wasserpflanzen wächst bei Fließgeschwindigkeiten bis 0,3 m/s (Abb. 4-4). Die Pionierfluren sind an Feinsubstrat gebunden, welches bei hohen Fließgeschwindigkeiten abgetragen wird. Deshalb kommen sie hauptsächlich bei Werten bis 0,2 m/s vor.

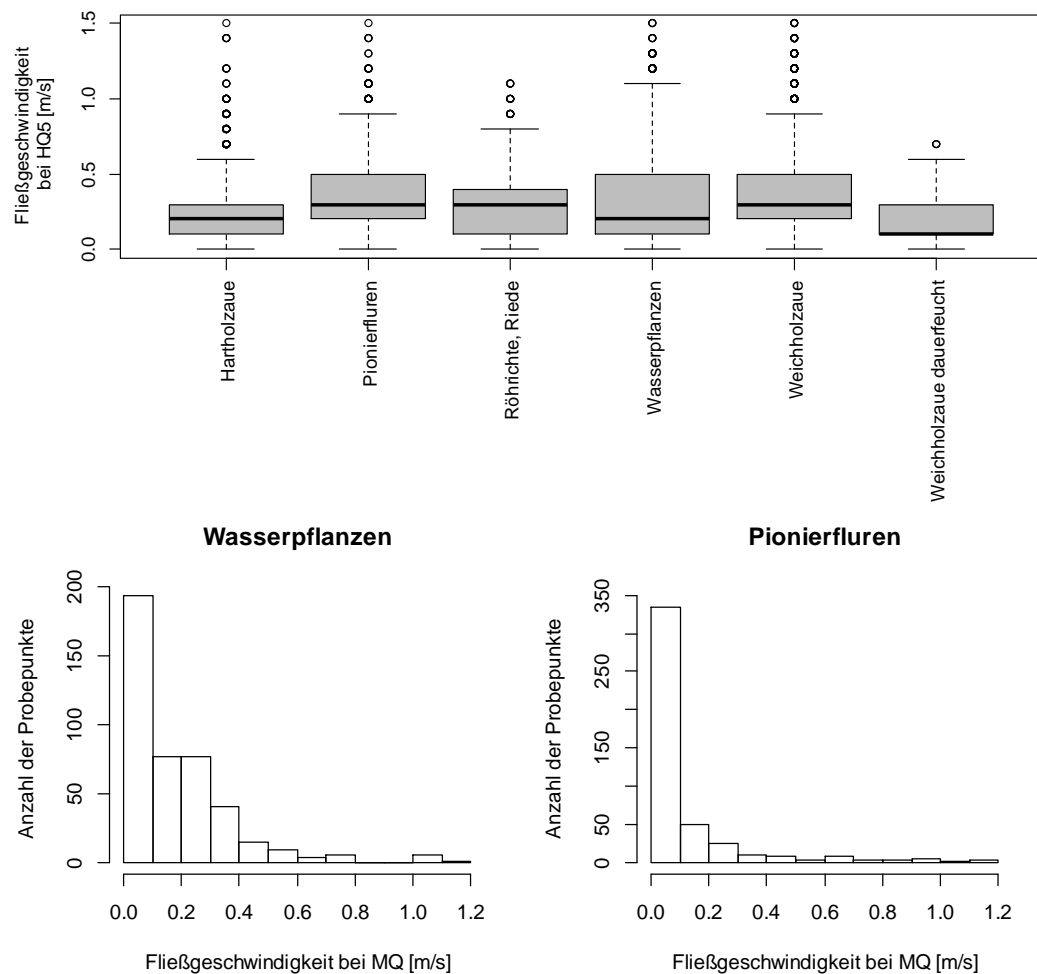


Abb. 4-4: Oben: Verteilung der Vegetationstypen im Vorland relativ zur Fließgeschwindigkeit bei HQ₅. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-4 zu entnehmen. Unten: Verteilung von Wasserpflanzengesellschaften und Pionierfluren relativ zur Fließgeschwindigkeit bei MW.

Boden

Hinsichtlich des Ton- und Sandgehaltes in den obersten 30 cm des Bodens gibt es nur geringe Unterschiede zwischen den Vegetationstypen (Abb. 4-5). Auffallend ist, dass die dauerfeuchte Weichholzaue offensichtlich auf eher bindigen Böden vorkommt. Die Arten der Hartholzaue wie *Quercus robur*, *Scilla bifolia* und *Stachys sylvatica* zeigen ein Optimum bei 10 % Tongehalt.

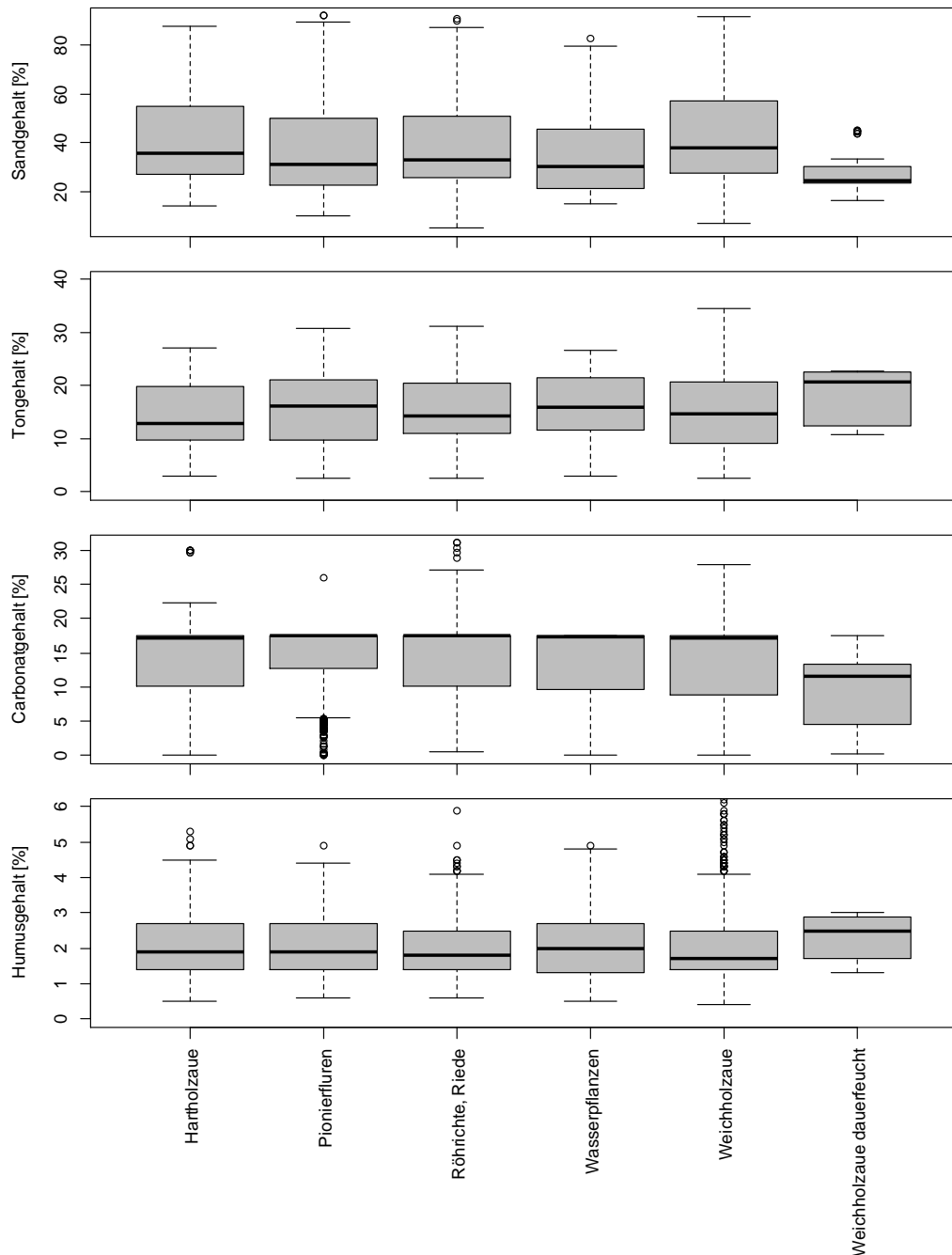


Abb. 4-5: Verteilung der Vegetationstypen des Vorlandes relativ zu Sand-, Ton-, Carbonat- und Humusgehalt in den obersten 30 cm des Bodens. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-4 zu entnehmen.

Auch die Humus- und Carbonatgehalte differenzieren nur leicht zwischen der dauerfeuchten Weichholzaue und den restlichen Vegetationstypen. Gegenüber beiden Faktoren reagieren die Pflanzenarten nur sehr schwach, wobei aber die zur Verfügung stehenden Gradienten auch sehr kurz sind (Humus von 1 bis 3 %; Carbonat von 6 bis 18 %) und damit die Pessima der einzelnen Pflanzenarten kaum mit abgedeckt werden.

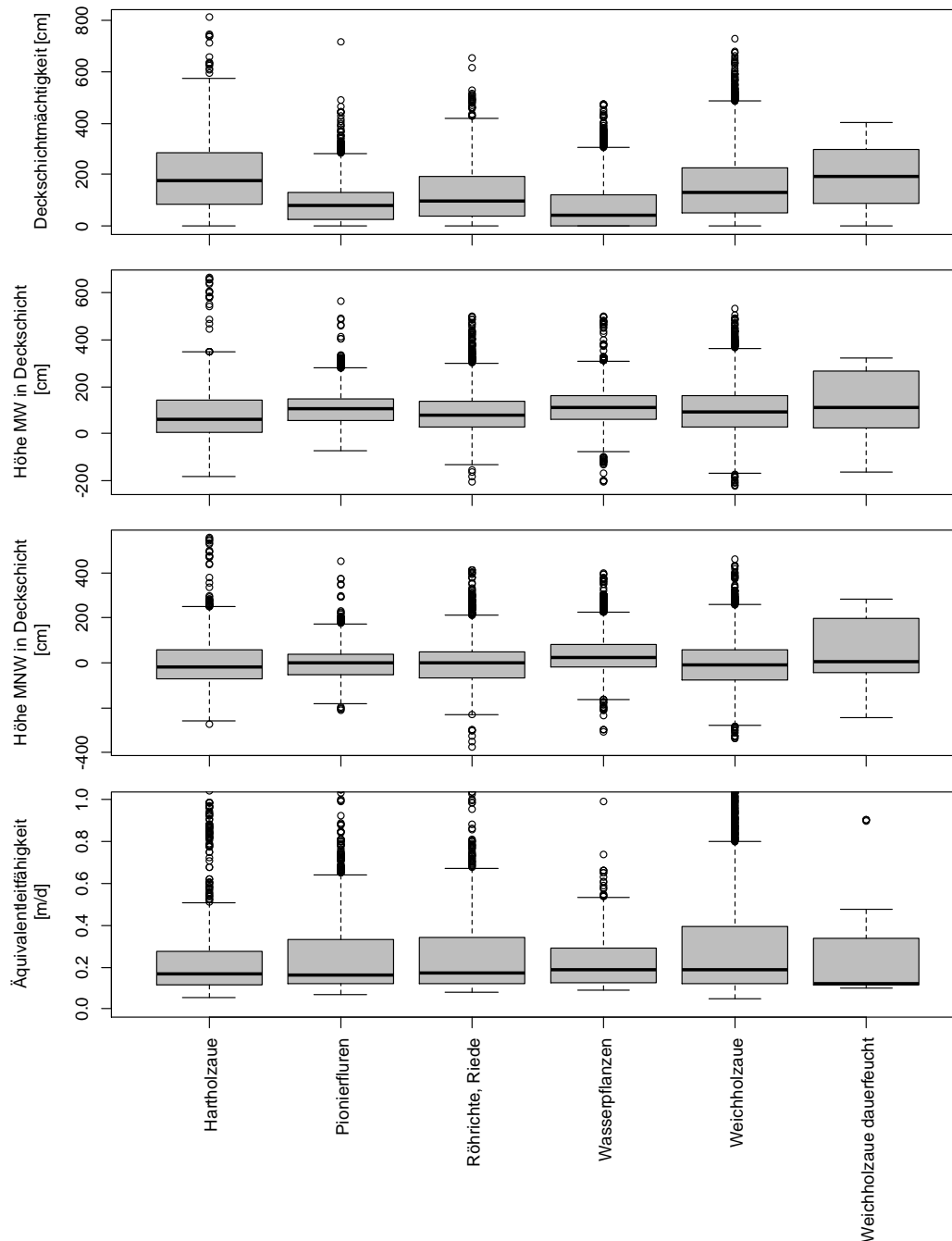


Abb. 4-6: Verteilung der Vegetationstypen des Vorlandes relativ zu Parametern des Bodenwasserhaushalts. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-4 zu entnehmen.

Viele Pflanzenarten zeigen keine Änderung der Vorkommenswahrscheinlichkeit bei Änderung der Deckschichtmächtigkeit. Einige Arten der Weichholzaue zeigen ein Optimum bei 2,5 m Mächtigkeit, da sie in höheren Lagen von der Hartholzaue verdrängt werden, welche z.T. auf einer noch mächtigeren Auelehmdeckschicht stockt. Auch die Verteilung der Vegetationstypen spiegelt eher die Höhenzonierung der Aue wider (Abb. 4-6).

Bei Mittelwasser steht die Deckschicht auf den meisten Standorten mit dem Grundwasser in Kontakt (Abb. 4-6), jedoch scheint die Höhe des Grundwasserspiegels in der Deckschicht nicht entscheidend für die Vegetation zu sein. Einige Pflanzenarten fallen scheinbar ab 2,5 m Grundwasserstand in der Deckschicht aus. Da die Deckschicht oft weniger als 2,5 m mächtig ist, steht in diesen Fällen bereits das Wasser über Flur und lässt nur noch das Wachstum von Wasserpflanzen zu. Somit zeichnet dieser Parameter auch die Höhenzonierung der Aue nach.

Bei mittlerem Niedrigwasser steht in über der Hälfte der Standorte die Deckschicht nicht direkt mit dem Grundwasser in Kontakt. Auch hier wird nur die dauerfeuchte Weichholzaue mit Grundwasseranbindung von den anderen Vegetationstypen getrennt.

Die Äquivalentleitfähigkeit als Maß für die Aufstiegsgeschwindigkeit des Grundwassers im Boden kann die Vegetationstypen nicht differenzieren. Lediglich Pflanzenarten der Hartholzaue scheinen auf dichteren Böden bevorzugt zu wachsen.

Gesamter Wirkungskomplex

Die Gradientenanalyse (Abb. 4-7) zeichnet entlang der 1. Achse die Höhenzonierung der Aue nach. Dieser floristische Gradient korreliert stark mit der Höhe zu allen Wasserspiegellagen und noch etwas stärker mit den Grundwasserflurabständen (Tab. 4-6). Die Bodenparameter spielen dagegen keine Rolle.

Die zweite Achse trennt dann im weiteren nur die Pionierfluren von den Röhrichten und Rieden, was sehr stark von den Grundwasserschwankungen nachgezeichnet wird. Auch die Fließgeschwindigkeit bei HQ_5 und die Äquivalentleitfähigkeit zeichnen diesen Gradienten nach, da beide in Flussnähe hoch sind und sich dort hauptsächlich auch die Pionierfluren befinden.

Um die Vegetationstypen mithilfe von Standortparametern zu differenzieren, empfiehlt sich somit erstens die Verwendung vom Grundwasserflurabstand um die Höhenzonierung bis HW_5 abzubilden und zweitens die Verwendung der Grundwasserschwankung um die dynamische Aue zu charakterisieren.

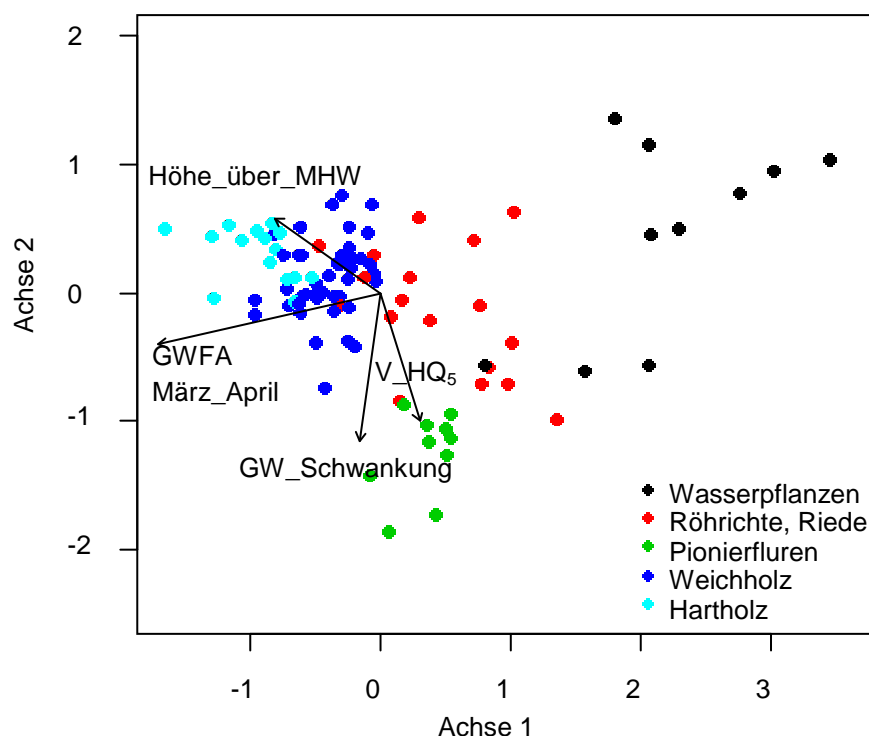


Abb. 4-7: Ordinationsdiagramm (NMDS) für die Vegetation des Vorlandes. Die Punkte entsprechen Vegetationsaufnahmen, die je nach Ähnlichkeit in der Artenzusammensetzung nah oder entfernt voneinander angeordnet sind, wodurch Gradienten abgebildet werden. Aufnahmen des gleichen Vegetationstyps sind farbig markiert. Achse 1 beschreibt hier einen Gradienten von Wasserpflanzen über Pionierfluren und Röhrichte zu Weichholz- und am Ende Hartholzaue. Achse 2 trennt die Pionierfluren von allen anderen Vegetationstypen. Die Korrelationen zwischen ausgewählten Standortparametern und der Ordination sind mit Vektoren dargestellt. Je länger und je näher an einer Achse der Vektor verläuft, desto höher ist die Korrelation. Dabei wird die erste Achse gut durch den Grundwasserflurabstand bei MW(März/April) (GWFA März_April) und teilweise noch durch die Höhe über MHW charakterisiert. Achse 2 lässt sich durch Unterschiede in den Fließgeschwindigkeiten bei HQ₅ (V_HQ₅) und der Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW erklären (GW_Schwankung). Ergebnisse beruhen auf einer Bray-Curtis-Distanzmatrix berechnet aus Präsenz/Absenz-Daten der Artenvorkommen. Lösung für 4 Dimensionen nach 377 Durchläufen mit einem Stress von 0.11. Eine Achseneinheit stellt 50 % Unterschiede in der Artenzusammensetzung dar, der längste Gradient wird von Achse 1 abgebildet.

Tab. 4-6: Korrelationen zwischen Standortparametern des Vorlandes und Ordinationsachsen mit Spearman-Rangkorrelations-Koeffizienten „rho“. In Fett starke Korrelationen, in Normaldruck mittlere Korrelation und in Grau schwache Korrelationen.

Standortparameter	Achse 1	Achse 2	Standortparameter	Achse 1	Achse 2
GW-Flurabstand MW	-0.69	0.20	Wasserspiegellage Grenze Weichholzaue	-0.67	0.19
GW-Flurabstand MW(März/April)	-0.68	0.18	Fließgeschwindigkeit bei HQ ₅	0.07	-0.22
GW-Flurabstand MNW Sommer 03	-0.68	0.04	Schwankungsbreite MHW-MW	-0.09	-0.22
GW-Flurabstand MNW	-0.63	0.08	GW-Schwankung MW(März/April)-MNW	0.11	-0.34
Wasserspiegellage HNN	-0.65	0.24	Carbonatgehalt	0.25	0.06
Wasserspiegellage HQ ₅	-0.64	0.26	Humusgehalt	0.12	-0.07
Wasserspiegellage MHQ	-0.65	0.26	Tongehalt	0.20	-0.11
Wasserspiegellage MQ(März/April)	-0.67	0.21	Deckschichtmächtigkeit	-0.24	0.07
Wasserspiegellage MQ	-0.67	0.19	Höhe MW in Deckschicht	0.26	-0.03
Wasserspiegellage MNQ	-0.65	0.10	Höhe MNW in Deckschicht	0.23	0.08
Wasserspiegellage Grenze Hartholzaue	-0.67	0.24	Äquivalentleitfähigkeit	0.13	-0.34
Wasserspiegellage Grenze Schlammlingsflur	-0.65	0.11			

Klassifikationsbäume

Der auf den Vegetationsaufnahmen basierende Klassifikationsbaum gibt Hinweise auf Grenzen zwischen den Vegetationstypen, kann aber aufgrund der geringen Stichprobe nur unter Auswertung aller anderen Analysen in eine Regeltabelle umgesetzt werden (Abb. 4-8). Im Baum tritt wiederum der Grundwasserflurabstand bei MW bzw. bei MW(März/April) in den Vordergrund.

So ergibt sich die Höhenzonierung: Wasserpflanzen und Pionierfluren je nach Grundwasserschwankung, darüber Röhrichte und Riede und danach Weichholzaue unter Hartholzaue, wobei bei geringer Grundwasserdynamik auch hier Röhrichte und Riede auftreten können. Allerdings wird die Untergrenze der Weichholzaue und die Trennung zur Hartholzaue nicht plausibel dargestellt. Ebenso können die unteren Grenzen der Wasserpflanzen und Pionierfluren nicht abgelesen werden. Besonders im Bereich des Mittelwassers zeigt der Baum Ergebnisse, die nur bedingt mit der Situation im Gelände übereinstimmen.

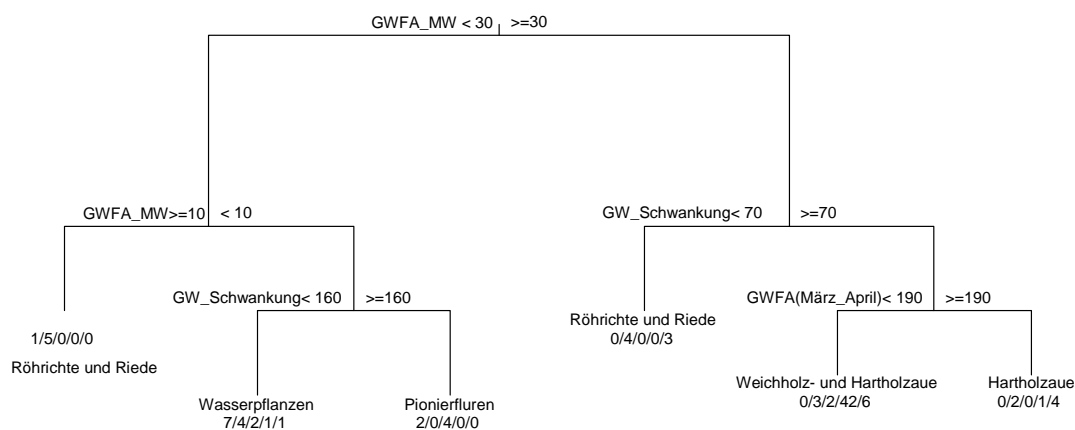


Abb. 4-8: Klassifikationsbaum zur Differenzierung der Vegetationstypen im Vorland, basierend auf Vegetationsaufnahmen. Die Standortparameter sind der Grundwasserflurabstand bei MW (GWFA_MW) bzw. bei MW(März/April) und die Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW (GW_Schwankung). Alle Angaben in cm gerundet. Der Datensatz wird schrittweise durch einzelne Knoten so aufgespalten, dass am Ende einer Verästelung Kombinationen aus Standortmerkmalen stehen, denen im Datensatz jeweils ein bestimmter Vegetationstyp zugeordnet werden kann. Diese Zuordnung inklusive Fehlzuweisungen findet sich unterhalb des Vegetationstyps und ordnet die Anzahl der Aufnahmen wie folgt zu: Wasserpflanzen/ Röhrichte&Riede/ Pionierfluren/ Weichholzaue/ Hartholzaue.

Lesebeispiel: Pionierfluren wachsen bis 10 cm über Mittelwasser bei Grundwasserschwankungen größer 1,6 m. Neben den vier Aufnahmen der Pionierfluren kommen in dieser Standortkombination auch zwei Aufnahmen von Wasserpflanzengesellschaften vor.

Abgeleitete Regeltabelle

Für die Entwicklung der Regeltabelle wurden fünf Parameter ausgewählt und jeweils ein bis zwei Grenzwerte festgelegt, an denen mit einer Änderung des Vegetationstyps zu rechnen ist.

Tab. 4-7: Regeltabelle zur Darstellung der potenziell natürlichen Vegetation des Vorlandes basierend auf der Auswertung aller vorhergehender Analysen und stichprobenhafter Überprüfung im Gelände.

Standortparameter	Fließgeschwindigkeit bei MQ [m/s]	Grundwasser-Schwankung MW(März/April) zu MNW [cm]	Grundwasserflurabstand ,MW(März/April) [cm]	Grundwasserflurabstand MW [cm]	Grundwasserflurabstand MNW [cm]
<i>Vegetationstyp</i>					
Wasserpflanzen	< 0.3				≥ -200 & < 0
Pionierfluren				< -20	≥ 0
Untere Weichholzaue		≥ 80	< 10	≥ -20	
Röhrichte, Riede und Sumpfgebüsche		< 80	< 10	≥ -20	
Obere Weichholzaue		≥ 80	≥ 10 & < 70		
Weichholzaue dauerfeucht		< 80	≥ 10 & < 70		
Hartholzaue			≥ 70		

Überflutungshöhe bei HQ₅

> 0 m Alle Flächen unterliegen der Hochwasserdynamik und werden überflutet.

Fließgeschwindigkeit bei MQ

0,3 m/s Grenze für das Wachstum von Wasserpflanzen (siehe Abb. 4-4).

Grundwasserflurabstand bei MNW

-2 m Entspricht 2 m Wasserstand. Untergrenze für Wasserpflanzen (siehe Abb. 4-1).

0 m Entspricht Obergrenze für reine Wasserpflanzenvegetation und Untergrenze der Pionierfluren (siehe Abb. 4-1)

Grundwasserflurabstand bei MW

-0,2 m Bildet Obergrenze Pionierfluren und Untergrenze für Weichholzaue bzw. Röhrichte, Riede und Sumpfgebüsche (siehe Abb. 4-1, und *Iris pseudacorus* sowie *Phragmites australis* in Anlage 1.1)

Grundwasserflurabstand MW(März/April)

0,1 m Bildet Obergrenze für untere Weichholzaue sowie Röhrichte, Riede und Sumpfgebüsche (siehe Abb. 4-1, und *Lythrum salicaria* in Anlage 1.1) sowie Untergrenze der oberen und dauerfeuchten Weichholzaue (z.B. *Symphytum officinalis*).

0,7 m Bildet Obergrenze der Weichholzaunen und Untergrenze der Hartholzaue (z.B. *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur* und *Euonymus europaeus* in Anlage 1.1)

Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW

0,8 m Trennt obere und untere Weichholzaue von der dauerfeuchten Weichholzaue bzw. den Röhrichten, Rieden und Sumpfgebüschen.

4.2.2 Naturnahe Vegetation im Hinterland

Für die Modellierung der ökologischen Nischen wurden 33 Pflanzenarten ausgewählt (siehe Anlage 1.2). Aus der Kartierung Pflanzengesellschaften wurden insgesamt 10621 Zufallspunkte extrahiert, um die Standortamplituden der Vegetationstypen darzustellen (Tab. 4-8).

Tab. 4-8: Anzahl der zufälligen Stichproben je Vegetationstyp der naturnahen Vegetation des Hinterlandes aus der Kartierung der Pflanzengesellschaften 2011.

Vegetationstyp	Anzahl Stichproben
Eichen-Hainbuchenwälder	286
Hartholzaue fossil	1136
Röhrichte Riede	3800
Sumpfwälder	1156
Wasserpflanzen	2167
Weichholzaue fossil	1976
Summe	10521

Im Hinterland stehen nur die Grundwassermodelle und Daten der bodenkundlichen Untersuchungen als Standortfaktoren zur Verfügung. Darüber hinaus decken letztere auch nur Teile des Untersuchungsgebietes ab. Die einzelnen Grundwasserspiegellagen sind miteinander und mit der Deckschichtmächtigkeit korreliert (Tab. 4-9). Auch zwischen der Deckschichtmächtigkeit und der Äquivalentleitfähigkeit sowie den damit zusammenhängenden Parametern bestehen enge Zusammenhänge.

Tab. 4-9: Korrelationsmatrix für alle betrachteten Standortparameter im Hinterland mit Spearmans-Rangkorrelationskoeffizient „rho“. In Fett starke Korrelationen, in Normaldruck mittlere Korrelation und in Grau schwache Korrelationen.

	GW-Flurabstand MW	GW-Flurabstand MW(März/April)	GW-Flurabstand MNW Sommer 03	GW-Flurabstand MNW	GW-Schwankung MW-MNW	GW-Schwankung MW(März/April)-MNW	Carbonatgehalt	Humusgehalt	Sandgehalt	Tongehalt	Deckschichtmächtigkeit	Höhe MW in Deckschicht	Höhe MNW in Deckschicht	Äquivalentleitfähigkeit
GW-Flurabstand MW	1.00													
GW-Flurabstand MW(März/April)	0.97	1.00												
GW-Flurabstand MNW Sommer 03	0.73	0.61	1.00											
GW-Flurabstand MNW	0.83	0.70	0.91	1.00										
GW-Schwankung MW-MNW	-0.05	-0.23	0.48	0.45	1.00									
GW-Schwankung MW(März/April)-MNW	-0.04	-0.22	0.49	0.46	1.00	1.00								
Carbonatgehalt	-0.02	-0.05	-0.08	0.05	0.17	0.17	1.00							
Humusgehalt	0.02	0.07	-0.03	-0.08	-0.24	-0.24	-0.31	1.00						
Sandgehalt	-0.02	-0.05	0.07	0.05	0.15	0.16	0.30	-0.29	1.00					
Tongehalt	-0.01	0.00	-0.12	-0.03	-0.06	-0.06	-0.23	0.23	-0.67	1.00				
Deckschichtmächtigkeit	0.39	0.36	0.33	0.41	0.14	0.15	-0.14	-0.01	-0.09	0.06	1.00			
Höhe MW in Deckschicht	-0.14	-0.17	-0.13	-0.05	0.17	0.16	-0.10	-0.02	-0.04	0.11	0.77	1.00		
Höhe MNW in Deckschicht	-0.15	-0.11	-0.22	-0.22	-0.15	-0.16	-0.08	0.01	-0.08	0.15	0.73	0.91	1.00	
Äquivalentleitfähigkeit	-0.05	-0.02	-0.12	-0.09	-0.18	-0.17	0.09	0.06	0.03	-0.05	-0.50	-0.54	-0.53	1.00

Grundwasserflurabstand und Dynamik

Für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens fast aller untersuchten Pflanzenarten ist wie im Vorland der Grundwasserflurabstand bei MW oder bei MW(März/April) bestimmend (siehe Anlage 1.2). Allerdings zeigt nur etwa die Hälfte der Arten eine Reaktion auf den Grundwasserflurabstand bei MNW. Die Vegetationstypen werden ebenfalls durch die Grundwasserflurabstände MW und MW(März/April) gut differenziert (Abb. 4-9). Auf die Wasserpflanzengesellschaften folgen in etwa gleichauf die Röhrichte und Riede, Sumpfwälder und die fossilen Weichholzaunen. Danach schließen sich die fossile Hartholzaue und die Eichen-Hainbuchenwälder an.

Die Grundwasserschwankungen im Hinterland differenzieren die Vegetationstypen nicht so klar wie im Vorland (Abb. 4-10), wobei allerdings ca. 75% aller Standorte weniger als 1 m Schwankungen zwischen MW und MNW aufweisen und stark wechselfeuchte Bereiche selten sind. Eine klarere Reaktion zeigen *Alnus glutinosa* und *Acer pseudoplatanus*, welche über 50 bzw. 120 cm Schwankungshöhe zwischen MW(März/April) und MNW nur noch sporadisch auftreten (Anlage 1.2).

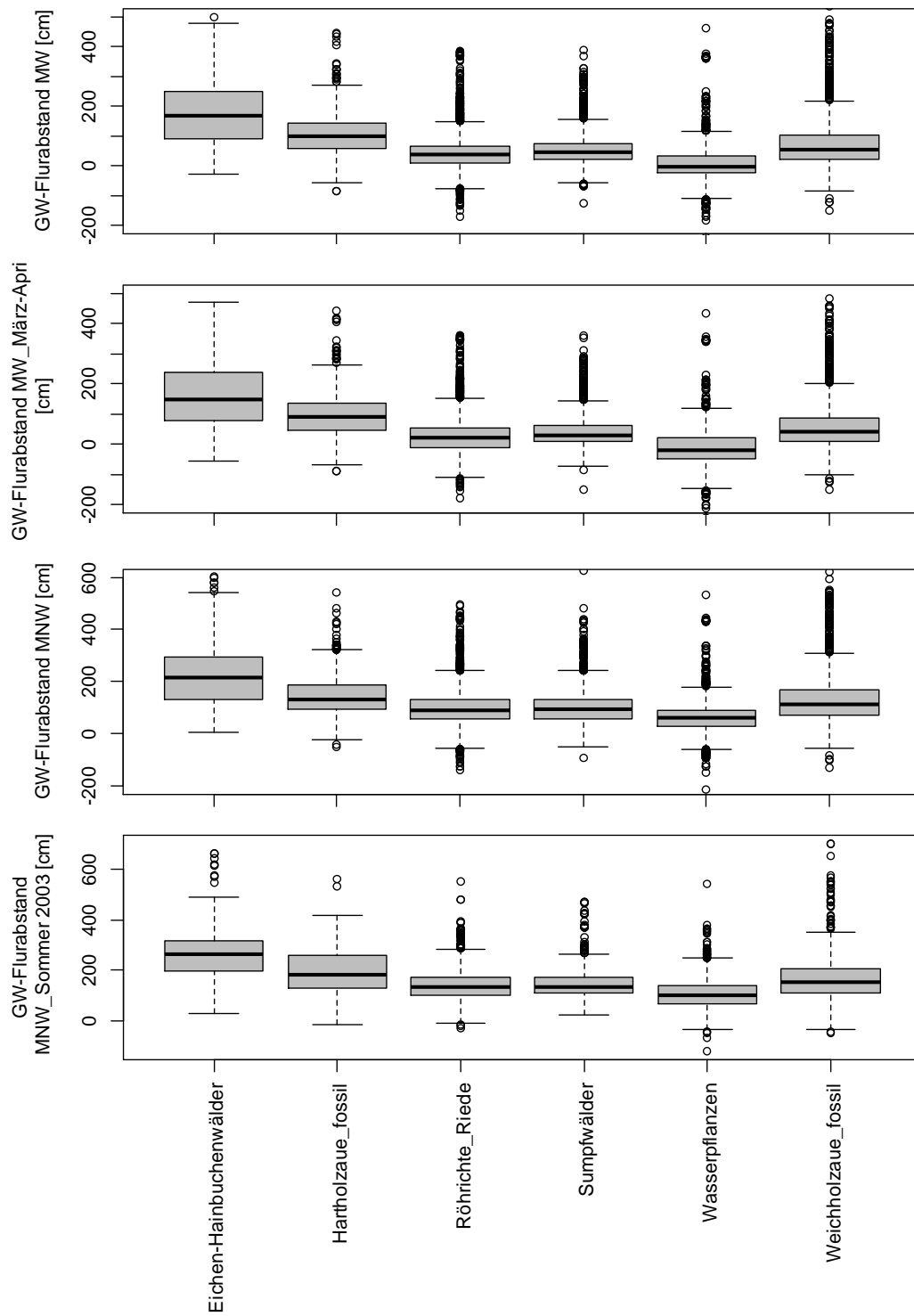


Abb. 4-9: Verteilung der Vegetationstypen des Hinterlandes relativ zu verschiedenen Grundwasserflurabständen. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-8 zu entnehmen.

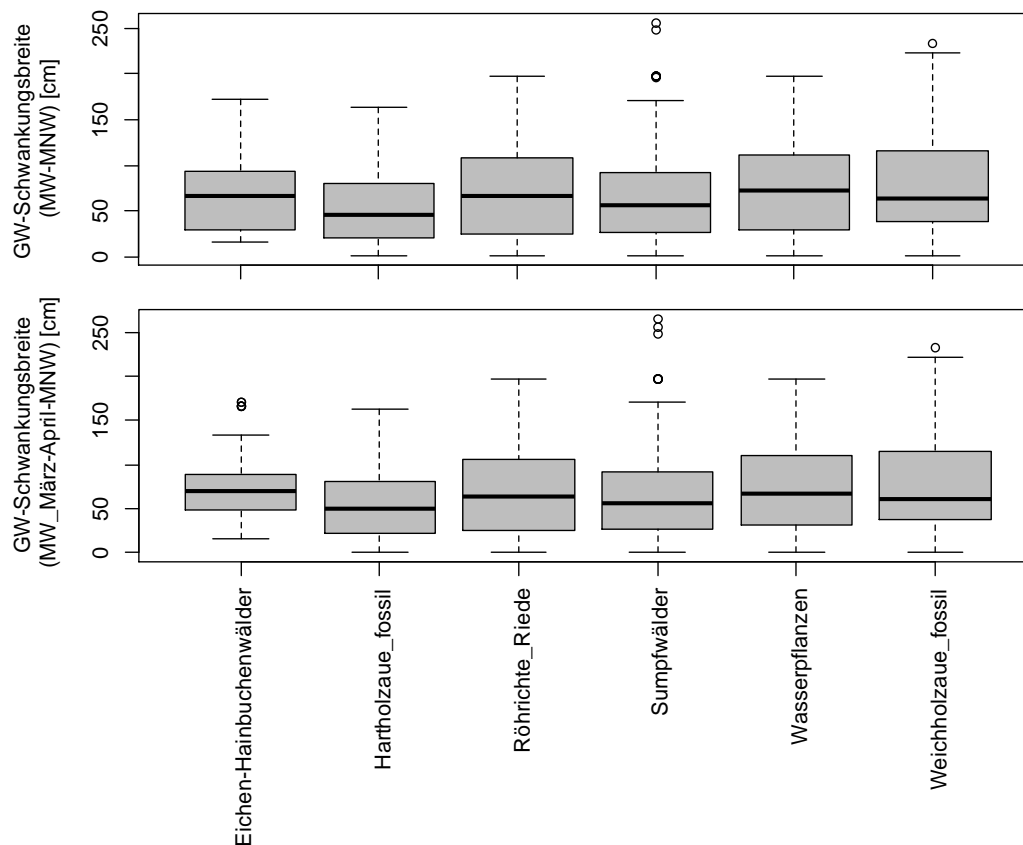


Abb. 4-10: Verteilung der Vegetationstypen des Hinterlandes relativ zu Schwankungsbreiten der Grundwasserspiegel. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-8 zu entnehmen.

Boden

Die Standorte der Sumpfwälder und von *Alnus glutinosa* zeigen im Mittel einen Tongehalt über 20 %, wohingegen alle Standorte der anderen Vegetationstypen geringere Werte aufweisen. Die fossile Hartholzaue steht im Mittel auf Standorten mit den geringsten Tongehalten (siehe Abb. 4-11).

Beim Carbonatgehalt beschränken sich fast alle Vegetationstypen auf die Spanne zwischen 0 und 17 %. Nur die Standorte der fossilen Auwälder können mit 30 % sehr carbonatreich sein. Andererseits kommen die Sumpfwälder im Mittel auf Standorten mit nur ca. 7 % Carbonatgehalt vor. Wenige der untersuchten Pflanzenarten reagieren auf Unterschiede im Carbonatgehalt. So kommen *Paris quadrifolia*, *Acer pseudoplatanus* und *Cornus sanguinea* auf den beprobten Flächen erst ab einem Gehalt von 5 % vor (siehe Anlage 2.1).

Der Humusgehalt der Standorte unterscheidet sich kaum zwischen den Vegetationstypen. Lediglich die Sumpfwälder und die Eichen-Hainbuchenwälder kommen im Mittel auf etwas humusreicheren Standorten vor. Dies zeigen auch die ökologischen Nischen von *Quercus robur*, *Prunus padus* und *Fraxinus excelsior* (siehe Anlage 1.2).

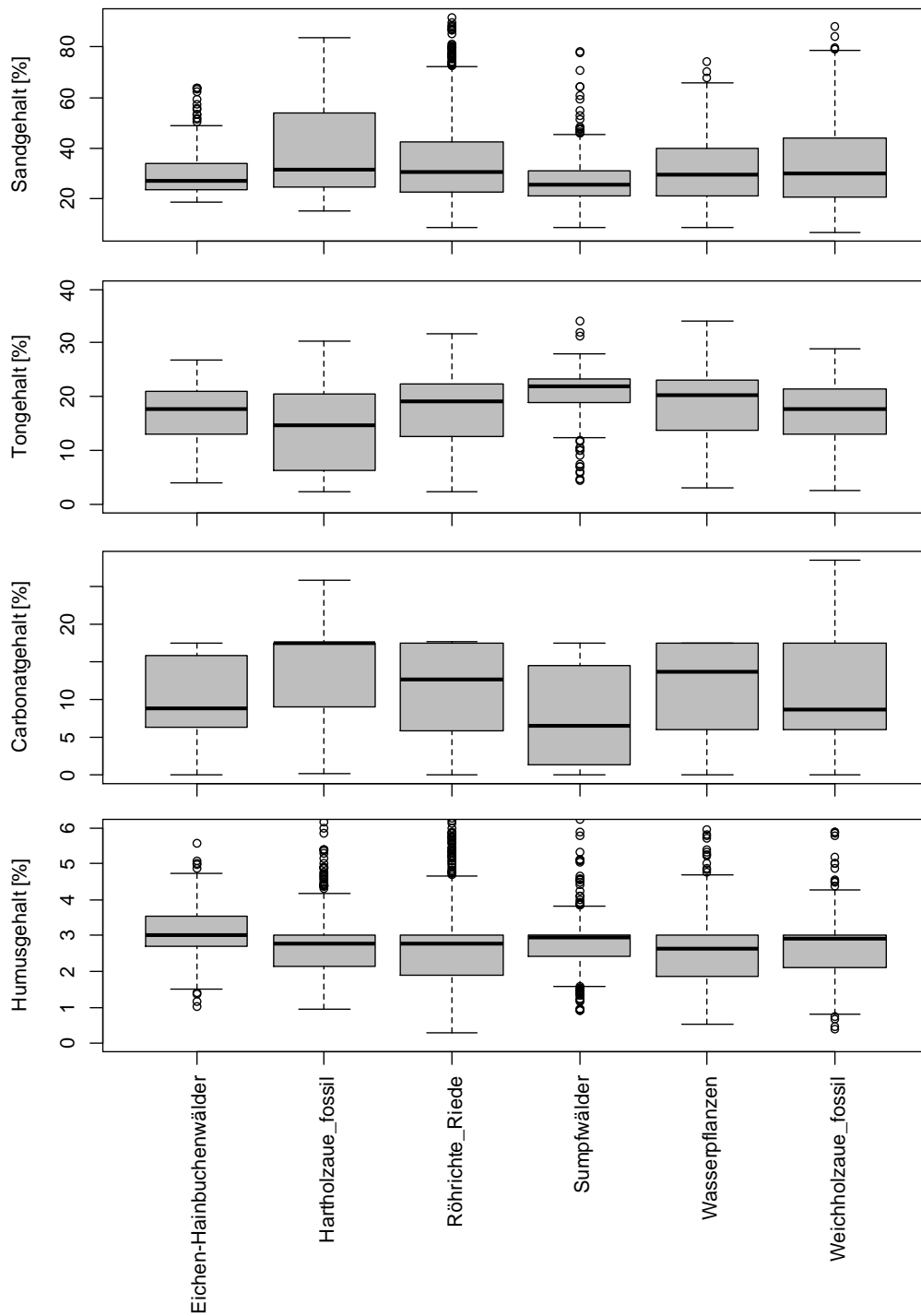


Abb. 4-11: Verteilung der Vegetationstypen des Hinterlandes relativ zu Sand-, Ton-, Carbonat- und Humusgehalt in den obersten 30 cm des Bodens. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-8 zu entnehmen.

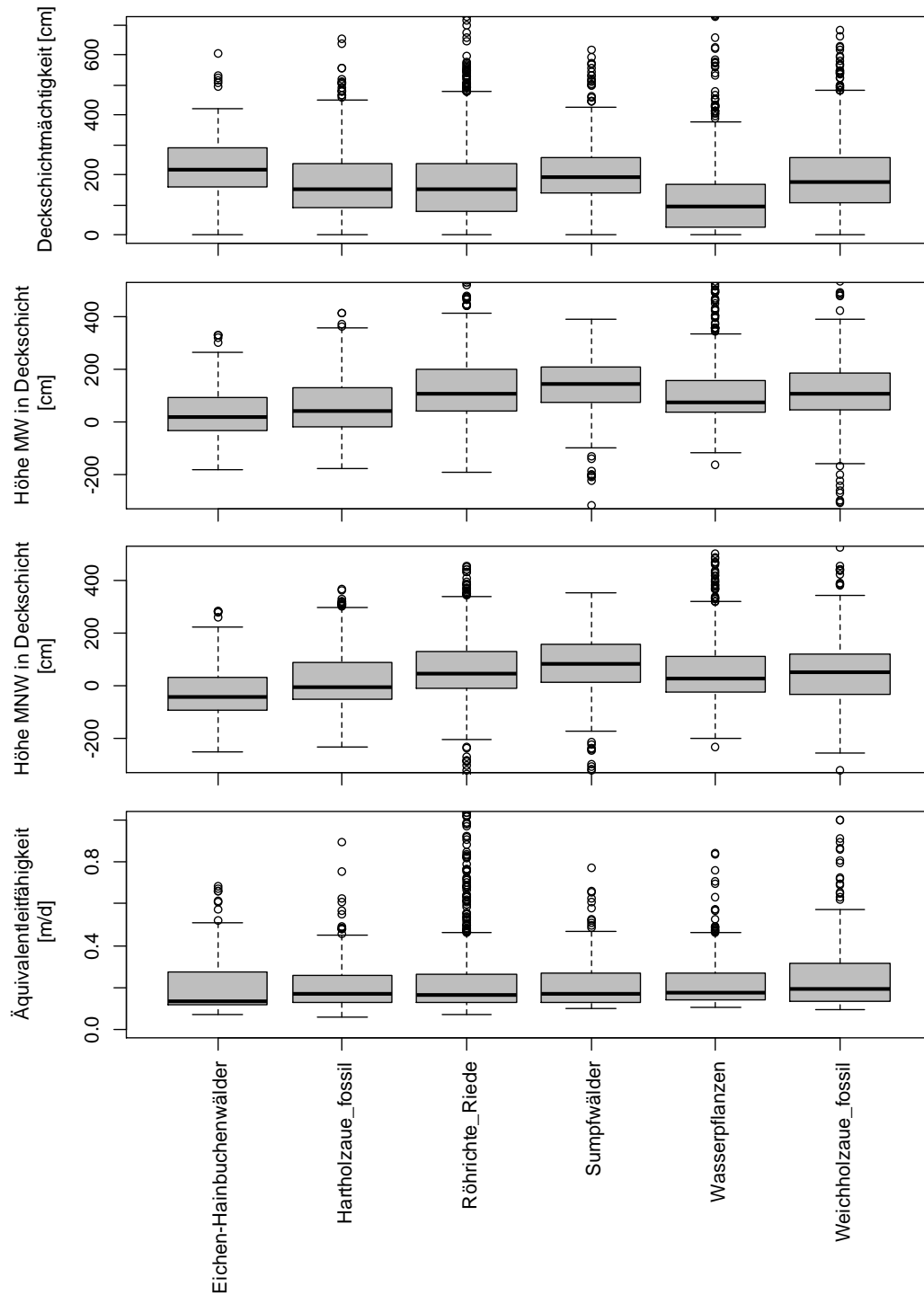


Abb. 4-12: Verteilung der Vegetationstypen des Hinterlandes relativ zu Parametern des Bodenwasserhaushalts. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-8 zu entnehmen.

Die Auelehmdeckschicht ist unter den Eichen-Hainbuchenwäldern mit im Mittel 2 m am mächtigsten. In den von Wasserpflanzen besiedelten Senken ist sie wie zu erwarten am geringsten, da sie auch das Relief widerspiegelt (Abb. 4-12). Für viele Pflanzenarten können Zusammenhänge zwischen Deckschichtmächtigkeit und Vorkommen gefunden werden (Anlage 1.2). So kommen die Arten der Eichen-Hainbuchenwälder wie *Acer campestre*, *Tilia cordata* und der Ahorn-Eschenwälder wie *Aegopodium podagraria* und *Fraxinus excelsior* erst auf mehr als 0,5 m mächtigen Auelehmdeckschichten vor.

Auf einem Großteil der Standorte im Hinterland steht das Grundwasser bei MW und MNW mit der Auelehmdeckschicht in Verbindung. Nur über die Hälfte der Eichen-Hainbuchenwälder steht auf Standorten ohne Grundwasseranbindung.

Die Äquivalentleitfähigkeit differenziert nicht die Vegetationstypen und hat auch keinen Einfluss auf die Vorkommenswahrscheinlichkeit der Pflanzenarten.

Gesamter Wirkungskomplex

Die Gradientenanalyse (Abb. 4-13) zeichnet entlang der 1. Achse wie im Vorland die Höhenzonierung der Vegetation nach. Dieser floristische Gradient korreliert stark mit den Grundwasserflurabständen, besonders mit dem mittleren Grundwasserflurabstand im März/April (Tab. 4-10). Einen leichten Einfluss scheinen noch die Schwankungen des Grundwassers zu haben. Die zweite Achse und die Bodenparameter können die Vegetationstypen nicht weiter differenzieren.

Während die Sumpfwälder klar zwischen Röhrichte und Eichen-Hainbuchenwälder bzw. fossile Hartholzaue eingeordnet werden, lassen sich letztere in der Ordination kaum unterscheiden.

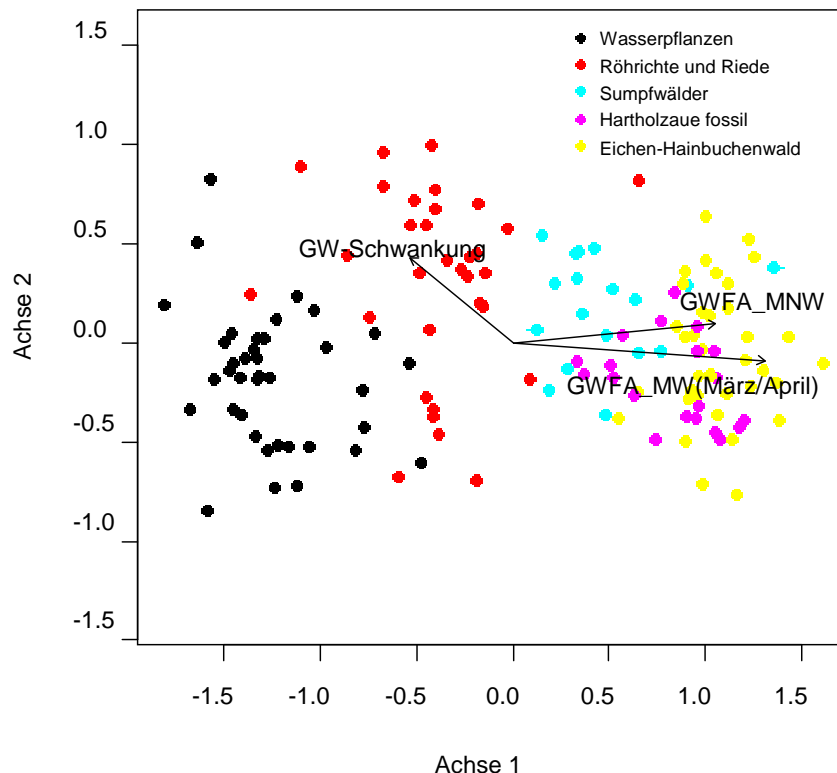


Abb. 4-13: Ordinationsdiagramm der NMDS für die Vegetation des Hinterlandes. Die Punkte entsprechen Vegetationsaufnahmen. Aufnahmen des gleichen Vegetationstyps sind farbig markiert. Achse 1 beschreibt hier einen Gradienten von Wasserpflanzen über Röhrichte und Riede, zu Sumpfwäldern und Eichen-Hainbuchenwäldern. Achse 2 trägt nicht zur Unterscheidung der Vegetationstypen bei. Die Korrelationen zwischen ausgewählten Standortparametern und der Ordination sind mit Vektoren dargestellt. Je länger und je näher an einer Achse der Vektor verläuft, desto höher ist die Korrelation. Dabei wird die erste Achse gut durch den Grundwasserflurabstand bei MW(März/April) und den Grundwasserflurabstand bei MNW charakterisiert. Ergebnisse beruhen auf einer Bray-Curtis-Distanzmatrix berechnet aus Präsenz/Absenz-Daten der Artenvorkommen. Lösung für 2 Dimensionen nach 2000 Durchläufen mit einem Stress von 0.15. Eine Achseneinheit stellt 50 % Unterschiede in der Artenzusammensetzung dar, der längste Gradient wird von Achse 1 abgebildet.

Tab. 4-10: Korrelationen zwischen Standortparametern des Hinterlandes und Ordinationsachsen mit Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten „roh“. In Fett starke Korrelationen, in Normaldruck mittlere Korrelation und in Grau schwache Korrelationen.

Standortparameter	Achse 1	Achse 2
GW-Flurabstand MW	0.60	-0.11
GW-Flurabstand MW(März/April)	0.66	-0.12
GW-Flurabstand MNW Sommer 03	0.57	-0.13
GW-Flurabstand MNW	0.47	-0.02
GW-Schwankung MW(März/April)-MNW	-0.30	0.18
Carbonatgehalt	0.03	-0.09
Humusgehalt	0.08	-0.09
Tongehalt	-0.08	-0.02
Deckschichtmächtigkeit	0.23	0.01
Höhe MW in Deckschicht	-0.19	0.12
Höhe MNW in Deckschicht	-0.16	0.05
Äquivalentleitfähigkeit	0.07	-0.03

Klassifikationsbäume

Der Grundwasserflurabstand bei MW(März/April) trennt im Klassifikationsbaum die Eichen-Hainbuchenwälder von allen anderen Gesellschaften bei ca. 50 cm, wobei eine große Unschärfe bleibt und auch Wasserpflanzengesellschaften und Röhrichte z.T. mit den Wäldern eingeordnet werden (Abb. 4-14). Deutlich ist, dass viele Wasserpflanzen im März/April in mindestens 40 cm tiefem Wasser stehen, und Sumpfwälder auf Bereiche mit geringen Grundwasserstandsschwankungen beschränkt sind.

Andererseits kann für die Ahorn-Eschenwälder und die Differenzierung zwischen Frischen und Feuchten Eichen-Hainbuchenwäldern der Klassifikationsbaum nicht verwendet werden, da die entsprechenden Gesellschaften im Ist-Zustand noch nicht ausreichend belegt sind.

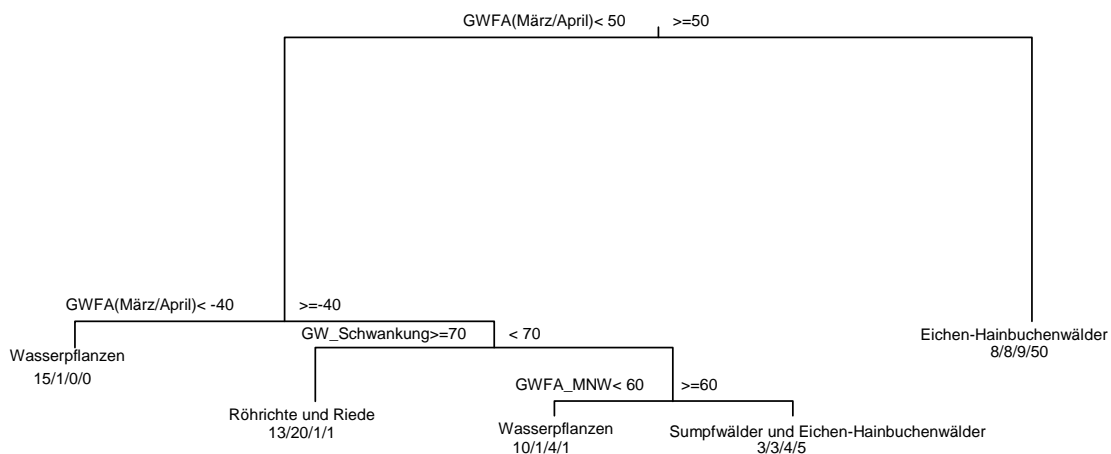


Abb. 4-14: Klassifikationsbaum zur Differenzierung der Vegetationstypen im Hinterland, basierend auf Vegetationsaufnahmen. Die Standortparameter sind der Grundwasserflurabstand bei MNW (GWFA_MNW) bzw. bei MW(März/April) und die Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW (GW_Schwankung). Alle Angaben in cm gerundet. Diese Zuordnung inklusive Fehlzuweisungen zu den einzelnen Standortgruppen findet sich unterhalb des Vegetationstyps und ordnet die Anzahl der Aufnahmen wie folgt zu: Wasserpflanzen/ Röhrichte&Riede/ Sumpfwälder/ Eichen-Hainbuchenwälder.

Abgeleitete Regeltabelle

Für die Entwicklung der Regeltabelle (Tab. 4-11) kommen nach Auswertung der Daten nur Grundwasserflurabstände und Grundwasserschwankungen infrage. Außerdem muss die potenzielle Weiterentwicklung der fossilen Hartholzauen und der Einfluss der Rückstaubereiche von Variante C_{2,80} berücksichtigt werden.

Tab. 4-11: Regeltabelle zur Darstellung der potenziell natürlichen Vegetation des Hinterlandes basierend auf der Auswertung aller vorhergehender Analysen und stichprobenhafter Überprüfung im Gelände.

Standortparameter	Grundwasser-Schwankung MW(März/April) zu MNW [cm]	Grundwasserflurabstand bei MW(März/April) [cm]	Grundwasserflurabstand bei MNW [cm]
Vegetationstyp			
Wasserpflanzen		< -40	>= -200
Röhrichte und Riede		>= -40 & < -10	
Sumpfwälder		>= -10 & < 70	
Ahorn-Eschenwälder	< 80	>= 70 & < 180	
Feuchter Eichen-Hainbuchenwald	>= 80	>= 70 & < 180	
Frischer Eichen-Hainbuchenwald		>= 180	

Überflutungshöhe bei HQ_5

< 0 m Flächen werden bei HQ_5 nicht überflutet, sondern höchstens durch Druckwasser überstaut.

Grundwasserflurabstand bei MNW

-2 m Entspricht 2 m Wasserstand. Untergrenze für Wasserpflanzen (siehe Abb. 4-9).

Grundwasserflurabstand MW(März/April)

-0,4 m Obergrenze Wasserpflanzen (z.B. *Ceratophyllum demersum*, *Lemna trisulca* in Anlage 1.2) und Untergrenze Röhrichte und Riede (z.B. *Carex acutiformis*, *Iris pseudacorus* in Anlage 1.2).

-0,1 m Obergrenze Röhrichte und Riede und Untergrenze Sumpfwälder (z.B. *Alnus glutinosa*, *Prunus padus* in Anlage 1.2).

0,7 m Obergrenze der Sumpfwälder und Untergrenze der Feuchten Eichen-Hainbuchenwälder und Ahorn-Eschenwälder parallel zur Untergrenze der Hartholzaue im Vorland (z.B. *Acer pseudoplatanus*, *Ligustrum vulgare*, *Stachys sylvatica* in Anlage 1.2).

1,8 m Obergrenze der Feuchten Eichen-Hainbuchenwälder und Ahorn-Eschenwälder. Untergrenze der Frischen Eichen-Hainbuchenwälder.

Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW

0,8 m Trennt Ahorn-Eschenwälder von Feuchten Eichen-Hainbuchenwäldern (z.B. *Acer pseudoplatanus* in Anlage 1.2).

4.2.3 Grünland

Für die Modellierung der ökologischen Nischen wurden 50 Pflanzenarten des Kulturgraslandes ausgewählt (siehe Anlage 1.3). Aus der Kartierung der Pflanzengesellschaften wurden insgesamt 13634 Zufallspunkte extrahiert (Tab. 4-12). Dabei wurde nicht zwischen wechselfeuchten und undynamischen Frischwiesen unterschieden, welche aber später in der Regeltabelle berücksichtigt werden, um einen möglichen Verlust der Auedynamik nachzuzeichnen.

Tab. 4-12. Anzahl der zufälligen Stichproben je Grünlandtyp aus der Kartierung der Pflanzengesellschaften 2011 im Untersuchungsgebiet.

Grünlandtyp	Anzahl Stichproben
Feuchtwiese dynamisch	2250
Feuchtwiese undynamisch	1257
Flutrasen	2558
Frischwiese	2813
Halbtrockenrasen	1391
Intensivgrasland	1505
Nasswiesen	1860
Summe	13634

Tab. 4-13: Korrelationsmatrix für alle betrachteten Standortparameter im Grünland mit Spearmans-Rangkorrelationskoeffizient „rho“. In Fett starke Korrelationen, in Normaldruck mittlere Korrelationen und in Grau schwache Korrelationen.

	GW-Flurabstand MW	GW-Flurabstand MW(März/April)	GW-Flurabstand MNW Sommer 03	GW-Flurabstand MNW	Wasserspiegellage HNN	Wasserspiegellage HQ5	Wasserspiegellage MHQ	Wasserspiegellage MQ(März/April)	Wasserspiegellage MQ	Wasserspiegellage MNQ	Fließgeschwindigkeit bei HQ5	Schwankungsbreite MHW-MW
GW-Flurabstand MW	1.00											
GW-Flurabstand MW(März/April)	0.99	1.00										
GW-Flurabstand MNW Sommer 03	0.96	0.93	1.00									
GW-Flurabstand MNW	0.96	0.92	0.98	1.00								
Wasserspiegellage HNN	0.92	0.93	0.94	0.88	1.00							
Wasserspiegellage HQ5	0.90	0.91	0.93	0.86	0.99	1.00						
Wasserspiegellage MHQ	0.91	0.92	0.94	0.88	1.00	1.00	1.00					
Wasserspiegellage MQ(März/April)	0.94	0.94	0.96	0.91	0.97	0.95	0.96	1.00				
Wasserspiegellage MQ	0.93	0.93	0.96	0.91	0.96	0.94	0.95	1.00	1.00			
Wasserspiegellage MNQ	0.91	0.90	0.96	0.91	0.93	0.90	0.92	0.98	0.99	1.00		
Fließgeschwindigkeit bei HQ5	0.01	-0.07	-0.09	0.13	-0.53	-0.55	-0.55	-0.48	-0.48	-0.46	1.00	
Schwankungsbreite MHW-MW	0.13	0.11	0.14	0.15	-0.02	-0.08	-0.06	0.15	0.19	0.22	0.16	1.00
GW-Schwankung MW-MNW	0.41	0.30	0.45	0.60	-0.01	-0.04	-0.01	0.02	0.05	0.13	0.54	0.14
GW-Schwankung MW(März/April)-MNW	0.42	0.31	0.45	0.61	-0.01	-0.04	-0.01	0.02	0.05	0.13	0.54	0.14
Carbonatgehalt	0.12	0.07	0.13	0.17	-0.03	-0.03	-0.05	0.00	0.00	-0.01	0.27	0.12
Humusgehalt	-0.09	-0.04	-0.07	-0.15	0.09	0.11	0.10	0.06	0.07	0.08	-0.37	-0.11
Sandgehalt	0.14	0.11	0.19	0.18	0.11	0.14	0.12	0.07	0.05	0.03	0.29	-0.20
Tongehalt	-0.12	-0.11	-0.20	-0.14	-0.13	-0.16	-0.14	-0.11	-0.10	-0.07	-0.21	0.17
Deckschichtmächtigkeit	0.63	0.63	0.64	0.63	0.61	0.59	0.60	0.64	0.64	0.65	-0.23	0.12
Höhe MW in Deckschicht	-0.20	-0.20	-0.15	-0.17	-0.08	-0.09	-0.08	-0.06	-0.06	-0.03	-0.16	0.01
Höhe MNW in Deckschicht	-0.31	-0.27	-0.21	-0.34	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.03	-0.31	-0.03
Äquivalentleitfähigkeit	-0.13	-0.12	-0.13	-0.13	-0.12	-0.10	-0.11	-0.15	-0.16	-0.18	0.18	-0.14

	GW-Schwankung MW-MNW	GW-Schwankung MW(März/April)-MNW	Carbonatgehalt	Humusgehalt	Sandgehalt	Tongehalt	Deckschichtmächtigkeit	Höhe MW in Deckschicht	Höhe MNW in Deckschicht	Äquivalentleitfähigkeit
GW-Schwankung MW-MNW	1.00									
GW-Schwankung MW(März/April)-MNW	1.00	1.00								
Carbonatgehalt	0.21	0.20	1.00							
Humusgehalt	-0.21	-0.21	-0.19	1.00						
Sandgehalt	0.18	0.18	0.21	-0.26	1.00					
Tongehalt	-0.11	-0.12	-0.19	0.24	-0.76	1.00				
Deckschichtmächtigkeit	0.25	0.25	-0.02	0.09	-0.16	0.03	1.00			
Höhe MW in Deckschicht	-0.02	-0.01	-0.08	0.13	-0.23	0.11	0.55	1.00		
Höhe MNW in Deckschicht	-0.29	-0.29	-0.12	0.18	-0.27	0.14	0.46	0.92	1.00	
Äquivalentleitfähigkeit	-0.15	-0.14	0.02	-0.12	0.22	-0.07	-0.52	-0.62	-0.63	1.00

In der Korrelationsmatrix der Standortparameter ergibt sich das gleiche Bild wie bei der Vorlandvegetation. Wasserspiegellagen und Grundwasserflurabstände hängen eng miteinander zusammen und zeigen auch noch mittlere Korrelationen zur Deckschichtmächtigkeit und Aufstiegsdauer des Grundwassers (Tab. 4-13).

Grundwasserflurabstand und Dynamik

Der Grundwasserflurabstand hat entscheidenden Einfluss auf die Vorkommenswahrscheinlichkeit fast aller untersuchter Pflanzenarten. Dabei kommen die Arten der Nasswiesen bis ca. 1 m über MW vor, und werden in diesen Bereich von den Arten der Frischwiesen abgelöst (Anlage 1.3).

Auch die Vegetationstypen zeigen eine deutliche Zonierung hinsichtlich der Grundwasserflurabstände. So folgen auf die Nasswiesen und die undynamischen Feuchtwiesen die Flutrasen und dynamischen Feuchtwiesen. Darüber liegen die Frischwiesen und nur die höchsten Bereiche werden von den Halbtrockenrasen eingenommen (Abb. 4-15).

Viele Arten der Nasswiesen wie *Carex acutiformis* und *Iris pseudacorus* kommen nur bei Grundwasserstandsschwankungen unter 1 m zwischen MW(März/April) und MNW vor. Andererseits ist bei höheren Grundwasserschwankungen auch die Vorkommenswahrscheinlichkeit von auetypischen Grünlandarten wie *Ranunculus repens*, *Festuca arundinacea* und *Rumex obtusifolius* höher (Anlage 1.3). Bei den Vegetationstypen wird eine Teilung in Nasswiesen und undynamische Feuchtwiesen auf Standorten mit geringen Grundwasserschwankungen und allen anderen Vegetationstypen mit großen Schwankungen deutlich (Abb. 4-16).

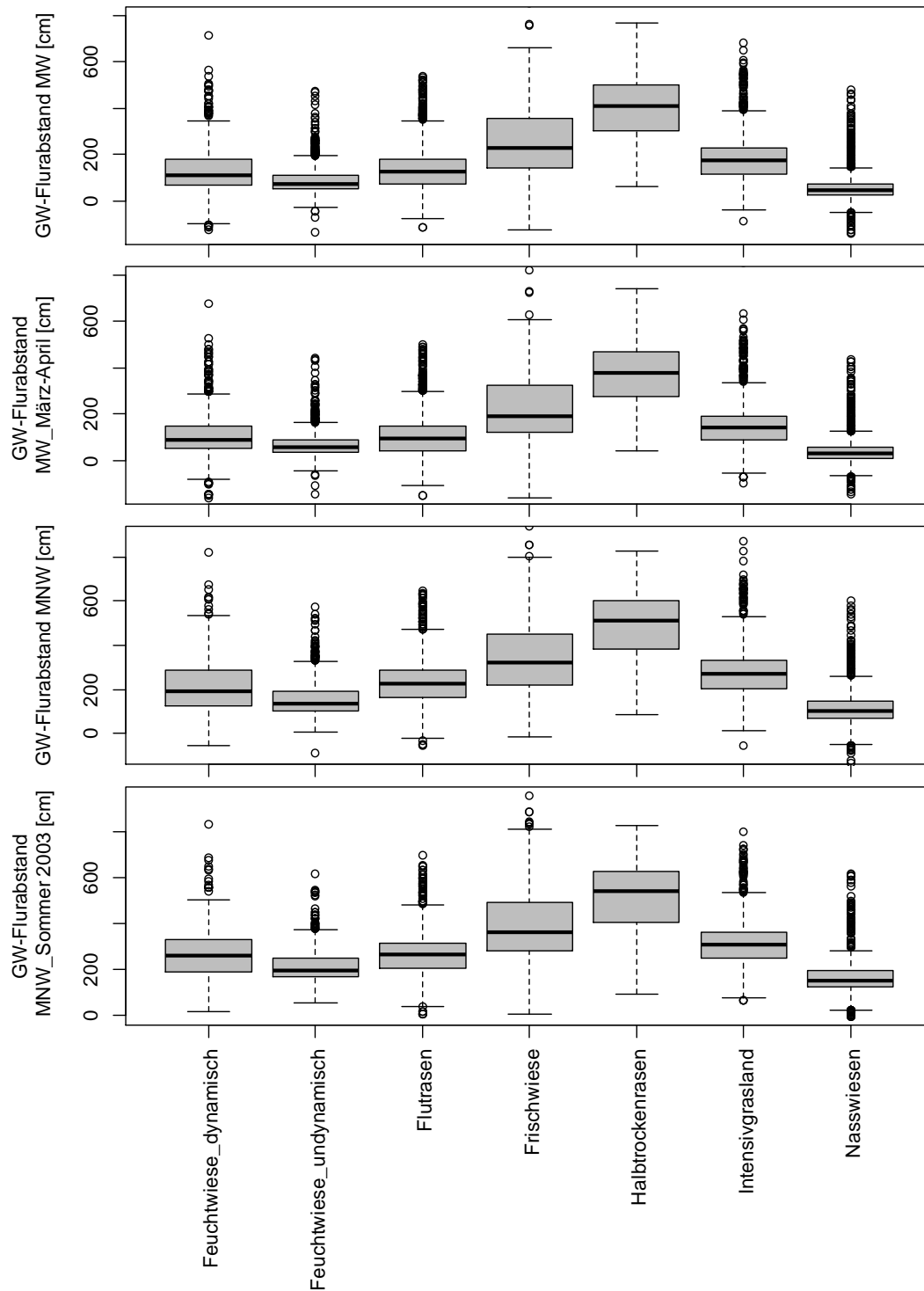


Abb. 4-15: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zu verschiedenen Grundwasserflurabständen. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-12 zu entnehmen.

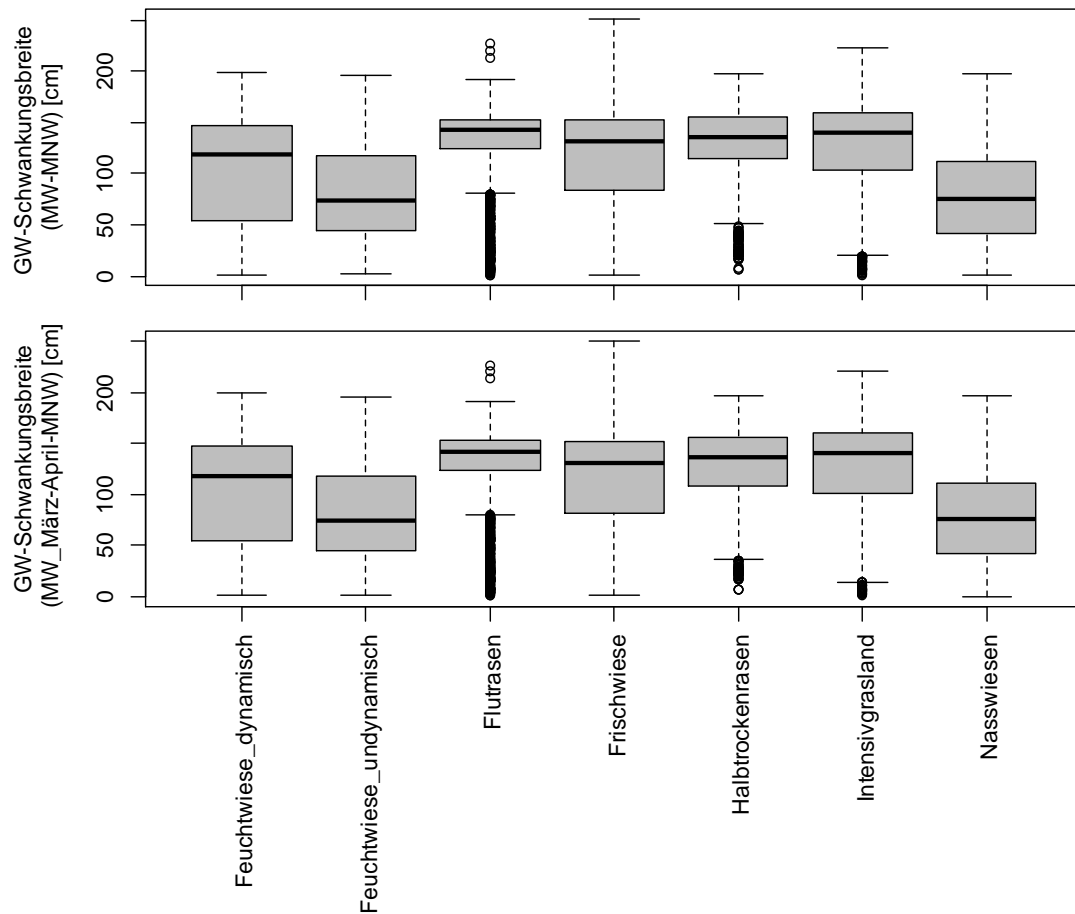


Abb. 4-16: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zu Schwankungen der Grundwasserspiegel. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-12 zu entnehmen.

Wasserspiegel und Dynamik

Die Höhe der Überschwemmung ist nur für eher trockenheitsliebende Arten wie *Achillea millefolium* und *Dactylis glomerata* limitierend. Diese vertragen Überflutungshöhen bis 1,5 m bei MHW (Anlage 1.3). In der Höhenzonierung heben sich nur die Frischwiesen und Halbtrockenrasen von allen tiefer gelegenen Vegetationstypen ab (Abb. 4-17).

Die Schwankungsbreite der Überflutungshöhe zwischen MHW und MW hingegen scheint weder für einzelne Pflanzenarten noch für die Differenzierung der Vegetationstypen auf den untersuchten Flächen von Bedeutung zu sein.

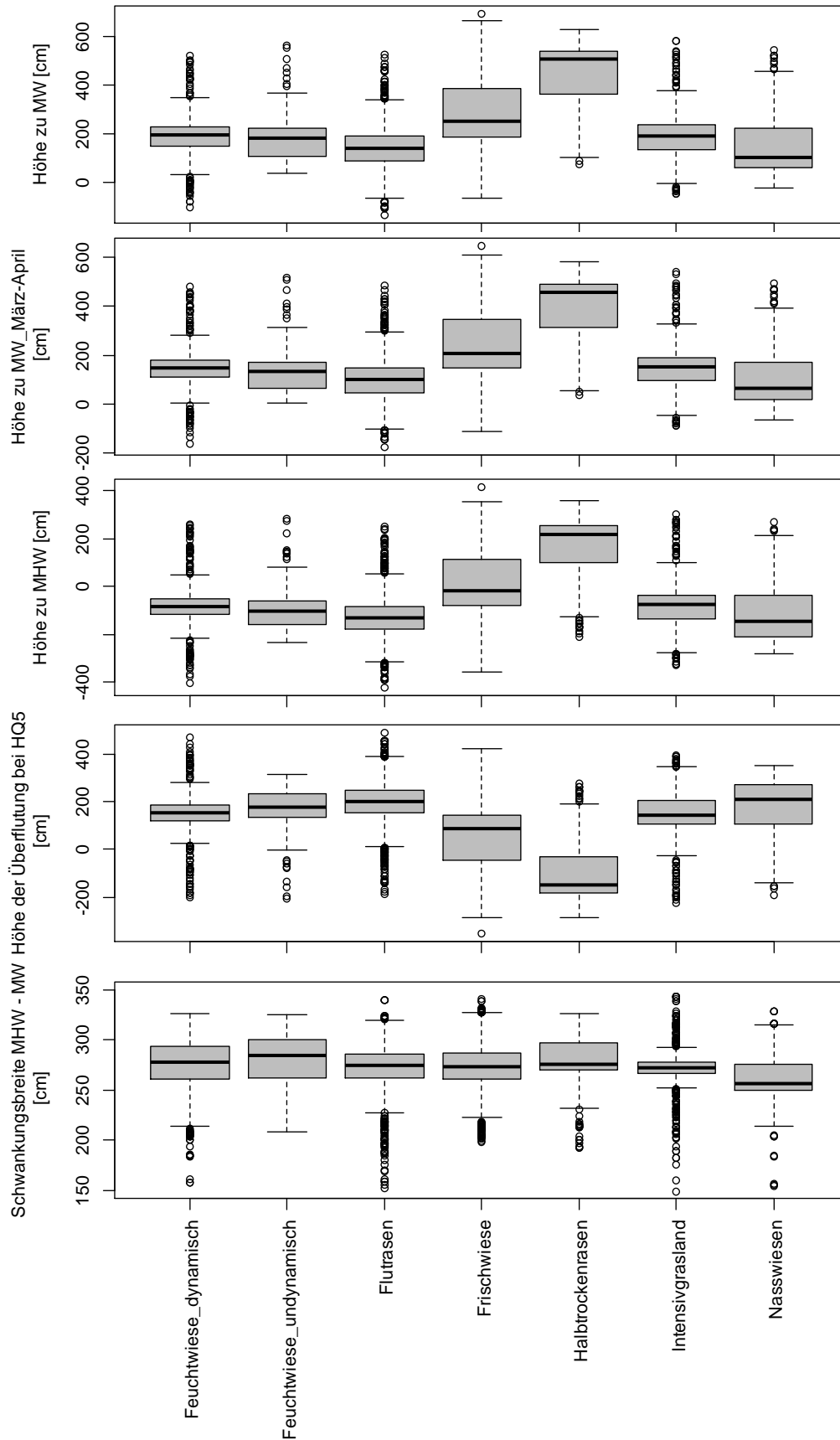


Abb. 4-17: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zu Wasserspiegellagen und der Schwankungsbreite des Hochwassers. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-12 zu entnehmen.

Fließgeschwindigkeit bei HQ₅

Das Grünland zwischen Donau und Deich wird bei einem 5-jährlichen Hochwasser überflutet. Daran sind die typischen Auenarten (u.a. *Alopecurus pratensis*, *Rumex obtusifolius*) angepasst und können so auch Fließgeschwindigkeiten bis 0,8 m/s standhalten (siehe Anlage 1.3). Andere Arten zeigen gar keine Reaktion gegenüber der Fließgeschwindigkeit oder sind im untersuchten Gebiet nicht von strömendem Hochwasser betroffen.

Von den Vegetationstypen sind der Flutrasen und die wechselfeuchten Feuchtwiesen besonders häufig auf stark überströmten Standorten anzutreffen. Alle anderen Gesellschaften wachsen in wenig bis nicht überschwemmten Bereichen (Abb. 4-18).

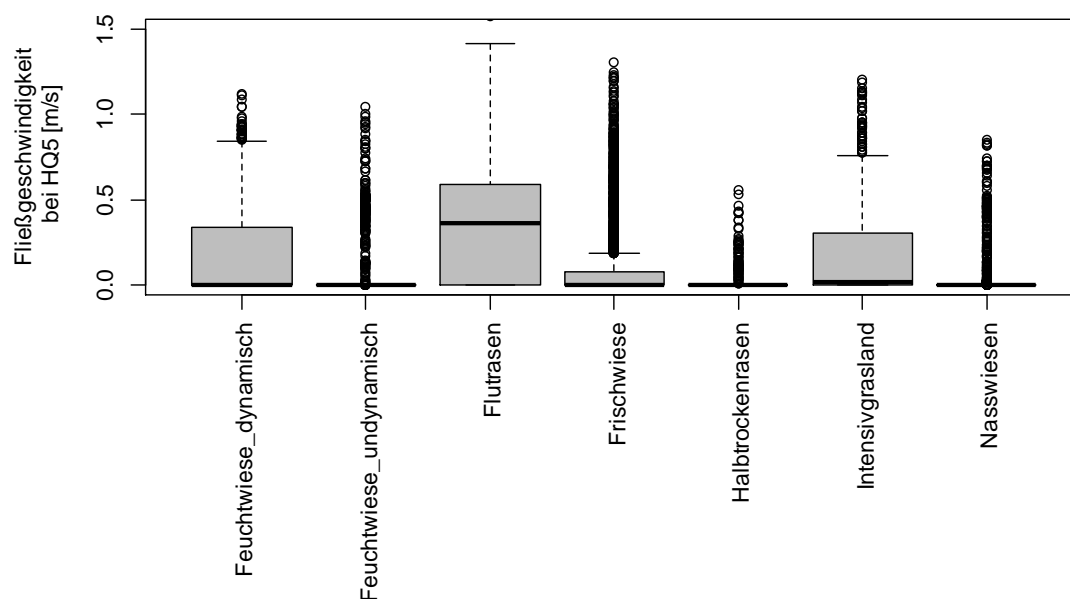


Abb. 4-18: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zur Fließgeschwindigkeit bei einem 5-jährlichen Hochwasser. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-12 zu entnehmen.

Boden

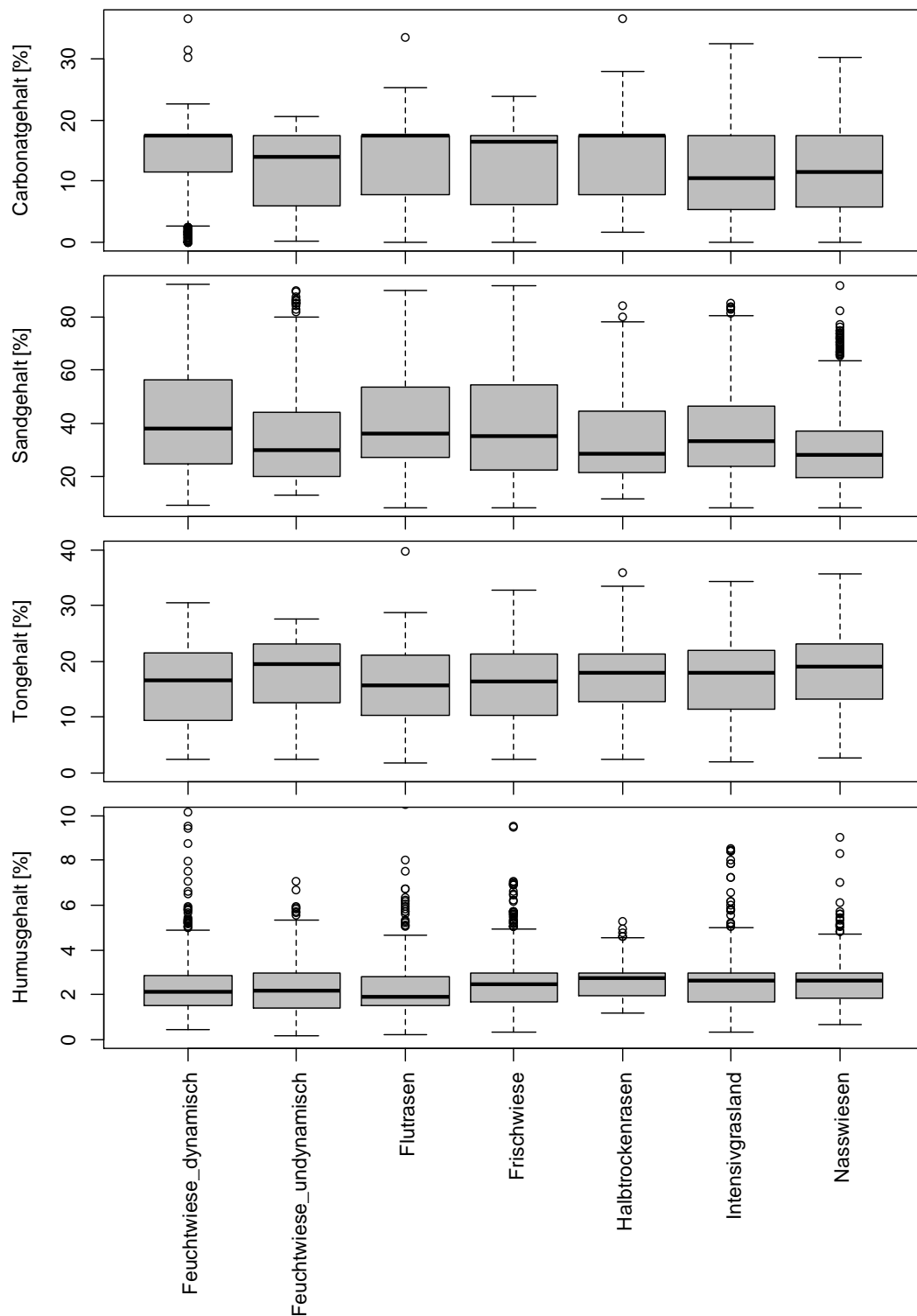


Abb. 4-19: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zu Carbonat-, Sand-, Ton- und Humusgehalt in den obersten 30cm des Bodens. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-12 zu entnehmen.

Beim Carbonatgehalt unterscheiden sich die Spannweiten der einzelnen Vegetationstypen nicht. Lediglich die Nasswiesen wachsen im Mittel auf carbonatärmeren Standorten. Auch die Pflanzenarten zeigen in ihrer Reaktion ein indifferentes Bild (siehe Anlage 1.3).

Gleiches gilt für den Ton- und Sandgehalt. Allerdings kommen einige Feuchtwiesenarten wie *Deschampsia cespitosa*, *Carex disticha* und *Valeriana officinalis* erst ab Tongehalten um 10 % im Boden vor. Diese Arten wachsen gleichzeitig auch auf den humusreichsten Standorten (Anlage 1.3). Ansonsten werden die Vegetationstypen nicht weiter durch den Humusgehalt differenziert (Abb. 4-19).

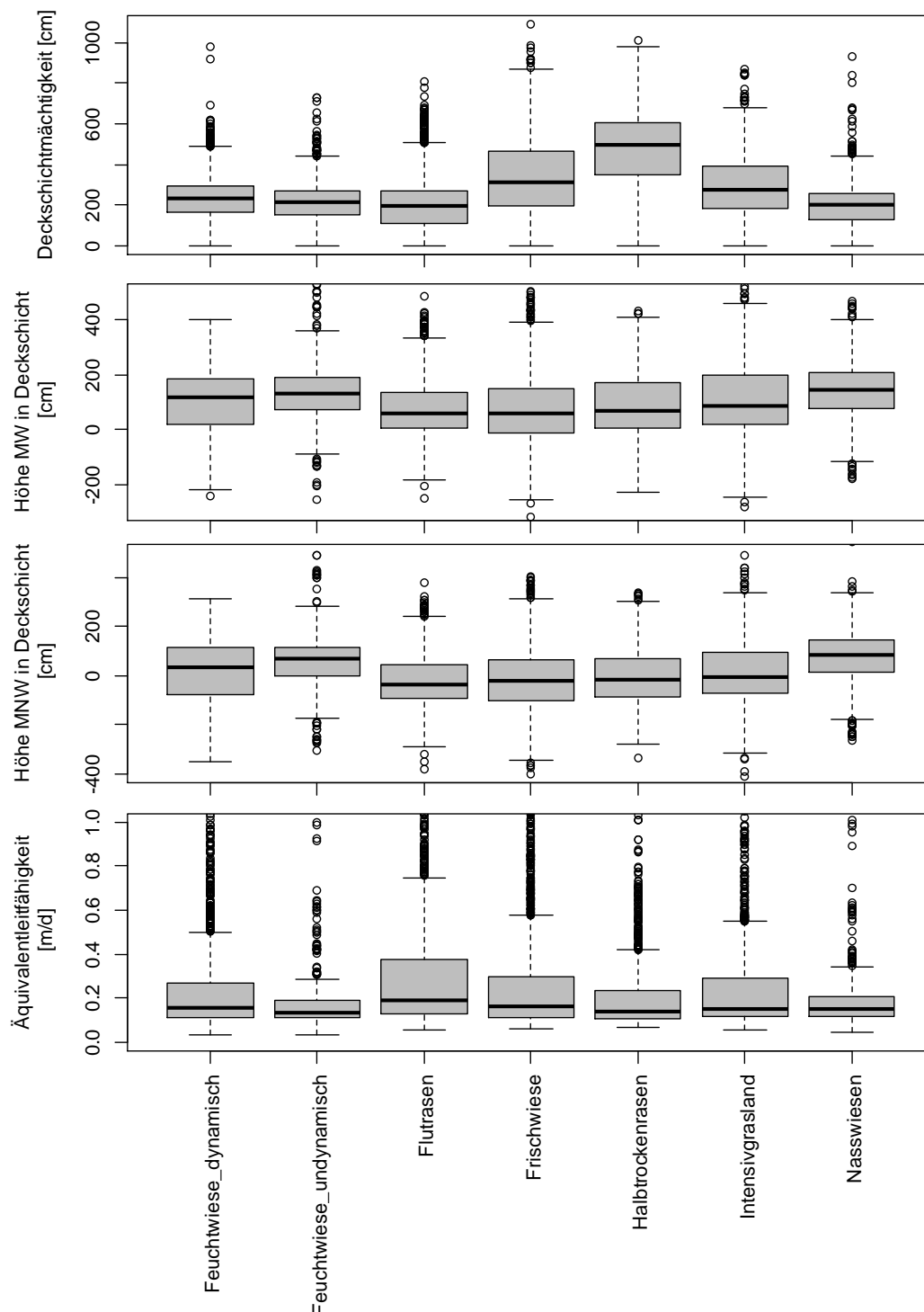


Abb. 4-20: Verteilung der Vegetationstypen des Grünlandes relativ zu Parametern des Bodenwasserhaushalts. Die Anzahl der Stichproben ist Tab. 4-12 zu entnehmen.

Die Deckschichtmächtigkeit spiegelt in weiten Bereichen die Geländehöhe wider. So kommen die Frischwiesen und Halbtrockenrasen eher auf einer mächtigen Auelehmdedecke vor (Abb. 4-20).

Bei Mittelwasser hat auf einem Großteil der Standorte die Deckschicht Grundwasseranschluss. Die Arten der Nasswiesen kommen nur auf solchen Standorten vor (Anlage 1.3). Kaum Unterschiede zwischen den Vegetationstypen zeigen sich hingegen bei der Äquivalentleitfähigkeit.

Gesamter Wirkungskomplex

Die Ordination macht zwei deutliche floristische Gradienten im Grünland sichtbar (Abb. 4-21). Der erste geht von Nasswiesen und Flutrasen über Feucht- und Frischwiesen zu den Halbtrockenrasen. Diese Höhenzonierung wird am besten durch den Grundwasserflurabstand bei MW(März/April) abgebildet (Tab. 4-14).

Der zweite Gradient trennt die Nasswiesen von den Flutrasen und Feuchtwiesen und zeichnet die Auendynamik nach. Diese wird durch die Höhe der Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW, sowie die Fließgeschwindigkeit bei HQ₅ dargestellt. Es fällt auf, dass im zentralen Bereich der Ordination starke Überlappungen zwischen den Flutrasen und Feuchtwiesen liegen, diese sich also floristisch nur sehr gering unterscheiden.

Tab. 4-14: Korrelationen zwischen Standortparametern des Grünlandes und Ordinationsachsen mit Spearman-Rangkorrelationskoeffizient „rho“. In Fett starke Korrelationen, in Normaldruck mittlere Korrelationen und in Grau schwache Korrelationen.

Standortparameter	Achse 1	Achse 2
GW-Flurabstand MW	-0.65	-0.21
GW-Flurabstand MW(März/April)	-0.67	-0.17
GW-Flurabstand MNW Sommer 03	-0.64	-0.41
GW-Flurabstand MNW	-0.57	-0.26
Wasserspiegellage HQ5	-0.51	-0.05
Wasserspiegellage MHQ	-0.52	-0.07
Fließgeschwindigkeit bei HQ5	-0.05	-0.40
Schwankungsbreite MHW-MW	0.13	0.08
GW-Schwankung MW(März/April)-MNW	-0.16	-0.30
Carbonatgehalt	-0.14	-0.17
Humusgehalt	0.12	0.31
Tongehalt	0.20	0.30
Deckschichtmächtigkeit	-0.13	0.08
Höhe MW in Deckschicht	0.29	0.21
Höhe MNW in Deckschicht	0.31	0.29
Äquivalentleitfähigkeit	0.02	-0.15

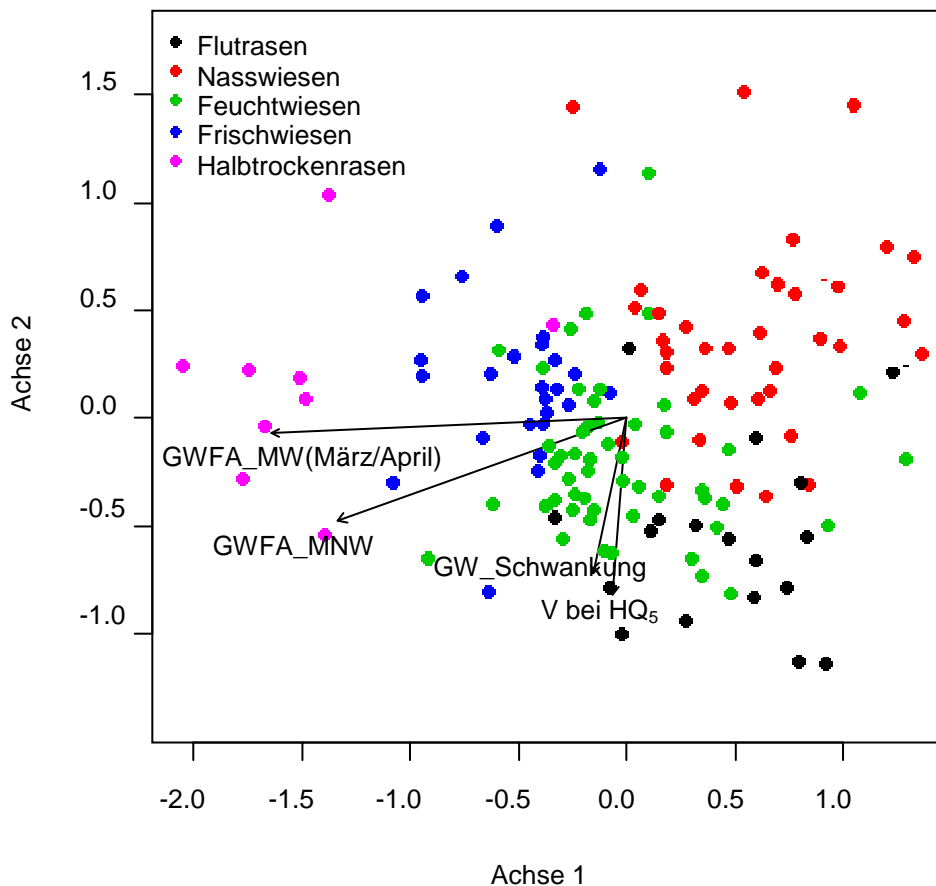


Abb. 4-21: Ordinationsdiagramm der NMDS für die Vegetation des Grünlandes. Die Punkte entsprechen Vegetationsaufnahmen, Aufnahmen des gleichen Vegetationstyps sind farblich markiert. Achse 1 beschreibt hier einen Feuchtigkeitsgradienten. Achse 2 unterscheidet die Nasswiesen von den Flutrasen und Feuchtwiesen. Die Korrelationen zwischen ausgewählten Standortparametern und der Ordination sind mit Vektoren dargestellt. Je länger und je näher an einer Achse der Vektor verläuft, desto höher ist die Korrelation. Dabei wird die erste Achse gut durch den Grundwasserflurabstand bei MW(März/April) und etwas schlechter durch den Grundwasserflurabstand bei MNW charakterisiert. Mit Achse zwei korrelieren die Fließgeschwindigkeit bei einem 5-jährlichen Hochwasser (V bei HQ₅) und die Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW (GW-Schwankung).
Ergebnisse beruhen auf einer Bray-Curtis-Distanzmatrix berechnet aus Präsenz/Absenz-Daten der Artenvorkommen (141 Aufnahmen mit 212 Pflanzenarten). Lösung für 2 Dimensionen nach 27 Durchläufen mit einem Stress von 0.21. Eine Achseneinheit stellt 50 % Unterschiede in der Artenzusammensetzung dar, der längste Gradient wird von Achse 1 abgebildet.

Klassifikationsbaum

Der Klassifikationsbaum wählt als wichtigsten Parameter die Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW (Abb. 4-22). Ist diese größer als 1,3 m werden hauptsächlich Feuchtwiesen, aber auch die Hälfte aller Flutrasen und viele Frischwiesen eingeordnet. Für eine weitere Aufspaltung dieses Astes reichen die Aufnahmen nicht aus. Nasswiesen kommen fast ausschließlich bei geringeren Schwankungen und Grundwasserflurabständen im März/April von weniger als 1,2 m vor. Darüber treten vornehmlich Frischwiesen und Halbtrockenrasen auf, wobei auch dieser Ast nur wenige Vegetationsaufnahmen umfasst und daher entsprechend kritisch interpretiert werden muss.

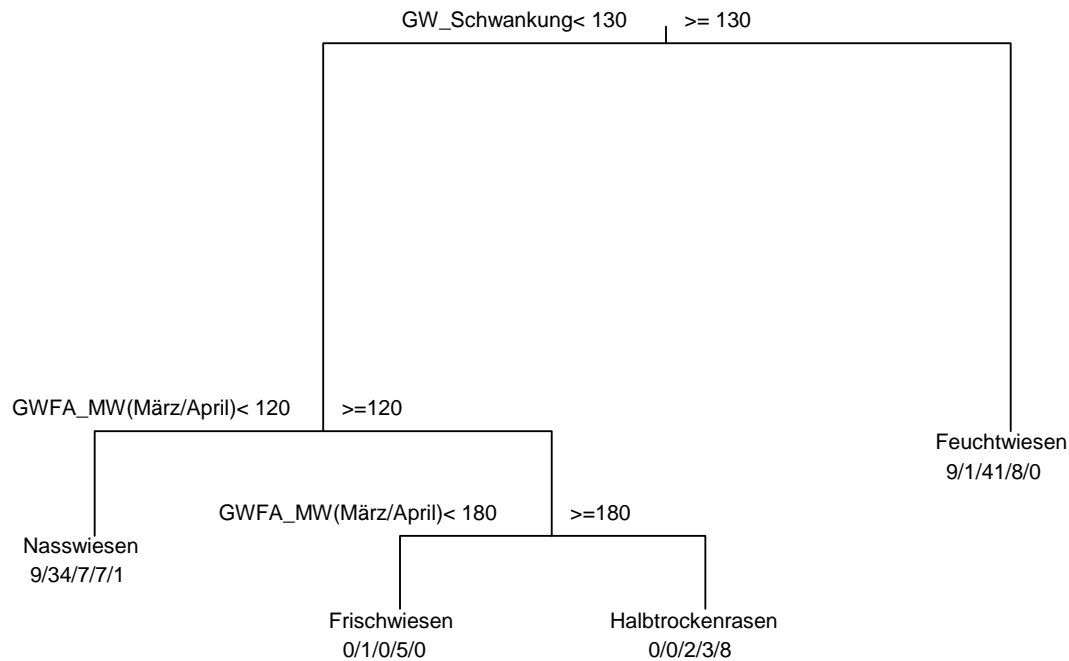


Abb. 4-22: Klassifikationsbaum zur Differenzierung der Grünlandtypen, basierend auf Vegetationsaufnahmen. Die Standortparameter sind der Grundwasserflurabstand bei MW(März/April) und die Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW (GW_Schwankung). Alle Angaben in cm gerundet. Diese Zuordnung inklusive Fehlzuweisungen zu den einzelnen Standortgruppen findet sich unterhalb des Vegetationstyps und ordnet die Anzahl der Aufnahmen wie folgt zu: Flutrasen/ Nasswiesen/ Feuchtwiesen/ Frischwiesen/ Halbtrockenrasen.

Abgeleitete Regeltabelle

Die Regeltabelle für das Standortpotenzial der Grünlandvegetation greift das Grundwasser als wichtigste Steuergröße für die Vegetation auf (Tab. 4-15). Im wesentlichen werden Wasserstufen abgebildet und zusätzlich die Auendynamik über die Grundwasserschwankung berücksichtigt. Die Auendynamik wirkt deutlich differenzierend auf die Feuchtwiesen, allerdings kann bei den Frischwiesen kein großer floristischer Unterschied zwischen wechselfeuchten und undynamischen Standorten in den vorliegenden Daten gezeigt werden. Um dennoch die Auendynamik auch in höher gelegenen Bereichen abzubilden, werden auch die Standorte der Frischwiesen in wechselfeucht und undynamisch unterteilt.

Tab. 4-15: Regeltabelle zur Darstellung der Standortpotenziale für die Grünlandvegetation basierend auf der Auswertung aller vorhergehender Analysen und stichprobenhafter Überprüfung im Gelände.

Standortparameter	Grundwasser-Schwankung MW(März/April) zu MNW [cm]	Grundwasserflurabstand bei MW(März/April) [cm]	Grundwasserflurabstand bei MNW [cm]
<i>Vegetationstyp</i>			
Nasswiese	<100	>= -30 & < 50	>=0
Feuchtwiese dauerfeucht	< 100	>= 50 & < 150	
Frischwiese undynamisch	< 100	>= 150 & < 250	
Flutrasen	>= 100	>= -10 & < 130	
Feuchtwiese wechselfeucht	>= 100	>= 130 & < 180	
Frischwiese dynamisch	>= 100	>= 180 & < 250	
Halbtrockenrasen		>= 250	

Grundwasserflurabstand bei MNW

0 m Bei MNW liegt auf allen Standorten des Grünlandes das Grundwasser unter Flur.

Alle anderen Standorte sind nicht für die Grünlandnutzung geeignet.

Grundwasserflurabstand MW(März/April)

-0,3 m Untergrenze der kartierten Nasswiesen (Abb. 4-15)

-0,1 m Untergrenze der Flutrasen

0,5 m Obergrenze Nasswiese (z.B. *Lythrum salicaria*, Anlage 1.3) bzw. Untergrenze der dauerfeuchten Feuchtwiese (*Thalictrum flavum*)

1,3 m Obergrenze Flutrasen (*Agrostis stolonifera*, *Phalaris arundinacea*) und Untergrenze der wechselfeuchten Feuchtwiesen

1,5 m Obergrenze der dauerfeuchten Feuchtwiese (z.B. *Sanguisorba officinalis*) und Untergrenze der dauerfeuchten Frischwiese (z.B. *Dactylis glomerata*)

1,8 m Obergrenze der wechselfeuchten Feuchtwiese (*Festuca pratensis*) und Untergrenze der dynamischen Frischwiese

2,5 m Obergrenze der Frischwiesen (*Arrhenatherum elatius*) und Untergrenze der Halbtrockenrasen (Abb. 4-15)

Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW

1 m Trennt den dynamischen Flügel des Grünlands (Flutrasen und dynamische Feucht- bzw. Frischwiesen mit z.B. *Festuca pratensis* und *Alopecurus pratensis* Anlage 1.3) von den undynamischen Standorten (Nasswiese und undynamische Feucht- bzw. Frischwiese mit z.B. *Carex acuta*, *Cirsium oleraceum* und *Briza media*)

4.3 Beschreibung der Vegetationstypen

Die in der Modellierung berücksichtigten Vegetationstypen werden getrennt nach Vorland, Hinterland und Grünland kurz beschrieben. Dabei werden die im Gebiet vorkommenden Pflanzengesellschaften den Typen zugeordnet und auch Ersatzgesellschaften, bzw. Sukzessionsstadien berücksichtigt. Deren Standortamplituden werden auf Basis der Zufallspunkte aus der Kartierung dargestellt, um die Standortsuche für auf einzelne Pflanzengesellschaften ausgerichtete Kompensationsmaßnahmen zu unterstützen.

Da FFH-Lebensraumtypen (FFH-LRT) hauptsächlich über vorkommende Pflanzengesellschaften definiert werden, lassen sich auch Standortpotenziale für FFH-LRT den Vegetationstypen zuordnen.

4.3.1 Naturnahe Vegetation im Vorland

Wasserpflanzen

Pflanzengesellschaften:

Callitriche obtusangulae

Ceratophyllum demersi

Elodea canadensis-Ges.

Elodea nuttallii-Ges.

Glycerium fluitans

Hottonia palustris typicum

Limnathetum nymphaeoidis

Najas marina-Ges.

Nymphaeetum albo-luteae

Polygonum amphibium-Ges.

Ranunculetum peltati

Ranunculus circinatus-Ges.

Sagittario-Sparganietum emersi

Sparganium emersum-Ges.

Flutende Wassermoos-Bestände

Fontinalis antipyretica-Reinbestand

Freischwimmende Wasserpflanzen

Hydrocharitetum morsus-ranae

Lemnetum trisulcae typicum

Riccium fluitans typicum

Spirodeletum polyrhizae

Myriophyllum spec. Gesellschaften

Myriophyllum spicatum-Ges.

Myriophyllum verticillatum-Ges.

Großlaichkräuter-Gesellschaften

Potamogeton lucentis

Potamogeton perfoliatus-Ges.

Kleinlaichkräuter-Gesellschaften

Potamogeton berchtoldii-Ges.

Potamogeton pectinatus-Ges.

Potamogeton pusillus-Ges.

Zannichellietum palustris

Potenzielle LRT: 3150 Natürliche Eutrophe Seen

3260 Flüsse der planaren bis montanen Stufe

Standortpotenzial in Modellierung:

Höhe über HW₅: < 0 cm

Fließgeschwindigkeit bei MW: < 0,3 m/s

GW-Flurabstand bei MNW: > -200 & < 0 cm

Mit dem alleinigen Vorkommen von Wasserpflanzengesellschaften ist unterhalb der mittleren Niedrigwasserlinie bis in maximal 2 m Tiefe zu rechnen. Viele Vorkommen befinden sich in höheren Bereichen, wo sie auch kurzzeitig trockenfallen können. Der Potenzialraum umfasst sowohl Still- als auch Fließgewässer, deren Vegetation man deutlich unterscheiden kann (Abb. 4-2). Bereiche mit Fließgeschwindigkeiten über 0,1 m/s werden fast ausschließlich von Laichkrautgesellschaften (z.B. *Potamogeton pectinatus*-Ges.) oder von flutenden Wasser-
moosen eingenommen.

Das Modell berücksichtigt allerdings keine schiffverkehrsbedingten Störungen, welche die flutenden Wasserpflanzen schädigen können und das Standortpotenzial besonders der strömenden Bereiche vermutlich weiter einschränken.

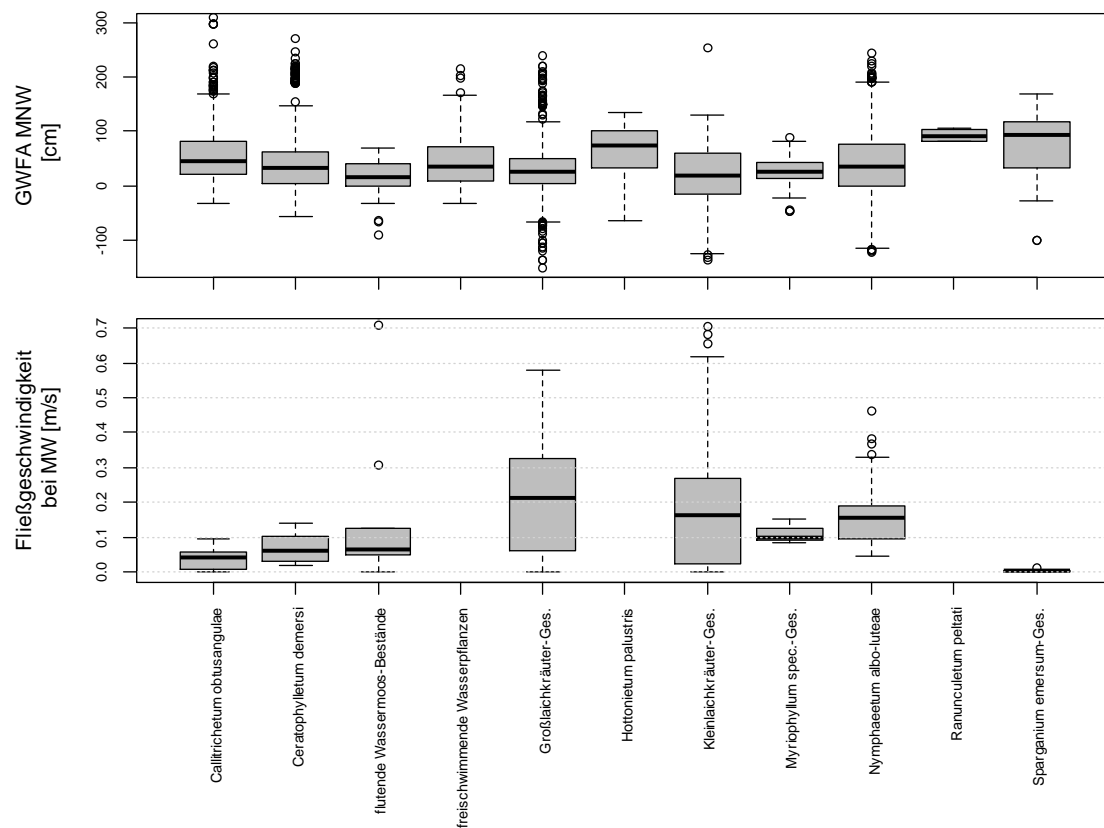


Abb. 4-23: Verteilung von Wasserpflanzengesellschaften des Vorlandes relativ zum Grundwasserflurabstand bei MNW und der Fließgeschwindigkeit bei MQ.

Pionierfluren

Pflanzengesellschaften:

Bidentia-Polygonetum hydropiperis
Chenopodietum rubri (Chenopodium glauci)
Cyperus fuscus-Ges.
Heleocharito acicularis-Limoselletum aquaticae
Oenanthe aquaticae-Rorippetum amphibiae
Polygonum lapathifolium-Ges.

Polygonum mite-Ges.
Rorippa amphibia-Ges.
Rorippo palustris-Myosotetum
Rumicetum maritimi typicum
Scirpetum radicans
Veronica catenata-Ges.

Potenzieller LRT: 3270 Flüsse mit Schlammbänken

3150 Eutrophe Seen

Standortpotenzial in Modellierung:

Höhe über HW₅: < 0 cm

GW-Flurabstand bei MW: < -20 cm

GW-Flurabstand bei MNW: > 0 cm

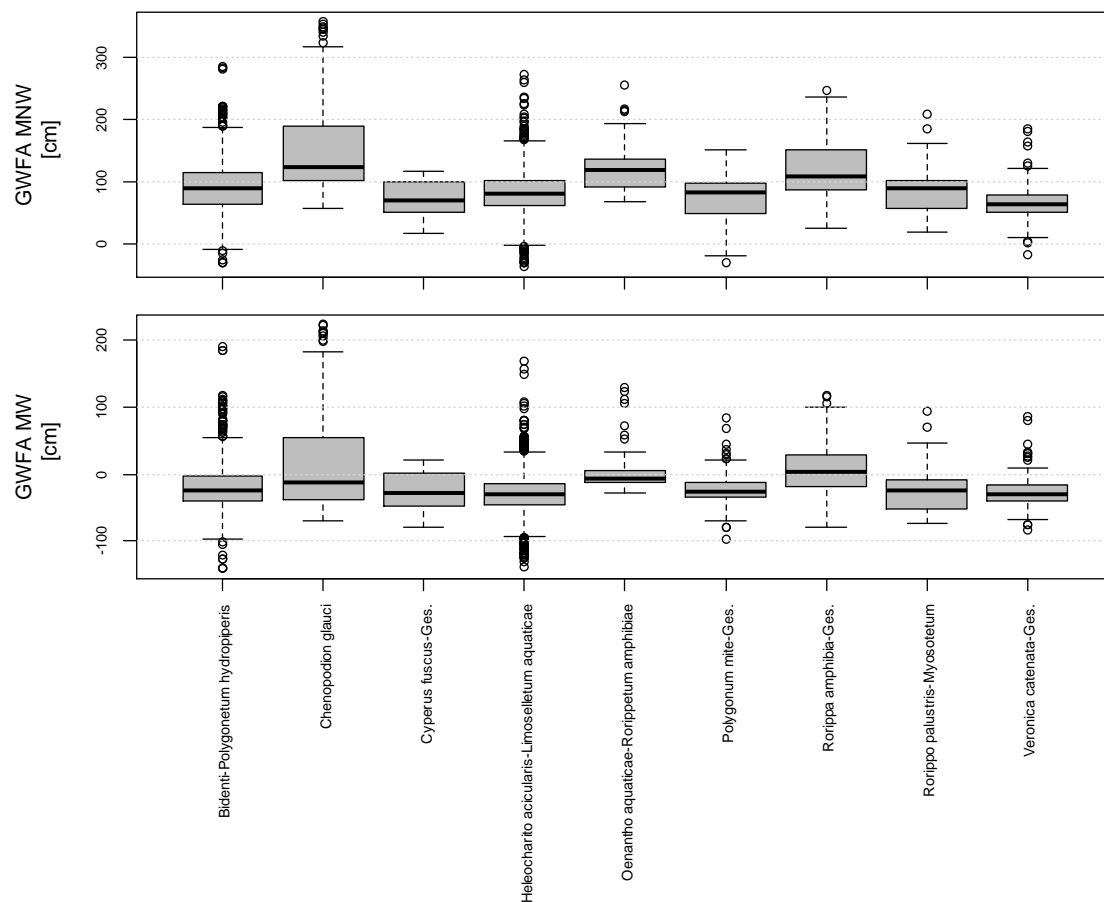


Abb. 4-24: Verteilung von Pflanzengesellschaften der Pionierfluren im Vorland gegenüber Grundwasserflurabständen bei MNW und MW.

Verschiebungen des Standortpotenzials können durch Veränderungen der Mittel- und Niedrigwasserstände auftreten. Unmittelbar hinter Staubauwerken, wo beide Wasserstände auf gleicher Höhe liegen, fehlen Standorte für Pionierfluren.

Standorte der Pionierfluren befinden sich im Vorland, sind im Mittel über 150 Tage im Jahr überflutet und fallen bei MNW komplett trocken (Abb. 4-2). Direkt am Fluss sind solche Flächen meist durch Kies und Schotter geprägt und werden höchstens spärlich von einjährigen Arten (z.B. *Bidens spec.*, *Polygonum spec.* oder *Rorippa sylvestris*) bewachsen. An Altarmen und in Buchten entstehen bei Niedrigwasser Schlammflächen, welche schnell von Pionierarten wie *Limosella aquatica*, *Lindernia procumbens* oder *Veronica catenata* besiedelt werden.

Zum Ufer hingegen leitet stellenweise die *Rorippa amphibia*-Gesellschaft zur unteren Weichholzaue über. Pionierfluren entwickeln sich nicht in Jahren mit hohen Wasserständen. Dann können alternativ Wasserpflanzengesellschaften auftreten welche z.T. auch die Trockenphasen an Ort und Stelle überdauern.

Pionierfluren können auch oberhalb MW nach natürlichen oder anthropogenen Störungsereignissen auf offenen Böden auftreten, allerdings werden diese Standorte langfristig von terrestrischer Vegetation besiedelt und deswegen nicht in der Modellierung berücksichtigt. Im Deich-Hinterland sind die Wasserstandschwankungen so gering, dass ausdauernde Röhrichtgesellschaften die Pionierfluren verdrängen. Anthropogene Ausnahmen stellen Ackersenken und abgelassene Teiche dar.

Weichholzaue

Da die Pflanzengesellschaften der Weichholzaue sich standörtlich weiter differenzieren lassen, werden die Standorte der Weichholzaue in einen oberen, unteren und dauerfeuchten Typ unterteilt.

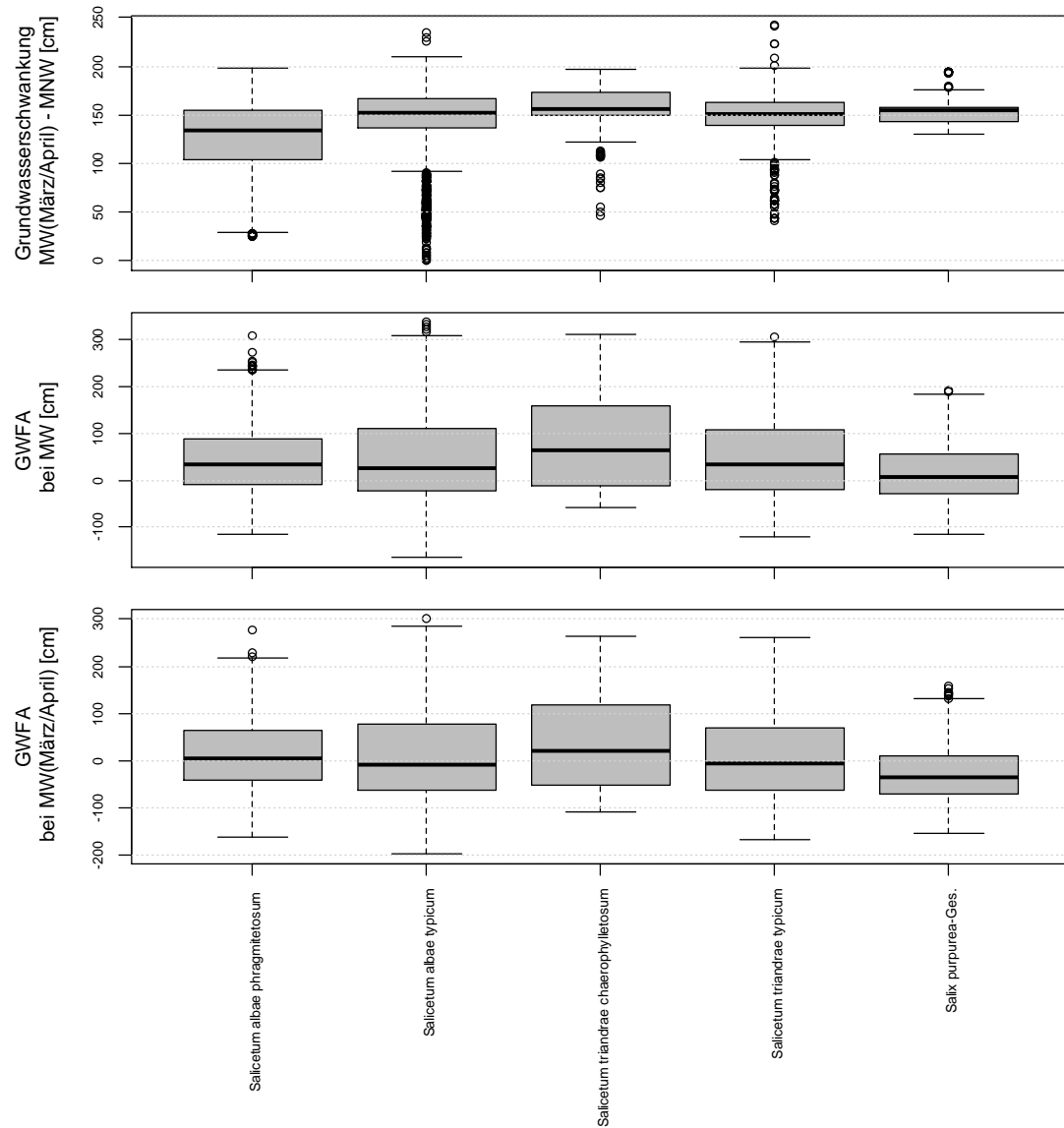


Abb. 4-25: Verteilung von Gesellschaften der Weichholzaunen im Vorland relativ zu Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW, GW-Flurabstand bei MW und bei MW(März/April)

Untere Weichholzaue

Pflanzengesellschaften:

Salicetum albae (teilweise)

Salicetum triandrae

Salix purpurea Ges.

Im Mosaik mit

Phalaridetum arundinaceae

Senecionetum fluviatilis

Potenzieller LRT: 91E0* Weichholzaue

Standortpotenzial in Modellierung:

Höhe über HW ₅ :	< 0 cm
GW-Flurabstand bei MW:	>= -20 cm
GW-Flurabstand bei MW(März/April):	< 10 cm
GW-Schwankung zwischen MW(März/April) und MNW:	>= 80 cm

Das Standortpotenzial kann sich durch Veränderungen im Grundwasserspiegel besonders im Bereich des Mittelwassers in der Höhe verschieben. Wenn die Schwankungsbreite des Grundwassers z.B. durch Einstau zwischen MW(März/April) und MNW unter 80 cm sinkt, erlischt das Standortpotenzial.

Die untere Weichholzaue wird zwischen 70 und 150 Tagen im Jahr überflutet und weist generell stark schwankende Grundwasser- bzw. Wasserstände auf. Unter diesen Bedingungen wachsen die autotypischen Weidenarten ohne Konkurrenz durch mesophile Gehölze. Um die Mittelwasserlinie kommt besonders auf Kiesbänken die *Salix purpurea*-Gesellschaft vor (Abb. 4-25). Daran schließen sich Weidengebüsche (*Salicetum triandrae*) oder direkt Silberweidenwälder (*Salicetum albae*) an, welche mit *Acer negundo* durchsetzt sein können.

Besonders in Ufernähe wird die Krautschicht durch Überflutungen stark gestört und kann sogar ganz fehlen. In geschützten Bereichen hingegen können sich sogar nitrophile Hochstaudenfluren und Röhrichte mit *Phalaris arundinacea*, *Phragmites australis* oder *Senecio sarracenicus* ausbilden.

Die Abb. 4-25 stellt teilweise Vorkommen weit unter der Mittelwasserlinie dar, obwohl dort keinesfalls dauerhaft mit Weichholzaue gerechnet werden kann. Dies ist auf die Unschärfe der Kartierungen zurückzuführen, welche besonders über das Wasser hängende Weidenwälder nicht exakt an der Wasserkante abgrenzen konnte.

Aktuell kommt das *Salicetum triandrae chaerophylletosum bulbosi* bis zu 3 m über MW als Saumgesellschaft von Grünlandflächen vor (vgl. Ahlmer, 1989). Unter natürlichen Bedingungen würde der Verbreitungsschwerpunkt der Weidengebüsche, dann mit geringerer Steigtigkeit von *Chaerophyllum bulbosum*, jedoch in der unteren Weichholzaue liegen.

Obere Weichholzaue

Pflanzengesellschaften:

Salicetum albae

Im Mosaik mit

Cuscuta-Convolvuletum

Phalaridetum arundinaceae

Potenzieller LRT: 91E0* Weichholzaue

Standortpotenzial in Modellierung:

Höhe über HW₅: < 0 cm

GW-Flurabstand bei MW(März/April): ≥ 10 & < 70 cm

GW-Schwankung zwischen MW(März/April) und MNW: ≥ 80 cm

Das Standortpotenzial kann sich durch Veränderungen der Grundwasserspiegel besonders oberhalb von MW verschieben. Wenn die Schwankungsbreite des Grundwassers zwischen MW(März/April) und MNW unter 80 cm sinkt (z.B. durch Anhebung von MNW), verschwindet das Standortpotenzial.

Die obere Weichholzaue wird im Mittel zwischen 25 und 70 Tagen jährlich überflutet. Auf diesen Standorten dominieren als Dauergesellschaft natürlicherweise Silberweidenwälder (*Salicetum albae*) mit einer starkwüchsigen Krautschicht aus nitrophilen Arten *Urtica dioica*, *Symphytum officinale* und *Calystegia sepium*. In den hohen Lagen ist mit einem nahtlosen Übergang in die Hartholzaue zu rechnen.

Auf Standorten mit mehr als 70 cm GW-Flurabstand bei MW(März/April) können Weidenwälder nach starken Störungen (Hochwasser, Bodenabtrag durch Baumaßnahmen etc.) auftreten. Sie müssen allerdings als Sukzessionsstadien hin zur Hartholzaue betrachtet werden. Insofern eignen sich derartige Standorte auch nicht als Kompensationsflächen für Weichholzaunen.

Weichholzaue dauerfeucht

Pflanzengesellschaften:

Salicetum cinereae

Pruno-Fraxinetum (im Übergang)

Salicetum albae phragmitetosum

Im Mosaik mit

Cuscuta-Convolutetum

Phalaridetum arundinaceae

Phragmitetum australis

Potenzieller LRT: 91E0* Weichholzaue

Standortpotenzial in Modellierung:

Höhe über HW₅: < 0 cm

GW-Flurabstand bei MW(März/April): ≥ 10 & < 70 cm

GW-Schwankung zwischen MW(März/April) und MNW: < 80 cm

Das Standortpotenzial kann sich durch Veränderungen im Grundwasserspiegel besonders oberhalb des Mittelwasser in der Höhe verschieben. Charakteristisch sind die geringen Schwankungen des Grundwassers.

Auf Bereichen mit geringen Grundwasserstandsschwankungen treten Silberweidenwälder mit hoher Dominanz von *Phragmites australis* auf. Solche Bestände sind aktuell großflächig im Isarmündungsgebiet vorhanden. Je geringer die Grundwasserdynamik wird, desto stärker sind Gehölze der Sumpf- und Bruchwälder wie *Alnus glutinosa* und *Salix cinerea* beigemischt. Bei sehr geringen Schwankungen und geringer Überflutungsdynamik können Traubenkirschen-Schwarzerlenwälder (*Pruno-Fraxinetum*) wie im direkten Staubereich der Stauhaltung Straubing an der Donau entstehen, welche heute im Vorland zwischen Straubing und Vilshofen so nicht vorkommen. Die aktuellen im Gebiet vorhandenen Bestände des *Pruno-Fraxinetums* sind hingegen größtenteils dem Niveau der Hartholzaue zuzurechnen .

Röhrichte, Riede und Sumpfbüschel

Pflanzengesellschaften:

Acoretum calami

Alisma plantago-aquatica-Ges.

Butometum umbellati

Caricetum elatae

Caricetum gracilis

Caricetum oenensis

Caricetum vesicariae

Eleocharis palustris-Ges.

Galio palustris-Caricetum ripariae

Glycerietum maximae

Nasturtietum officinalis

Phragmitetum australis

Rumex hydrolapathum-Ges.

Sium erectum-Ges.

Typhetum latifoliae typicum

Veronica beccabunga-Ges.

Potenzieller LRT: 3150 eutrophe Seen mit Verlandungszone

Standortpotenzial in Modellierung:

Höhe über HW₅: < 0 cm

GW-Flurabstand bei MW: >= -20 cm

GW-Flurabstand bei MW(März/April): < 10 cm

GW-Schwankung zwischen MW(März/April) und MNW: < 80 cm

Das Standortpotenzial kann sich bereits durch geringe Änderungen des Wasserspiegels im Bereich MW verschieben. Charakteristisch sind die geringen Schwankungen des Grundwassers.

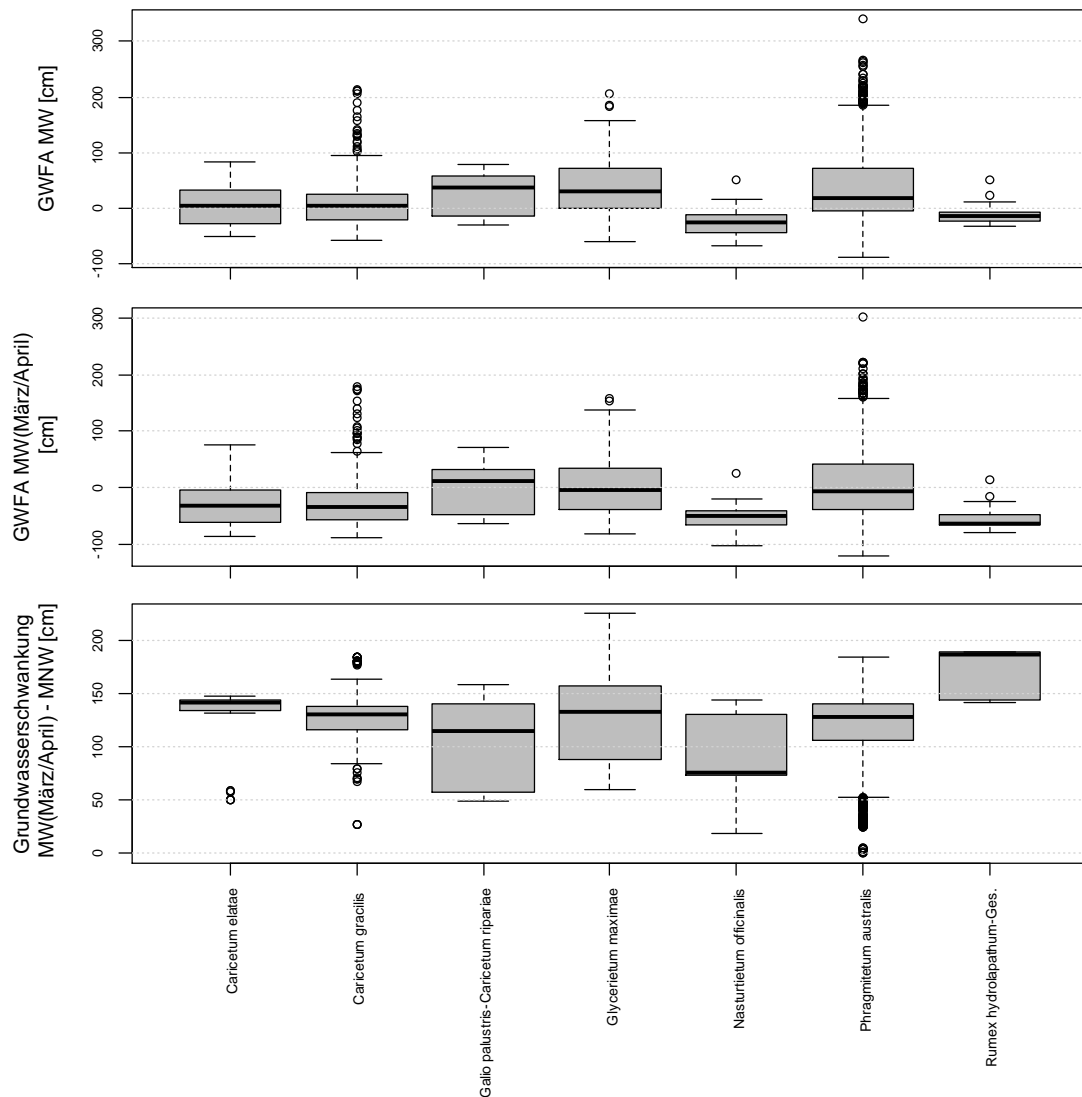


Abb. 4-26: Verteilung von Gesellschaften der Röhrichte und Riede im Vorland relativ zum GW-Flurabstand bei MW, bei MW(März/April) und Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW.

Das Standortpotenzial liegt auf dem Niveau der unteren Weichholzaue, allerdings mit stark eingeschränkter Grundwasserdynamik. Entsprechende Gebiete finden sich aktuell nur sehr kleinflächig in der Isaraue und in Randbereichen des Donauvorlandes. Die Seggenriede *Caricetum elatae* und *Caricetum gracilis* grenzen in den tieferen Bereichen an Wasserpflanzengesellschaften oder Pionierfluren an. In höher gelegene Bereiche können dann das *Caricetum ripariae*, das *Glycerietum maximae* und das *Phragmitetum australis* vordringen. Grauweidengebüsche (*Salix cinerea*) können eingestreut vorkommen.

Fast alle Pflanzengesellschaften des Standortpotenzials kommen aktuell auch bei Grundwasserstandsschwankungen über 80 cm vor (Abb. 4-2), bilden dort aber Mosaik mit der unteren Weichholzaue, deren Gebüsche unter natürlichen Bedingungen vermutlich dominieren würden.

Hartholzaue

Pflanzengesellschaften:

Humulus lupulus-Sambucus nigra-Ges.
Pruno-Ligustretum
Prunus spinosa-Ges.
Quercu-Ulmetum minoris
Rhamno-Cornetum sanguinei
Pruno-Fraxinetum typicum

Im Mosaik mit
Alliario-Chaerophylletum temuli
Chaerophylletum bulbosi
Cuscuta europaeae-Convolvuletum sepium
Epilobio-Geranium robertiani
Rubetum idaei
Sambucetum ebuli
Urtico-Aegopodietum podagrariae

Potenzieller LRT: 91F0 Hartholzaue

Standortpotenzial in Modellierung:

Höhe über HW₅: < 0 cm

GW-Flurabstand bei MW(März/April): >= 70 cm

Das Standortpotenzial kann sich durch Veränderungen im Grundwasserstand und der Überflutungshöhe bei einem 5-jährlichen Hochwasser verschieben.

Alle hoch gelegenen Bereiche der Aue mit mittleren Überschwemmungsdauern unter 25 Tagen pro Jahr können von der Hartholzaue eingenommen werden. Aktuell sind nur sehr wenige Flächen mit dem *Quercu-Ulmetum* bestockt. Allerdings zeigt der Unterwuchs in vielen Pappelforsten deutliche Tendenzen zur Hartholzaue. Auch Gebüschstadien mit *Prunus spinosa*, *Rhamnus cathartica* und *Cornus sanguinea* entwickeln sich zur Hartholzaue. Langfristig ist mit einem deutlich geringeren Anteil der lichtbedürftigen Stiel-Eiche (*Quercus robur*) zu rechnen, so dass eher ein Eschen-Ulmenwald entstehen wird, sofern die aktuellen

Pilzkrankungen von Ulmen und Eschen sich nicht ausweiten. Durch Baumsturzlücken können auch Mosaik mit Hochstaudenfluren entstehen.

Floristisch lassen sich keine klaren Unterschiede in den aktuellen Hartholzauwäldern zwischen Standorten mit hoher und geringer Grundwasserdynamik erkennen. Dies liegt auch an der geringen Zahl von Referenzstandorten im Vorland. Für eine genauere Betrachtung der Hartholzauestandorte böte sich momentan nur eine Übernahme der Dynamikgrenze zwischen dynamischer und dauerfeuchter Weichholzaue an. Diese liegt bei Grundwasserschwankungen von 80 cm zwischen MW(März/April) und MNW. In tieferen und wenig dynamischen Bereichen ist aber mit einem höheren Anteil von Arten der Röhrichte und Seggenrieder zu rechnen.

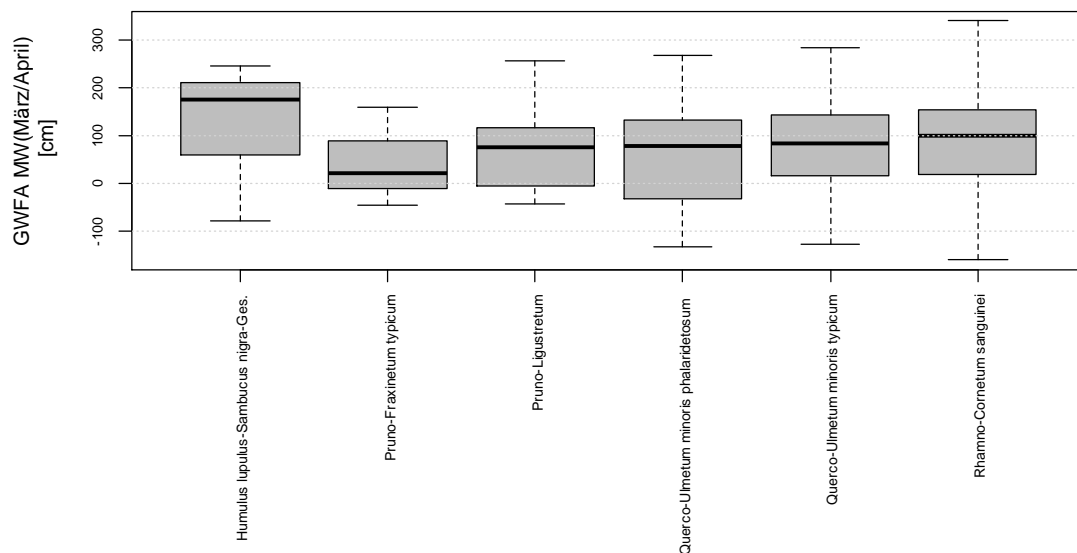


Abb. 4-27: Verteilung von Gesellschaften der Hartholzaue und mesophilen Gebüsch im Vorland relativ zum GW-Flurabstand bei MW(März/April).

In den tieferen Bereichen gibt es nahtlose Übergänge zur oberen Weichholzaue und auf den höheren Standorten vermitteln dann Bestände mit Winterlinde (*Tilia cordata*) zum Eichen-Hainbuchenwald (siehe auch Walentowski *et al.*, 2006). Die in Abb. 4-2 sehr tief liegenden Bereiche sind hauptsächlich der Problematik klarer Abgrenzungen der Kartierungen an Geländeschwellen geschuldet und spiegeln nicht die untere Potenzialgrenze wider.

4.3.2 Naturnahe Vegetation im Hinterland

Wasserpflanzen

Pflanzengesellschaften:

Beruletum submersae

Callitrichetum obtusangulae

Ceratophylletum demersi

Charetum vulgaris

Elodea canadensis-Ges.

Elodea nuttallii-Ges.

Hottonietum palustris

Nasturtietum officinalis

Nymphaeetum albo-luteae

Ranunculus circinatus-Ges.

Sagittario-Sparganietum emersi

Sparganium emersum-Ges.

Myriophyllum spec. Gesellschaften

Myriophyllum spicatum-Ges.

Myriophyllum verticillatum-Ges.

Potametalia

Potametum lucentis

Potamogeton berchtoldii-Ges.

Potamogeton crispus-Ges.

Potamogeton pectinatus-Ges.

Potamogeton perfoliatus-Ges.

Freischwimmende Wasserpflanzen

Hydrocharitetum morsus-ranae typicum

Lemna minor-Ges.

Lemna minuta-Ges.

Lemnetum gibbae

Lemnetum trisulcae

Lemno-Utricularietum vulgaris

Riccietum fluitantis

Spirodeletum polyrhizae

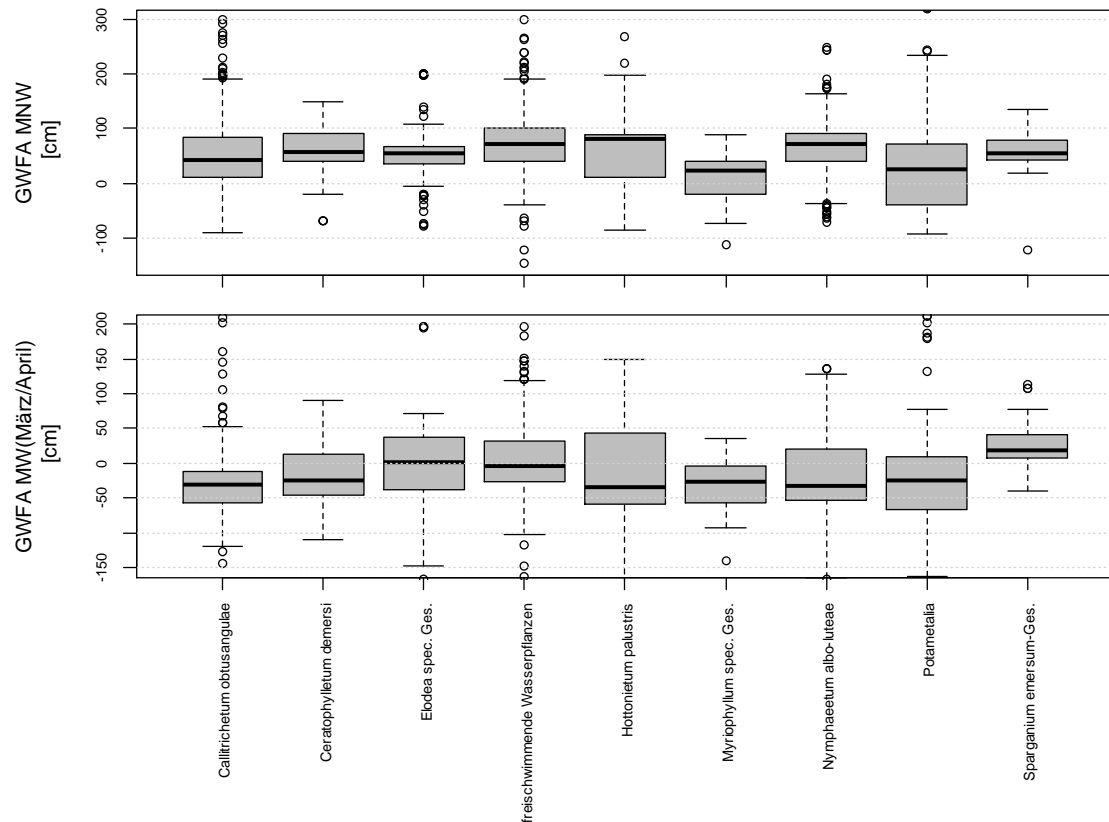


Abb. 4-28: Verteilung von Wasserpflanzengesellschaften des Hinterlandes relativ zum Grundwasserflurabstand bei MNW und bei MW(März/April).

Potenzielle LRT: 3150 Natürliche Eutrophe Seen
3260 Flüsse der planaren bis montanen Stufe

Standortpotenzial in Modellierung:

Überflutung bei HQ₅: keine
GW-Flurabstand bei MW(März/April): < -40 cm
GW-Flurabstand bei MNW: >= -200 cm

Durch Veränderung der niedrigen Grundwasserstände und Vertiefung von Gewässern kann sich das Standortpotenzial verschieben bzw. verloren gehen.

Gewässer im Hinterland können potenziell komplett von Wasserpflanzen besiedelt werden. Einschränkungen durch schifffahrtsbedingten Wellenschlag und hohe Fließgeschwindigkeiten treten hier nicht auf. Das Potenzial endet bei einer Wassertiefe von 2 m, da hier in den meist trüben eutrophen Gewässern die Lichtmenge nicht mehr für höhere Pflanzen ausreichend ist. In klaren Gewässern wie z.B. alten Kiesgruben können sich Wasserpflanzen aber durchaus auch noch in größeren Tiefen etablieren. Es ist zu beachten, dass für viele Gewässer im Hinterland die Wassertiefe aufgrund fehlender Peildaten nur ansatzweise im Digitalen Höhenmodell abgebildet wird.

Die Stillgewässer werden potenziell von Teichrosen-Gesellschaften (Nupharetum), Laichkraut-Fluren (Potametalia), Hornkraut- (*Ceratophyllum demersum*) oder Tausendblatt-Gesellschaften (*Myriophyllum spec. – Ges.*) besiedelt. Besonders in flachen nährstoffreichen Gewässern können freischwimmende und schwebende Arten wie *Lemna minor*, *Riccia fluitans* oder *Spirodela polyrhiza* auftreten. In Bächen und Gräben wachsen potenziell z.B. Wasserstern-Gesellschaften (Callitrichetum), Igelkolben-Gesellschaften (Sagittario-Sparganietum) oder Wasserhahnenfuß-Gesellschaften (Ranunculion fluitantis). Im natürlichen Zustand wären besonders die kleinen Gewässer stark vom umgebenden Wald beschattet und der Wasserpflanzenbewuchs entsprechend gering.

Röhrichte und Riede

Pflanzengesellschaften:

<i>Alisma plantago-aquatica-Ges.</i>	<i>Caricetum oenensis</i>
<i>Alismatetum lanceolati</i>	<i>Caricetum vesicariae</i>
<i>Apium repens-Ges.</i>	<i>Eleocharis palustris-Ges.</i>
<i>Bolboschoenetum maritimi</i>	<i>Eleocharito palustri-Hippuridetum vulgaris</i>
<i>Bolboschoenus laticarpus-Ges.</i>	<i>Glycerietum maximae</i>
<i>Butometum umbellati</i>	<i>Iris pseudacorus-Ges.</i>
<i>Caricetum acutiformis</i>	<i>Oenanthe aquaticae-Rorippetum amphibiae</i>
<i>Caricetum buekii</i>	<i>Phragmitetum australis</i>
<i>Caricetum gracilis</i>	<i>Rorippa amphibia-Ges.</i>
<i>Caricetum elatae</i>	<i>Rumex hydrolapathum-Ges.</i>

*Rumicetum maritimi polygonetosum hydro-
piperis*
Scheuchzerio-Caricetea fuscae
Schoenoplectetum tabernaemontani
Scirpetum lacustris

Sium erectum-Ges.
Sparganietum erecti
Typhetum latifoliae
Veronica beccabunga-Ges.

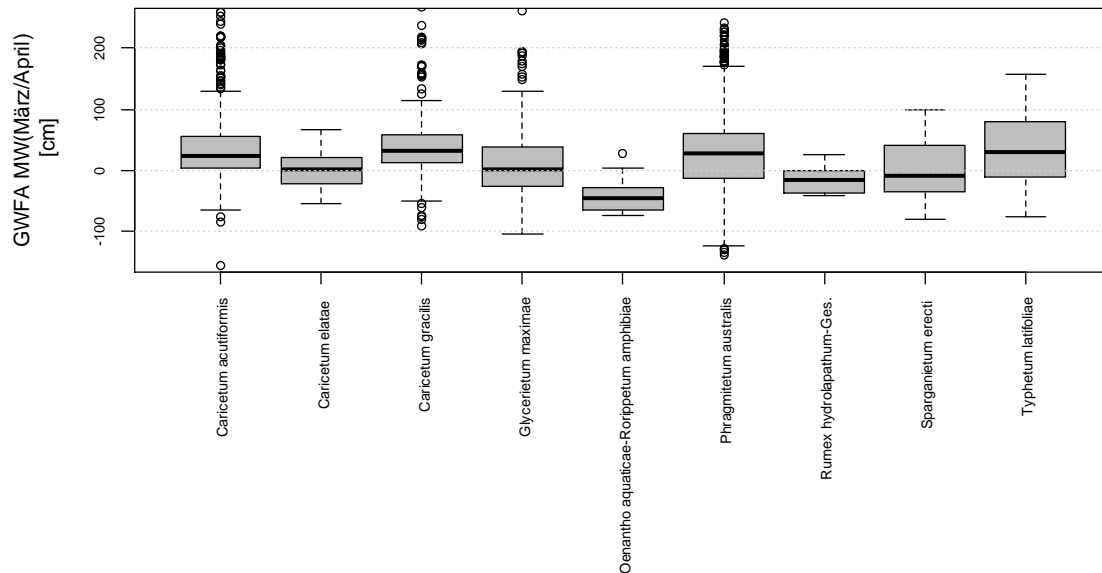


Abb. 4-29: Verteilung von häufigen Pflanzengesellschaften der Röhrichte und Seggenriede im Hinterland relativ zum Grundwasserflurabstand MW(März/April).

Potenzielle LRT: 3150 Natürliche Eutrophe Seen mit Verlandungszonen

Standortpotenzial in Modellierung:

Überflutung bei HQ₅: keine

GW-Flurabstand bei MW(März/April): ≥ -10 cm & < -40 cm

Durch Veränderungen des Grundwasserflurabstandes besonders oberhalb des Mittelwassers kann sich das Potenzial verschieben.

Der Potenzialraum für reine Verlandungsröhrichtgesellschaften ohne Gehölze beschränkt sich auf einen 30 cm hohen Streifen der im Frühjahr mindestens 10 cm hoch mit Wasser bedeckt ist. Typische Pflanzengesellschaften sind das Steifseggen-Ried (*Caricetum elatae*), die Fluß-Ampfer-Gesellschaft (*Rumex hydrolapathum* – Gesellschaft) und das Wasserfenchel-Sumpfkressen-Ried (*Oenanthe-Rorripetum*), welche die Verlandung von Gewässern einleiten. In Trockenperioden können sich zwischen diesen Bestände durchaus auch Arten der Pionierfluren wie *Cyperus fuscus* kurzzeitig behaupten.

Oberhalb des eigentlichen Potenzialraumes können die Riede und Röhrichte im Mosaik mit Sumpfwäldern auftreten, wobei dann eher *Carex acutiformis*, *C. gracilis*, *Phragmites australis* und *Phalaris arundinacea* dominieren.

Sumpfwälder

Pflanzengesellschaften:

Stellario-Alnetum
Alnetum incanae
Carici elongatae-Alnetum glutinosae
Frangulo-Rubetum plicati
Pruno-Fraxinetum
Salicetum cinereae

Salici-Vibumetum opuli
Fossile Auenwälder
Salicetum albae
Salicetum triandrae
Salix purpurea-Ges.

Potenzielle LRT: 91E0* für Erlenwälder und fossile Weichholzaue
Biotyp WG00BK für Grauweidengebüsche

Standortpotenzial in Modellierung:

Überflutung bei HQ₅: keine

GW-Flurabstand bei MW(März/April): ≥ -10 cm & < 70 cm

Durch Veränderungen im Grundwasserflurabstand oberhalb Mittelwasser kann es zu Verschiebungen des Standortpotenzials kommen.

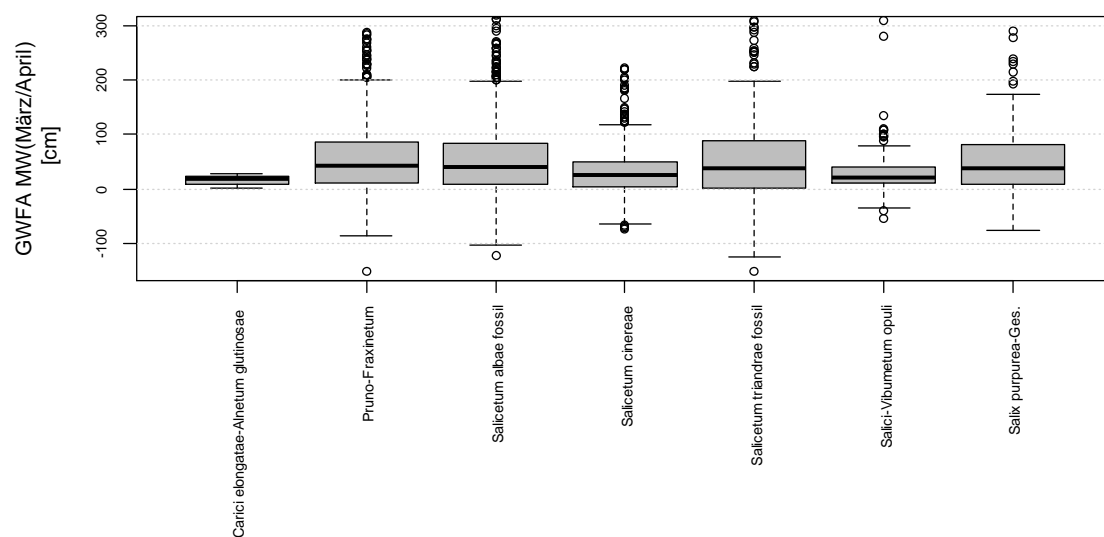


Abb. 4-30: Verteilung von häufigen Gesellschaften der Sumpfwälder und fossilen Weichholzaue im Hinterland relativ zum Grundwasserflurabstand bei MW(März/April).

Die Sumpfwälder liegen im Hinterland auf dem Niveau der Weichholzaue in einem 80 cm hohen Streifen. Sie werden nicht direkt überflutet, können aber durch aufsteigendes Grundwasser und Niederschlagswasser überstaut werden. Die aktuell vorkommenden Reste von Silberweidenwäldern und Mandelweidengebüschen sind wegen der fehlenden Überflutungsdynamik als fossil zu bezeichnen und würden durch Sukzession von den typischen Sumpf-

waldgesellschaften wie den Erlen-Eschenwälder (*Pruno-Fraxinetum*) oder in tiefen Bereichen von Grauweidengebüschen (*Salicetum cinereae*) abgelöst werden.

Diese sehr stark vom Grundwasser abhängigen Wälder sind mit den Röhricht- und Seggenrieden eng verzahnt, gehen aber auf höheren Standorten sehr schnell in Eichen-Hainbuchenwälder oder Ahorn-Eschenwälder über.

Mesophile Laubwälder

Die Vegetation auf ehemaligen Standorten der Hartholzau, welche durch die Anlage von Deichen nicht mehr überflutet werden, würde sich abhängig von der Grundwasserdynamik und dem Grundwasserflurabstand zu Eichen-Hainbuchenwäldern oder Ahorn-Eschenwäldern entwickeln. Aktuell gibt es nur sehr wenige Bestände, die dieses Potenzial schon abbilden. Nur in wenigen, von Druckwasser häufig überstauten Bereichen, könnte sich die Hartholzau halten (Walentowski *et al.*, 2006).

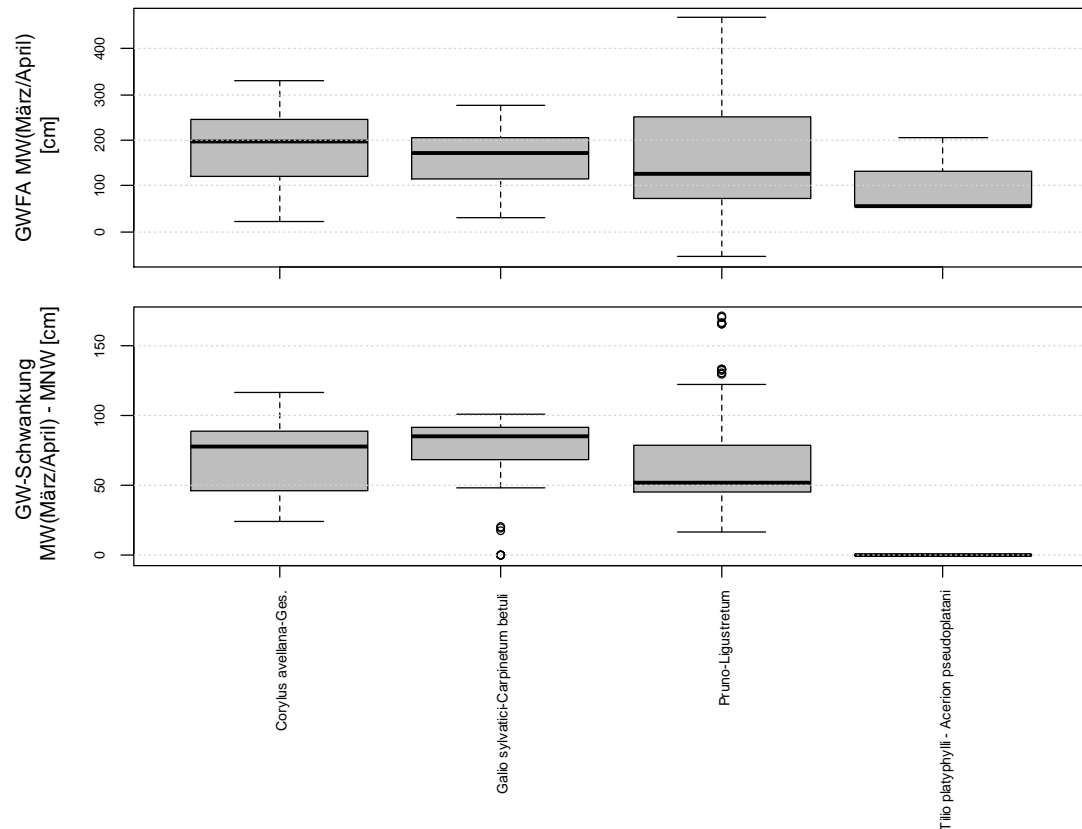


Abb. 4-31: Verteilung von mesophilen Laubwald- und Gebüschgesellschaften des Hinterlandes relativ zum Grundwasserflurabstand bei MW(März/April) und zur Grundwasserschwankung zwischen MW(März/April) und MNW.

Ahorn-Eschenwälder

Pflanzengesellschaften:

Adoxo moschatellinae-Aceretum

Fossile Gesellschaften

Tilio platyphylli - Acerion pseudoplatani

Quercu-Ulmetum

Potenzielle LRT: 9180* Schlucht- und Hangmischwälder

Kein LRT in der fossilen Aue

Standortpotenzial in Modellierung:

Überflutung bei HQ₅: keine

GW-Flurabstand bei MW(März/April): ≥ 70 cm & < 180 cm

GW-Schwankung MW(März/April) zu MNW: < 80 cm

Durch Veränderung des Grundwasserflurabstandes und der Grundwasserdynamik kann sich das Standortpotenzial verschieben.

In Beständen des Eichen-Ulmenwaldes (*Quercu-Ulmetum*), welche durch Ausdeichung nicht mehr überschwemmt werden und nur geringe Grundwasserschwankungen aufweisen, dominiert schon heute immer stärker der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) (siehe auch Walentowski *et al.*, 2006). So entwickelt sich langsam ein Giersch-Bergahorn-Eschenwald (*Adoxo-Aceretum*) welcher sonst nur in dauerfeuchten Hanglagen vorkommt. Einzelne kurze Extremhochwässer, z.B. in Poldern werden von dieser Waldgesellschaft toleriert.

Ein Sonderfall an Böschungen mit permanenter Sickerfeuchte (Abb. 4-3) ist der Spitzahorn-Sommerlindenwald (*Tilio platyphylli - Acerion pseudoplatani*), welcher weiterhin auf diese Sonderstandorte beschränkt bleiben wird.

Feuchte Eichen-Hainbuchenwälder, z.T. Hartholzaue

Pflanzengesellschaften:

Galio sylvatici-Carpinetum betuli

teilweise

Pruno-Ligustretum

Quercu-Ulmetum minoris

Stellario holosteeae-Carpinetum betuli

Potenzielle LRT: 9170 Eichen-Hainbuchenwälder

91F0 Hartholzaue (teilweise)

Standortpotenzial in Modellierung:

Überflutung bei HQ₅: keine

GW-Flurabstand bei MW(März/April): ≥ 70 cm & < 180 cm

GW-Schwankung MW(März/April) zu MNW: ≥ 80 cm

Durch Veränderung des Grundwasserflurabstandes und der Grundwasserdynamik kann sich das Standortpotenzial verschieben.

Auf Standorten mit hoher Grundwasserdynamik bleibt *Acer pseudoplatanus* geschwächt und kann nicht zur Dominanz gegenüber den Arten des Eichen-Hainbuchenwaldes wie *Tilia cordata* oder *Carpinus betulus* gelangen. Besonders die tiefliegenden Bestände der Hartholzau werden erhalten bleiben. Außerdem verläuft der floristische Übergang zwischen Hartholzau und Eichen-Hainbuchenwäldern sehr fließend. Aktuelle ist dieser auch durch forstliche Überprägung in den Datensätzen kaum quantifizierbar. Die heute verbreiteten Gebüsche wie das Pruno-Ligustretum werden ohne Nutzungseinfluss mittelfristig zu Eichen-Hainbuchenwäldern.

Frische Eichen-Hainbuchenwälder

Pflanzengesellschaften:

Galio sylvatici-Carpinetum betuli

Corylus avellana-Ges.

Pruno-Ligustretum

Stellario holostaeae-Carpinetum betuli

reliktische Gesellschaften

Querco-Ulmetum minoris

Potenzielle LRT: 9170 Eichen-Hainbuchenwälder

Standortpotenzial in Modellierung:

Überflutung bei HQ₅: keine

GW-Flurabstand bei MW(März/April): ≥ 180 cm

Durch Veränderungen im Grundwasserflurabstand kann sich das Potenzial verschieben. In den hoch gelegenen Bereichen des Donau-Hinterlandes würden sich Eichen-Hainbuchenwälder ausbilden, in denen typische Feuchtezeiger wie *Phalaris arundinacea* oder *Humulus lupulus* fehlen. Stellenweise ist sogar mit der Ausbreitung der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) zu rechnen, die allerdings durch Extremhochwasser (z.B. in Poldern bei HQ₃₀) wieder geschwächt würde. Aktuell finden sich auf potenziellen Flächen des Frischen Eichen-Hainbuchenwaldes hauptsächlich Haselgebüsche (*Corylus avellana* - Ges.) (Abb. 4-3).

4.3.3 Grünland

Nasswiese

Pflanzengesellschaften:

Angelico-Cirsietum oleracei

Caricetum distichae

Caricetum gracilis cardaminetosum pratensis

Euphorbia palustris-Ges.

Filipendula ulmaria-Ges.

Thalictrum flavum-Ges.

Valeriano officinalis-*Filipenduletum*

Potenzielle LRT: kein LRT, Biootyp GN00BK Seggen- und binsenreiche Nasswiesen

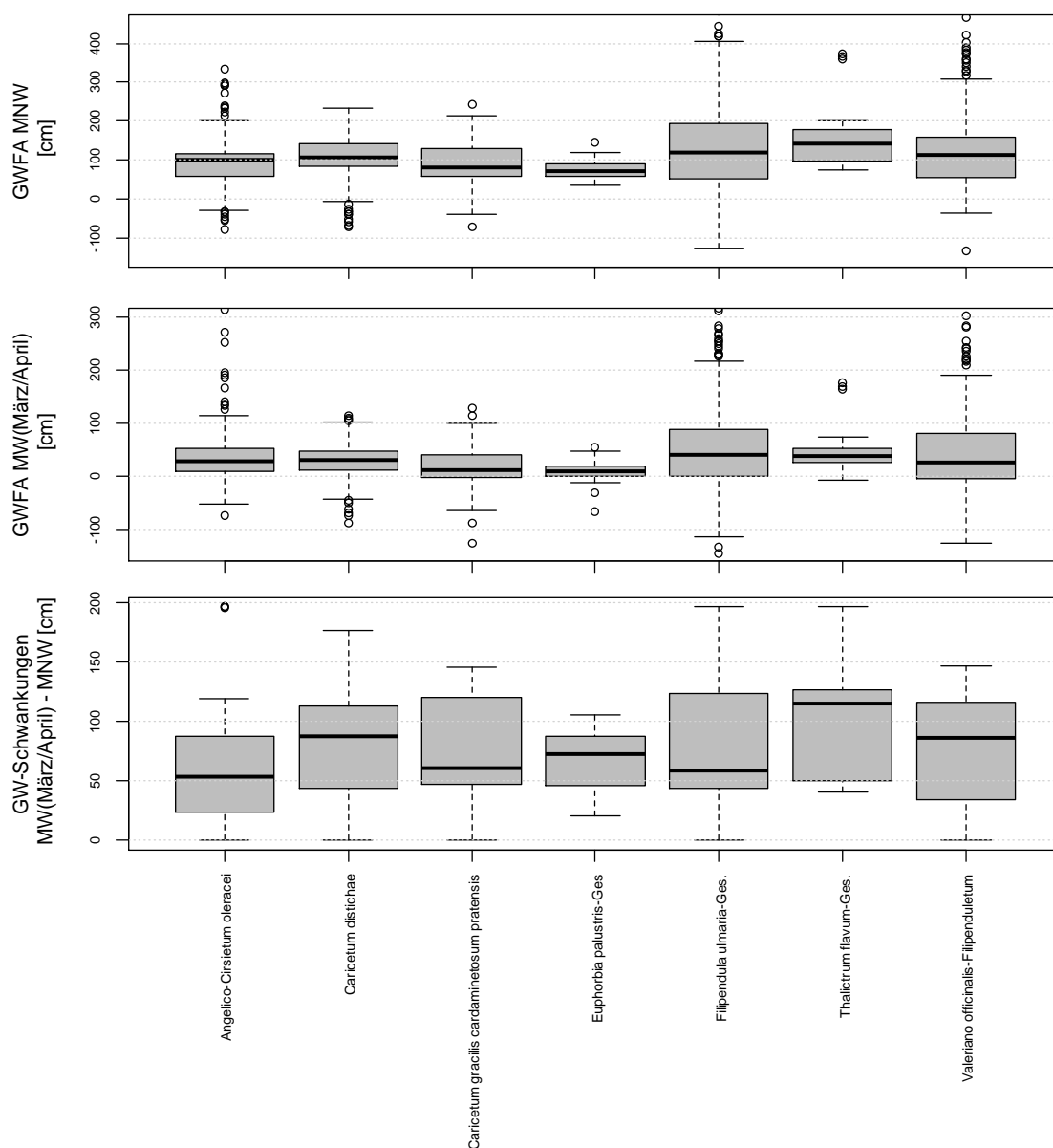


Abb. 4-32: Verteilung von Gesellschaften der Nasswiesen relativ zu GW-Flurabstand bei MNW, MW(März/April) und Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW.

Standortpotenzial in Modellierung:

- GW-Flurabstand bei MNW: ≥ 0 cm
GW-Flurabstand bei MW(März/April): ≥ -30 cm & < 50 cm
GW-Schwankung MW(März/April) – MNW: < 100 cm

Im Hinterland und in donaufernen Bereichen des Vorlandes würden Nasswiesen auf tief gelegenen Standorten vorkommen. Auf mäßig genutzten Standorten können sich entweder das *Caricetum distichae* oder das *Angelico-Cirsietum oleracei* ausbilden. Auf kaum genutzten oder gar brachliegenden Flächen dominieren hingegen Mädesüß-Hochstaudenfluren (*Filipendulion*). Besonders an Graben- und Gebüschrändern kann sich die Sumpf-Wolfsmich-Gesellschaft (*Euphorbia palustris*-Ges.) etablieren (siehe auch Ahlmer, 1989).

Flutrasen

Pflanzengesellschaften

- Poo trivialis-Rumicetum obtusifolii*
Rorippa sylvestris-Ges.
Rumici crispi-Agrostietum stoloniferae
Poo trivialis-Rumicetum obtusifolii
Ranunculo repentis-Alopecuretum geniculati
Ranunculus repens-Ges.
Festuca arundinacea-Ges.
Silaetum pratensis (teilweise)
Potenzielle LRT: keine

Standortpotenzial in Modellierung:

- Grundwasserflurabstand bei MW(März/April): ≥ -10 cm & < 130 cm
Grundwasserschwankung MW(März/April) – MNW: ≥ 100 cm

Das Potenzial berücksichtigt nur genutzte Grünlandgesellschaften und nicht die natürlichen Flutrasen. Letztere sind Teil der Pionierfluren der natürlichen Vegetation des Vorlandes. Große Teile des Vorlandes und donanahe Hinterlandbereiche mit hoher Grundwasserdynamik und Überflutung bzw. Überstauung durch Grundwasser werden von Flutrasengesellschaften besiedelt. Intensive Grünlandnutzung mit häufiger Mahd und starker Düngung fördert diese Gesellschaften, so dass sie aktuell vermutlich auch viele potenzielle Feuchtwiesenstandorte einnehmen. Auch das sehr artenarme Intensivgrasland (*Lolietum perennis*) kann auf Standorten der Flutrasen wachsen.

In länger überstauten Wiesensenken werden die ausdauernden Gräser geschwächt, so dass sich Pionierfluren mit Gemeiner Sumpfkresse (*Rorippa sylvestris*) etablieren können. Daran schließen sich im Mahdgrasland bevorzugt die *Ranunculus repens*-Ges. und die *Festuca a-*

rundinacea-Ges. an. Durch Beweidung und hohes Nährstoffangebot werden Grünlandgesellschaften mit Ampferarten (*Rumex obtusifolius*, *R. crispus*) gefördert.

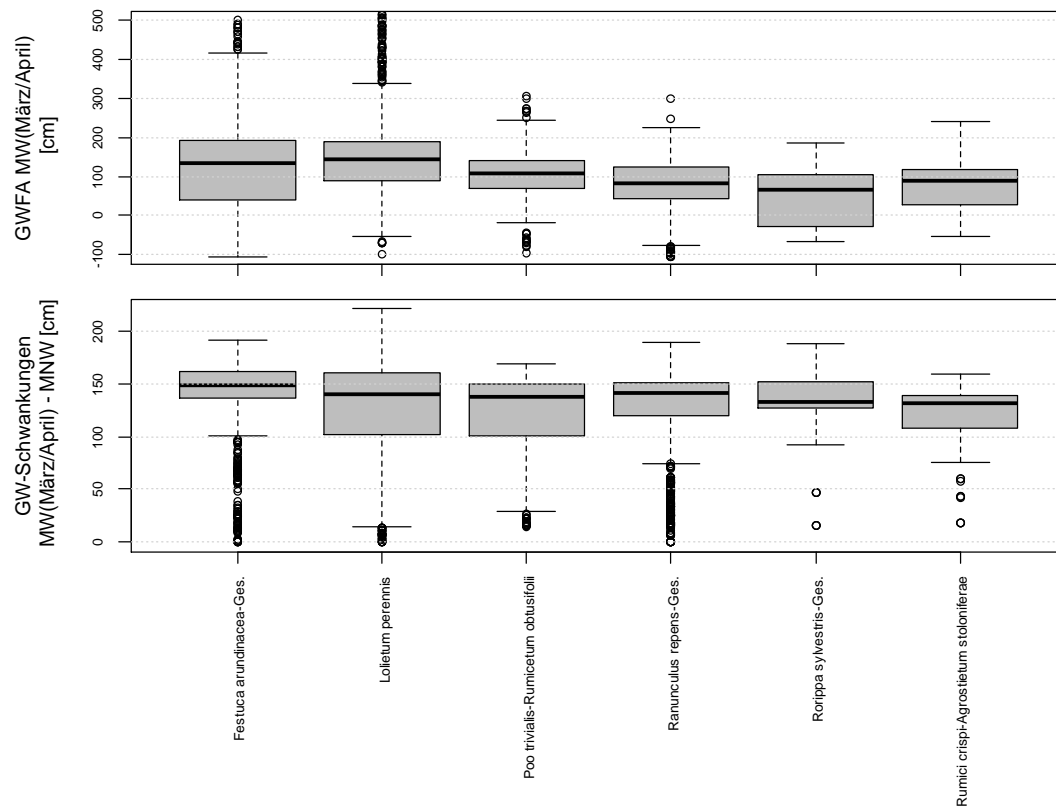


Abb. 4-33: Verteilung von Flutrasengesellschaften und Intensivgrünland relativ zu GW-Flurabstand bei MW(März/April) und Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW.

Feuchtwiesen

Die Vegetation der Feuchtwiesen unterscheidet sich deutlich zwischen Standorten mit geringer Grundwasser- und fehlender Überschwemmungsdynamik und flussnahen stark wechselfeuchten Standorten. Deshalb ist eine Aufteilung des Potenzials in dauerfeuchte und wechselfeuchte Feuchtwiesen notwendig.

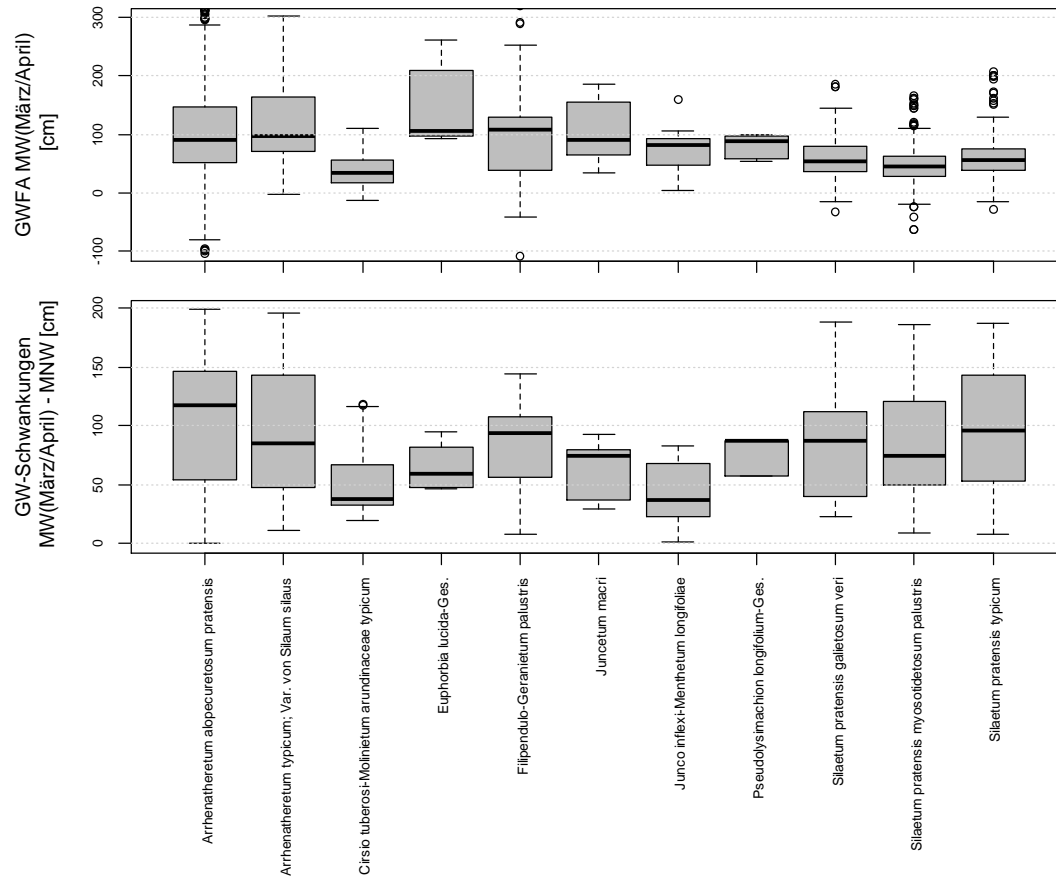


Abb. 4-34: Verteilung von Feuchtwiesengesellschaften gegenüber GW-Flurabstand bei MW(März/April) und Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW.

Feuchtwiese wechselfeucht

Pflanzengesellschaften:

Arrhenatheretum alopecuretosum pratensis

Silaetum pratensis teilweise

Potenzieller LRT: 6510 Flachland Mähwiesen

Standortpotenzial in Modellierung:

GW-Flurabstand bei MW(März/April): ≥ 130 cm & < 180 cm

GW-Schwankung MW(März/April) – MNW: ≥ 100 cm

Standorte mit hoher Grundwasserdynamik sind besonders im Vorland anzutreffen wo auch regelmäßige Überflutungen auftreten. Im Hinterland können solche Standorte kurzzeitig auch durch hohe Grundwasserstände überstaut sein. Auf diesen Standorten dominieren absolut die Fuchsschwanzwiesen (*Arrhenatheretum alopecuretosum pratensis*), die eng verzahnt mit Flutrasengesellschaften auftreten (Abb. 4-3). Bei geringerem Nährstoffangebot ist vermutlich mit einem höheren Anteil des *Silaetum pratensis* zu rechnen.

Feuchtwiese dauerfeucht

Pflanzengesellschaften:

Arrhenatheretum typicum; Var. von *Silaum silaus*
Cirsio tuberosi-Molinietum arundinaceae typicum
Euphorbia lucida-Ges.
Filipendulo-Geranium palustris

Juncetum macri
Junco inflexi-Menthetum longifoliae
Molinia caerulea-Gesellschaft
Pseudolysimachion longifolium-Ges.

Potenzieller LRT: 6510 Flachland Mähwiesen

Standortpotenzial in Modellierung:

GW-Flurabstand bei MW(März/April): $\geq 50 \text{ cm} \ \& \ < 150 \text{ cm}$

GW-Schwankung MW(März/April) – MNW: $< 100 \text{ cm}$

Besonders im Hinterland sind die Grundwasserschwankungen geringer und auch die tiefer gelegenen Standorte werden höchstens selten überstaut. Die Dynamik reicht dennoch um Pflanzengesellschaften mäßig wechselfeuchter Standorte Lebensraum zu bieten. Dazu gehören die Pfeifengraswiesen (*Molinia caerulea*), Blauweiderich-Gesellschaft (*Pseudolysimachion spicatum*-Ges.) und Silgen-Auenwiesen (*Silaetum pratensis*).

Viele dieser Gesellschaften vertragen aber nur mäßig nährstoffreiche Standorte. Durch übermäßige Düngung und auf umgebrochenen Böden würden sich die artenarmen Fuchsschwanzwiesen (*Arrhenatheretum alopecuretosum*) oder bei entsprechender Einsaat sogar nur Weidelgrasrasen (*Lolium perennis*) entwickeln.

Frischwiese wechselfeucht

Pflanzengesellschaften:

Arrhenatheretum typicum (ohne Var. von *Silaum silaus*)

Potenzieller LRT: 6510 Flachland-Mähwiese

Standortpotenzial in Modellierung:

GW-Flurabstand bei MW(März/April): $\geq 180 \text{ cm} \ \& \ < 250 \text{ cm}$

GW-Schwankung MW(März/April) – MNW: $> 100 \text{ cm}$

Der Einfluss von unterschiedlich starken Grundwasserschwankungen auf die Frischwiesen konnte mit den vorhandenen Daten nicht abgebildet werden. Um dennoch die Auendynamik darzustellen, wurden die Frischwiesen analog zu den Feuchtwiesen unterteilt. Gerade auf Standorten mit hoher Grundwasserdynamik kann es zu kurzen Feuchteperioden kommen, was z.B. Auswirkungen auf Wiesenbrüter haben kann.

Die Frischwiesen umfassen die Typischen Glatthaferwiesen (*Arrhenatheretum typicum*). Dabei sind die Übergänge zu den etwas feuchteren Fuchsschwanzwiesen (*Arrhenatheretum alopecuretosum*) fließend. Auch die Variante der Glatthaferwiesen mit Wiesen-Silge (*Silaum silaus*) ist eher den Feuchtwiesen zuzuordnen.

Diese recht grundwasserfernen Standorte werden bevorzugt als Ackerflächen genutzt. Diese würden bei Nutzungsänderung vermutlich über queckenreiche Bestände (*Elymus repens*-Ges.) zu Glatthaferwiesen werden.

Frischwiese undynamisch

Pflanzengesellschaften:

Arrhenatheretum typicum

Potenzieller LRT: 6510 Flachland-Mähwiese

Standortpotenzial in Modellierung:

GW-Flurabstand bei MW(März/April): $\geq 150 \text{ cm} \ \& \ < 250 \text{ cm}$

GW-Schwankung MW(März/April) – MNW: $< 100 \text{ cm}$

Auch auf diesen Standorten ist bei extensiver Wiesenutzung mit der Ausbildung von typischen Glatthaferwiesen zu rechnen.

Halbtrockenrasen

Pflanzengesellschaften:

Arrhenatheretum brometosum erecti

Mesobrometum

Cirsio tuberosi-Molinietum arundinaceae brometosum erecti

Potenzielle LRT: 6510 Flachland Mähwiese

6210 Naturnahe Kalk-Trockenrasen

Standortpotenzial in Modellierung:

GW-Flurabstand bei MW(März/April): ≥ 250 cm

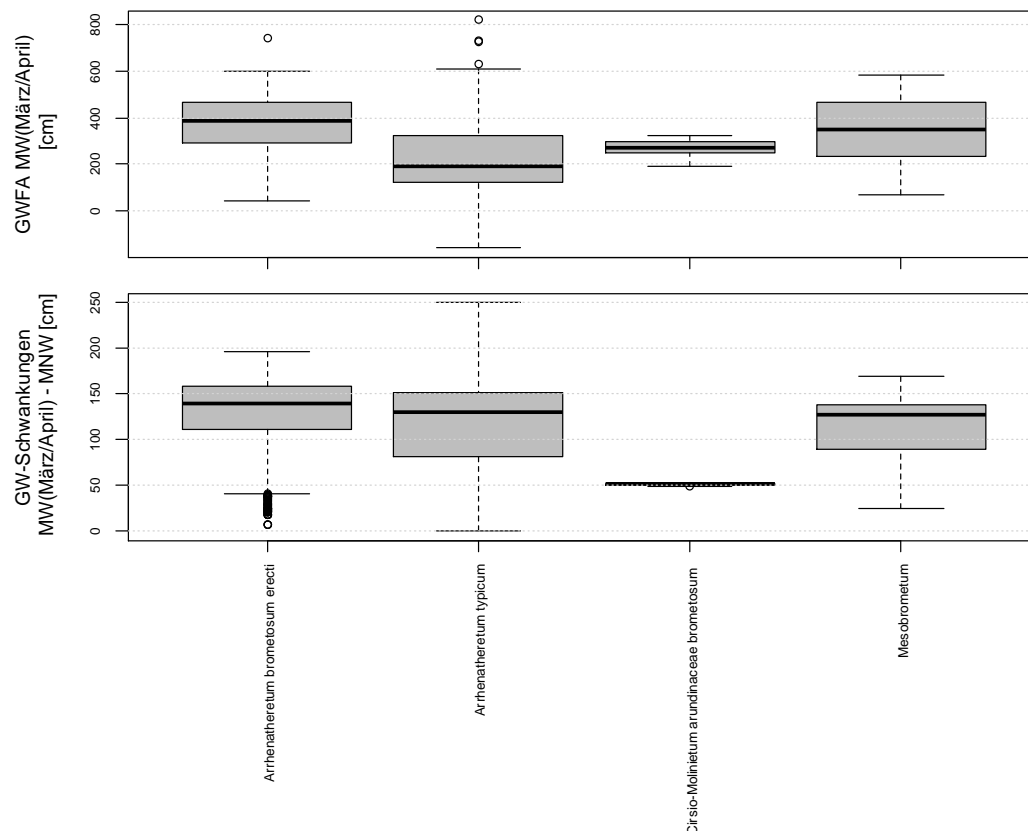


Abb. 4-35: Verteilung von Gesellschaften der Frischwiesen und Halbtrockenrasen gegenüber GW-Flurabstand bei MW(März/April) und Grundwasserschwankungen zwischen MW(März/April) und MNW (unten)

Das Potenzial umfasst nicht nur die reinen Trespenrasen (*Mesobrometum*) sondern auch den trockenen Flügel der Glatthaferwiesen mit *Bromus erectus* und ebenso den trockenen Flügel der Pfeifengraswiesen. Halbtrockenrasen können sich im relativ regenreichen Dungau nur auf grundwasserfernen und schnell austrocknenden Standorten wie Deichkronen und Brennen entwickeln. Da die Rate der Bodenaustrocknung nicht flächig dargestellt und damit in den Modellierungen berücksichtigt werden kann, sind auch einige flache Bereiche im Hinterland mit dem Potenzial für Halbtrockenrasen gekennzeichnet. Diese sind bei etwaigen Planungen mit Vorsicht zu betrachten, da sie vermutlich nur das Potenzial für Frischwiesen aufweisen.

4.4 Kartographische Darstellung für Ist-Zustand und Varianten

Die potenziellen Standorte der Vegetationstypen wurden durch Umsetzung der Regeltabellen mit den jeweiligen Standortparametern für den Ist-Zustand und die beiden Varianten dargestellt. Die Karten der potenziell natürlichen Vegetation befinden sich für den Ist-Zustand in Anlage 2.1 (VU I.11.1 & 2), für Variante A in Anlage 2.2 (VU II.12.1 & 2) und für Variante C_{2,80} in Anlage 2.3 (VU III.14.1 & 2). Dabei wurde das Standortpotenzial für alle Flächen im Untersuchungsgebiet, also auch Äcker, Grünland, Wege etc. dargestellt, um unter anderem solche Flächen für Kompensationsmaßnahmen auszuwählen.

Beim Grünland wird das Potenzial nur auf bereits heute von Grünland oder Acker bedeckten Flächen dargestellt, da nicht davon ausgegangen wird, dass naturnahe Vegetation gerodet wird, um neue Grünlandflächen zu schaffen. Die Karte für das Standortpotenzial für Grünland im Ist-Zustand befindet sich in Anlage 2.6 (VU I.11.3 & 4), für Variante A in Anlage 2.7 (VU II.12.5 & 6) und für Variante C_{2,80} in Anlage 2.9 (VU III.14.5 & 6).

Die jeweiligen Karten für die Varianten können direkt von der Umweltplanung im landschaftspflegerischen Begleitplan zur Suche nach möglichen Kompensationsflächen verwendet werden.

4.5 Verifizierung mit Kartierung

Die Verifizierung kann nur für modellierte Vegetationstypen durchgeführt werden, die auch in der entsprechenden Differenzierung kartiert wurden. Dafür wurden die kartierten Pflanzengesellschaften den jeweiligen Vegetationstypen, wie im Kapitel 4.3 für jeden Typ aufgeführt, zugeordnet. Die Güte der Übereinstimmung wird in folgenden drei Kategorien zusammengefasst.

- | | |
|------------------|--|
| „richtig“ | Kartierung und Modellierung stimmen überein |
| „noch plausibel“ | geringe Unterschiede zwischen Kartierung und Modellierung die auf mögliche Überschneidungen der Vegetationstypen (z.B. Wasserpflanzen können auch im Bereich der Pionierfluren auftreten) zurückzuführen sind. |
| „unplausibel“ | Modellierung und Kartierung stimmen nicht überein. |

Bei letzterem Fall sind entweder die Eingangsdaten der Modellierung fehlerhaft, die Regeltabellen ungenau oder die Abgrenzung der kartierten Pflanzengesellschaften z.B. an Gewässern nicht exakt, so dass rein kartographisch der Rand eines Eichenwaldes in einem Teich steht.

Naturnahe Vegetation im Vorland

Im Vorland stimmen Kartierung und Modellierung auf 58 % der Fläche überein (Tab. 4-16). Auf weiteren 37 % liefert die Verifizierung noch plausible Ergebnisse, und nur auf 5 % der Flächen kommt es zu unplausiblen Ergebnissen. Besonders gut wird die Hartholzaue mit 87 % richtig modelliert, gefolgt von den Wasserpflanzengesellschaften (61 %) und Pionierfluren (56 %).

Ca. die Hälfte der kartierten Weichholzaunen befinden sich laut Modellierung im Potenzial der Hartholzaue. Unter Berücksichtigung der weiteren Sukzession kann diese Zuordnung als noch plausibel eingeschätzt werden. Problematisch sind die Röhrichte und Riede mit ihrer breiten Standortamplitude, die nur auf 30 % der Fläche eindeutig abgebildet werden. Hier wird deutlich, dass diese als Ersatzgesellschaften auch auf anderen Standorten vertreten sein können.

Tab. 4-16: Ergebnisse der Verifizierung der Modellierung potenziell naturnaher Vegetation des Vorlandes. Die Zahlen geben an, wie viel Prozent eines kartierten Vegetationstyps durch das modellierte Standortpotenzial abgebildet werden. Fettdruck: „richtig“, Normaldruck: „noch plausibel“, Kursivdruck: „unplausibel“.

Modelliertes Standortpotenzial	Kartierter Vegetationstyp [%]					
	Wasserpflanzen	Pionierfluren	Röhrichte und Riede	Weichholzaue	Weichholzaue dauerfeucht	Hartholzaue
Offene Wasserfläche	3					
Wasserpflanzen	37	2	1			
Pionierfluren	24	56	2	2		
Untere Weichholzaue	13	33	27	14	3	1
Röhrichte und Riede	9	1	3	2	11	1
Obere Weichholzaue	3	4	33	23	6	2
Weichholzaue dauerfeucht	<i>10</i>	<i>1</i>	13	11	29	9
Hartholzaue	<i>1</i>	3	21	48	51	87
Summe	100	100	100	100	100	100

Naturnahe Vegetation im Hinterland

Im Hinterland stimmen 63 % der Kartierung mit dem modellierten Standortpotenzial überein (Tab. 4-17). Weitere 32 % können als noch plausibel eingestuft werden. Nur 5 % aller Flächen zeigen eine unplausible Verschneidung zwischen Kartierung und Modellierung.

Die kartierten mesophilen Laubwälder und Gebüsch (z.B. Quercu-Ulmetum) wurden zusammengefasst. 83 % dieser Flächen befinden sich im Potenzial für Eichen-Hainbuchenwälder, bzw. Ahornwälder, in die sie sich im Laufe der Zeit entwickeln würden. Die Sumpfwälder werden auf 68 % der kartierten Fläche auch dem Potenzial für Sumpfwälder zugeordnet. Hingegen streuen die kartierten Wasserpflanzengesellschaften oft in das Potenzial für Röhrichte und Sumpfwälder hinein, in denen sie aber mosaikartig durchaus Vorkommen können (z.B. Hottonietum palustris im Salicetum cinereae). Wie im Vorland, kommen die Röhrichte und Riede auch im Hinterland in fast allen Standorttypen vor.

Tab. 4-17: Ergebnisse der Verifizierung der Modellierung der potenziell natürlichen Vegetation des Hinterlandes. Die Zahlen geben an, wie viel Prozent eines kartierten Vegetationstyps durch das modellierte Standortpotenzial abgebildet werden. Fettdruck: „richtig“, Normaldruck: „noch plausibel“, Kursivdruck: „unplausibel“.

Modelliertes Standortpotenzial	Kartierter Vegetationstyp [%]			
	Wasserpflanzen	Röhrichte und Riede	Sumpfwälder	Mesophile Laubwälder
Offene Wasserfläche				
Wasserpflanzen	38	10	3	1
Röhrichte und Riede	32	18	9	1
Sumpfwälder	25	61	68	16
Ahorn-Eschenwälder	2	6	11	37
Feuchter Eichen-Hainbuchenwald	1	3	4	15
Frischer Eichen-Hainbuchenwald	1	2	4	31
Summe	100	100	100	100

Grünland

Bei der Grünlandvegetation stimmt auf 42 % der Gesamtfläche die kartierte Vegetation mit dem Standortpotenzial voll überein. Auf weiteren 49 % der Fläche gibt es nur leichte Abweichungen, die vermutlich aus unterschiedlicher Nutzungsintensität resultieren. Nur auf 8 % der Flächen stimmt das Modell nicht mit der Kartierung überein. Auch hier ist zum Teil mit Unschärfen in der Kartierung zu rechnen, da besonders im Grünland kleinflächig eingestreute Gesellschaften je nach Aufwuchs nur sehr schwer im Gelände abzugrenzen sind.

Die Zuordnung der einzelnen Typen liefert ein differenziertes Bild. So werden 81 % der Halbtrockenrasen richtig durch die Modellierung abgebildet. Auch die Nasswiesen und Flutrasen werden mit je 50 % richtigen Zuordnungen abgebildet. Die Frischwiesen (*Arrhenateretum typicum*) werden nur auf einem knappen Viertel der Fläche richtig modelliert und streuen ansonsten bis in die Feuchtwiesen, Flutrasen und Halbtrockenrasen hinein. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den Feuchtwiesen. Diese Abweichungen sind vermutlich Unterschieden in der Nutzung und Problemen bei der großflächigen Kartierung zuzuschreiben.

Tab. 4-18: Ergebnisse der Verifizierung der Modellierung des Standortpotenzials für Grünlandtypen. Die Zahlen geben an, wie viel Prozent eines kartierten Vegetationstyps durch das modellierte Standortpotenzial abgebildet werden. Fettdruck: „richtig“, Normaldruck: „noch plausibel“, Kursivdruck: „unplausibel“.

Modelliertes Standortpotenzial	Kartierter Vegetationstyp [%]				
	Nasswiese	Feuchtwiese	Frischwiese	Flutrasen	Halbtrocken- rasen
Kein Grünland	13	1		1	
Nasswiese	51	9	3	5	
Feuchtwiese dauerfeucht	16	24	19	8	3
Flutrasen	14	32	11	50	4
Feuchtwiese wechselfeucht	1	19	17	27	3
Frischwiesen	2	11	22	6	8
Halbtrockenrasen	3	3	28	3	81
Summe	100	100	100	100	100

4.6 Bilanzierung ausbaubedingter indirekter Veränderungen

In die Bilanzierungen fließen nur Flächen ein, die indirekt durch die Baumaßnahmen beeinträchtigt werden. Alle direkt beeinträchtigten Flächen wie z.B. Baustraßen, Trasse für den Schleusenkanal und neue Buhnen werden hier nicht berücksichtigt, da diese Eingriffe direkt aus der technischen Planung abgelesen werden können. Trotzdem lässt sich das Standortpotenzial solcher Flächen für die Varianten auch aus den entsprechenden Ergebniskarten ablesen.

In der Bilanzierung der Potenziale für naturnahe Vegetation werden nur Flächen berücksichtigt, auf denen im IST-Zustand entweder bereits naturnahe Vegetation wie z.B. Wälder, Röhrichte oder Hochstaudenfluren wächst, oder die offene Wasserflächen bzw. vegetationsfreie Uferbereiche aufweisen. Neben den Veränderungen im Vor- und Hinterland werden die Veränderungen durch die Deich-Rückverlegungen extra dargestellt. Die Karten mit Veränderungen bei Variante A zeigt Anlage 2.4 (VU II.12.3 & 14), Veränderungen bei Variante C_{2,80} zeigt Anlage 2.5 (VU III.14.3 & 4).

Für die Bilanzierung von Veränderungen im Grünland wird nur die aktuell von Grünland bedeckte Fläche zugrunde gelegt. Dabei zeigt Anlage 2.9 (VU II.12.7 & 8) die Karte mit Veränderungen des Standortpotenzials für Grünland bei Variante A und Anlage 2.10 (VU III.14.7 & 8) die Veränderungen bei Variante C_{2,80}.

Naturnahe Vegetation im Vorland

Das Vorland wird durch die beiden Varianten unterschiedlich stark verändert. Bei Variante A verändern sich Standortparameter wie Grundwasserflurabstand, Grundwasser-Schwankungen und Fließgeschwindigkeit auf ca. 230 ha um mehr als 20 cm bzw. 20 cm/s. Innerhalb dieser Fläche kommt es aber nur auf 46 ha zu einer Veränderung des Standortpotenzials. Bei Variante C_{2,80} verändern sich die Standortparameter auf über 770 ha, wovon auf 124 ha sich auch das Standortpotenzial für die natürliche Vegetation verändert.

Die Verschiebungen sind detailliert in Tab. 4-19 dargestellt. Die flächenmäßig bedeutendsten Veränderungen betreffen die Potenziale für Wasserpflanzen und Pionierfluren. Durch den Flussausbau entstehen auf ursprünglich offenen Wasserflächen bei A ca. 38 ha strömungsberuhigte Bereiche in denen möglicherweise mit der Etablierung von Wasserpflanzen zu rechnen ist. Bei Variante C_{2,80} sind es noch 33 ha. Bei Variante C_{2,80} gehen allerdings 36 ha Wechselwasserflächen in Richtung Wasserpflanzen und offene Wasserflächen verloren.

Auf die Waldstandorte wirkt sich Variante A nur auf wenige Standorte im Bereich der unteren Weichholzaue aus, die sich in die Wechselwasserzone verschieben. Bei Variante C_{2,80} wandern mehr als 11 ha Waldstandorte in den Bereich für Wechselwasser, Wasserpflanzen oder werden sogar offene Wasserfläche. Aus der oberen Weichholzaue gibt es Verschiebungen in die untere Weichholzaue (2,7 ha) in die Röhrichte (1,5 ha) und in die dauerfeuchte Weichholzaue (1 ha). Fast 10 ha Standorte mit Potenzial für Hartholzauwälder wandern in den Bereich der Weichholzaue. Weitere 1,1 ha in die Röhrichtzone.

Tab. 4-19: Veränderungen von Standortpotenzialen des IST-Zustandes (waagrecht) für die natürliche Vegetation im Vorland durch die Variante A (Werte oben) und Variante C_{2,80} (Werte unten) (senkrecht) in ha auf heute schon von naturnaher Vegetation bewachsenen Standorten bzw. Wasserflächen und Ufern. Veränderungen kleiner 100 m² werden nicht dargestellt. Lesebeispiel: Aus dem heutigen Potenzial für Pionierfluren wandern bei Variante A 0,74 ha in das Potenzial für Wasserpflanzen; bei Variante C sind es 17,85 ha.

Angaben in ha	IST-Zustand 2012							
	Offene Wasserfläche	Wasserpflanzen	Pionierfluren	Untere Weichholzaue	Röhrichte und Riede	Obere Weichholzaue	Weichholzaue dauerfeucht	Hartholzaue
Variante A	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Variante C_{2,80}	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Offene Wasserfläche		3,41 22,32	1,71 18,89	0,01 2,90		- 0,41		- 0,08
Wasserpflanzen	38,26 33,28		0,74 17,85	0,01 2,49		- 1,52		- 0,60
Pionierfluren	0,18 0,92	0,03 0,06		0,74 3,90		- 0,03		0,01
Untere Weichholzaue			0,08 0,09		0,08 0,01	0,35 2,66	0,01	0,01
Röhrichte und Riede				- 0,53		- 1,53	- 0,01	- 1,12
Obere Weichholzaue				- 0,15			0,01	0,38 4,26
Weichholzaue dauerfeucht				- 0,05		- 0,97		- 5,26
Hartholzaue						- 1,75		
Gesamt	38,44 34,21	3,45 22,39	2,53 36,83	0,77 9,96	0,08 0,07	0,36 8,86	0,02 0,02	0,40 11,33

Naturnahe Vegetation im Hinterland

Variante A hat auf die Standortpotenziale im Hinterland vernachlässigbare Auswirkungen (Tab. 4-17). Nur auf 0,35 ha ändern sich Grundwasserflurabstand oder Grundwasserschwankungen um mehr als 20 cm. Davon verschiebt sich das Standortpotenzial auf 0,04 ha zwischen Eichen-Hainbuchenwäldern und Ahorn-Eschenwäldern.

Bei Variante C_{2,80} gibt es signifikante Veränderungen im Grundwasserflurabstand und den GW-Schwankungen auf fast 140 ha mit heute schon naturnah bewachsenen Standorten. Davon kommt es auf über 27 ha zu Verschiebungen des Standortpotenzials.

Die stellenweise Vernässung des Hinterlandes durch Variante C_{2,80} äußert sich in der Verschiebung von 5 ha Potenzialflächen der Sumpfwälder zu Röhrichten und Rieden als auch von 3,1 ha Feuchten Eichen-Hainbuchenwäldern zu Sumpfwäldern. Die eingeschränkte Dy-

namik äußert sich in der Verschiebung von über 14 ha Eichen-Hainbuchenwäldern zu Ahorn-Eschenwäldern.

Tab: 4-20: Veränderungen von Standortpotenzialen des Ist-Zustandes (waagrecht) für die natürliche Vegetation im Hinterland durch die Variante A (Werte oben) und Variante C_{2,80} (Werte unten) (senkrecht) in ha auf heute schon von naturnaher Vegetation bewachsenen Standorten. Veränderungen kleiner 100 m² werden nicht dargestellt.

Angaben in ha	IST-Zustand 2012					
	Wasserpflanzen	Röhrichte und Riede	Sumpfwälder	Ahorn-Eschenwälder	Feuchte Eichen-Hainbuchenwälder	Frische Eichen-Hainbuchenwälder
Variante A	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Variante C_{2,80}						
Wasserpflanzen		1,68	0,55	-		
Röhrichte und Riede	0,03		5,01	-		
Sumpfwälder	0,06	0,35		0,20	3,08	
Ahorn-Eschenwälder			0,78		12,80	0,01
Feuchte Eichen-Hainbuchenwälder		-	0,04	0,11		0,02
Frische Eichen-Hainbuchenwälder		-		0,02	0,45	
Gesamt	0,09	2,03	6,38	0,33	16,33	0,04
						1,96

Rückdeichungen

Durch die Deich-Rückverlegungen verändert sich das Standortpotenzial bei beiden Varianten für fast die gesamte im Rückdeichungsgebiet liegende naturnahe Vegetation von ca. 29 ha. Lediglich einige Standorte für Wasserpflanzengesellschaften behalten ihr Potenzial (Tab. 4-21). Auf weiteren 3,3 ha mit Potenzial für Wasserpflanzen kann bei Variante A mit Pionierfluren gerechnet werden, bei Variante C_{2,80} nur auf 0,8 ha.

Ca. 3,5 ha der Röhrichte und Seggenriede verschieben sich in das Potenzial der unteren Weichholzaue bei beiden Varianten. Aus dem Potenzial der Sumpfwälder verschieben sich bei A 8,8 ha in den Bereich der Weichholzaue und bei C_{2,80} entsprechend 8,1 ha. Bei beiden Varianten gelangen ca. 12 ha auf Standorten der Eichen-Hainbuchenwälder, bzw. fossilen Hartholzaue wieder in den Bereich der rezenten Hartholzaue.

Tab. 4-21: Veränderungen von Standortpotenzialen des Ist-Zustandes (waagrecht) für die natürliche Vegetation durch die Rückdeichungen bei Variante A (Werte oben) und Variante C_{2,80} (Werte unten) (senkrecht) in ha auf heute schon von naturnaher Vegetation bewachsenen Standorten. Veränderungen kleiner 100 m² werden nicht dargestellt.

Angaben in ha	IST-Zustand 2012 Hinterland					
	Wasserpflanzen	Röhrichte und Riede	Sumpfwälder	Ahorn-Eschenwälder	Feuchte Eichen-Hainbuchenwälder	Trockene Eichen-Hainbuchenwälder
Variante A Vorland	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Variante C_{2,80} Vorland						
Wasserpflanzen		- 0,13	- 0,07			
Röhrichte und Riede			0,04 0,30			
Pionierfluren	3,29 0,80	0,29 0,01	- 0,02			
Untere Weichholzaue	0,44 1,37	3,42 3,52	3,87 2,71			
Obere Weichholzaue		- 0,04	4,94 5,40	- 0,01	1,34 0,43	
Weichholzaue dauerfeucht			0,03 0,23		- 0,39	
Hartholzaue			- 0,08	0,06 0,03	9,57 9,88	2,01 1,96
<i>Gesamt</i>	<i>3,74</i> <i>2,17</i>	<i>3,71</i> <i>3,70</i>	<i>8,88</i> <i>8,83</i>	<i>0,06</i> <i>0,04</i>	<i>10,92</i> <i>10,70</i>	<i>2,01</i> <i>1,96</i>

Grünland

Die beiden Varianten wirken sich extrem unterschiedlich auf das Grünland aus. Bei Variante A gibt es überhaupt nur auf 3 ha Änderungen im Grundwasserregime, die sich voraussichtlich nur auf 1 ha in der Vegetation niederschlagen werden. Der größte Anteil davon sind 0,3 ha Standorte wechselfeuchter Feuchtwiesen, die durch leichten Anstieg des Grundwassers zu Standorten der Flutrasen werden (Tab. 4-22).

Bei Variante C_{2,80} gibt es signifikante Änderungen im Grundwasser auf 240 ha, von denen 118 ha auch ihr Standortpotenzial verändern werden. Es werden 3,5 ha heutige Grünlandstandorte so stark vernässt, dass diese für Grünland nicht mehr geeignet sein werden. Über 35 ha Frisch- und Feuchtwiesenstandorte werden zu Standorten der Nasswiesen.

Tab. 4-22: Veränderungen von Standortpotenzialen des Ist-Zustandes (waagrecht) im Grünland durch Variante A (Werte oben) und Variante C_{2,80} (Werte unten) (senkrecht) in ha auf heutigen Grünlandflächen. Veränderungen kleiner 100 m² werden nicht dargestellt.

Angaben in ha	IST Zustand 2012							
	Kein Grünland	Nasswiese	Feuchtwiese dauerfeucht	Frischwiese undynamisch	Flutrasen	Feuchtwiese wechselfeucht	Frischwiese dynamisch	Halbtrockenrasen
Variante A	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Variante C_{2,80}	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Kein Grünland		- 0,47			- 2,97	- 0,04		
Nasswiese	- 0,29		- 2,67		- 28,26	- 5,55	- 0,23	
Feuchtwiese dauerfeucht		- 0,21		0,01 0,27	- 29,20	- 13,16	- 3,89	- 0,02
Frischwiese undynamisch			0,03 0,64		- 0,19	- 3,52	- 6,97	0,04 1,08
Flutrasen	0,02	- 0,18	0,02 0,11	0,01		0,31 8,69	0,02 0,02	
Feuchtwiese wechselfeucht				- 0,06	- 0,54		0,32 7,44	- 0,02
Frischwiese dynamisch				- 0,02		0,06 0,28		0,13 0,60
Halbtrockenrasen				0,01 0,02		0,01 0,02	0,03 0,07	
Gesamt	0,02 0,29	0,00 0,87	0,05 3,43	0,03 0,37	0,00 61,15	0,38 31,25	0,37 18,63	0,17 1,73

Die Verringerung der Grundwasserdynamik führt zur Potenzialverschiebung von 3,9 ha dynamischen Frischwiesen, 13,2 ha wechselfeuchten Feuchtwiesen und 28,3 ha Flutrasen zu Nasswiesen. Von den dynamischen zu den undynamischen Frischwiesen verschieben sich 7 ha und wechselfeuchte Feuchtwiesen verschieben sich auf 8,7 ha zu Flutrasen. Ein Grundwasseranstieg wird durch 7,5 ha Potenzialverschiebungen von Frischwiesen zu wechselfeuchten Feuchtwiesen dokumentiert.

5 Interpretation der Ergebnisse

5.1 Grenzen der Modellierung

5.1.1 Standortfaktoren

Damit sich eine ganz bestimmte Pflanzengesellschaft auf einem Standort ausbildet, muss eine Vielzahl von Faktoren zusammenwirken. In der hier durchgeführten Modellierung werden wichtige abiotische Standortparameter wie Betroffenheit durch Überflutung, Grundwasserflurabstand, Grundwasserschwankungen und Fließgeschwindigkeiten betrachtet. Die Auswirkungen von Bodenparametern und Wasserspiegellagen wurden untersucht und aufgrund der durchgeführten statistischen Analysen als weniger wirksam erkannt. Viele weitere Parameter sind zwar durchaus für die Vegetation von Bedeutung stehen jedoch für die angewendete Modellierung nicht als flächige Information zur Verfügung.

Die abgeleiteten Regeltabellen der potenziell naturnahen Vegetation geben Standortpotenziale für Vegetationstypen an, die sich unter natürlichen Bedingungen durch Ablauf von Sukzession vermutlich einstellen würden. Die genaue Artenzusammensetzung lässt sich so nicht vorhersagen, da nicht alle Faktoren bekannt sind und auch Zufallsereignisse wie Windwurf, Extremhochwasser, Brände, menschliche Aktivitäten etc. gravierende, aber nicht direkt zu prognostizierende Auswirkungen haben. Um für kleinflächige Fragestellungen über die in der Studie verwendeten Standortpotenziale hinaus die Entwicklung der Vegetation zu prognostizieren, sollten im Detail weitere folgende Parameter berücksichtigt werden:

Boden

Unter den Bodeneigenschaften können beispielsweise die Säure-Basen-Stufe bzw. der pH-Wert, und die Verfügbarkeit von Nährstoffen (z.B. Nitrat, Phosphat, Kalium, Magnesium) die Vegetationszusammensetzung bestimmen. Diese Parameter lassen sich zwar für den Ist-Zustand durch Bodenanalysen punktuell erfassen, jedoch ist die flächige Interpolation in der nötigen Auflösung von 1x1 m nicht zufriedenstellend durchführbar. Außerdem ist die Prognose von stofflichen Veränderungen, pH-Werten und Nährstoffverfügbarkeit für die Varianten in der nötigen Auflösung nicht umsetzbar.

Dennoch sind solche Parameter in gewissen Grenzen auch mit Grundwasserflurabständen oder dem Auftreten von Überflutungen korreliert und werden so indirekt durch die Modellierung abgedeckt.

Landnutzung

Von grundlegender Bedeutung ist auch die Nutzung, welche im gesamten Untersuchungsgebiet ihre Spuren in der Vegetation hinterlassen hat. Ganz entscheidend für die Vegetationsausbildung ist die Frage ob Ackerbau, Grünlandnutzung, Forstwirtschaft oder Nutzungsverzicht stattfindet und ob in der Vergangenheit solche Nutzungen mal stattfanden. Im zentralen Teil des Naturschutzgebietes „Staatshaufen“ zeigt beispielsweise der hohe Anteil an Wildobstgehölzen noch die ehemalige Weidenutzung an, wie sie in mitteleuropäischen Auen kaum noch durchgeführt wird (siehe auch Peper, 2008).

Da das zukünftige Nutzungsregime im Untersuchungsgebiet vermutlich nur gering von einem möglichen Donauausbau beeinflusst wird und ständigen meist unvorhersehbaren Änderungen unterliegt (z.B. verändertes Mahdverhalten im Grünland zur Biomassegewinnung für Biogasanlagen), ist eine Darstellung in der Modellierung schwierig. Die Trennung in potenzielle Grünlandvegetation und naturnahe Vegetation versucht dem Rechnung zu tragen. Werden die Modellierungsergebnisse für Planungen verwendet, muss die Frage der Nutzung auf jeden Fall zusätzlich geklärt werden.

Vegetation

Einige biotische Faktoren sind letztendlich für das Vorkommen eines Vegetationstyps mitentscheidend. Dazu zählen inner- und zwischenartliche Konkurrenz, Vorhandensein von Diasporen, Schädlingsbefall (z.B. Ulmen- und Eschensterben, Raupenfraß) und Verbiss durch Wild. Diese können allenfalls indirekt berücksichtigt werden, da sie flächig schwer zu ermitteln sind.

Das kann zur Folge haben, dass die Modelle einen geographischen Raum als geeignet für die Besiedlung einer bestimmten Pflanzengemeinschaft identifizieren können, diese sich in der Realität aber nur ansatzweise einstellt, da z.B. das Diasporenpotenzial im näheren Umfeld nicht vorhanden ist oder sehr konkurrenzkräftige Pflanzenarten (z.B. *Phalaris arundinacea*, *Urtica dioica*) und Neophyten (z.B. *Impatiens glandulifera*, *Solidago gigantea*) eine Besiedlung durch andere Arten verzögern.

Auch die Beschattung durch angrenzende Wälder kann entscheidend sein. Eine wenige Meter breite Senke mit dem Potenzial für Pionierfluren wird nur besiedelt, wenn ausreichend Licht vorhanden ist. Ist sie von einem dichten Hartholzwald umgeben, wird sie bei Niedrigwasser vermutlich vegetationsfrei sein.

Weiterhin bilden die Regelwerke keine Sukzessionsstadien ab, sondern nur das Standortpotenzial für einen Vegetationstyp, der meist weit am Ende einer Sukzessionsfolge steht. So kann durchaus eine Fläche als potenzieller Standort für die Hartholzaue klassifiziert werden, obwohl dort aktuell eine Hochstaudenflur wächst. Dabei können die Sukzessionsprozesse je

nach Vegetationstyp und Ausgangsbedingungen wenige Wochen bis viele Jahre dauern. Für einige Vegetationstypen müssen zur Erstbesiedelung auch bestimmte Initialzustände gegeben sein. So kann das Potenzial für die Weichholzaue nur ausgeschöpft werden, wenn Rohbodenstandorte künstlich oder natürlicherweise geschaffen werden.

5.1.2 Eingangsdaten und Modellkette

Ein Modell kann nur so gut sein wie die Eingangsdaten. Die Vegetationsmodellierung steht am Ende einer Kette von Modellen und integriert dadurch auch deren Ungenauigkeiten. In der Modellkette für den Ist-Zustand stehen das Digitale Geländemodell (DGM), die Hydraulikmodelle für die unterschiedlichen Abflüsse, die Grundwassermodelle, die modellierte Deckschichtunterkante und die Interpolation der Bodendaten wie Äquivalentleitfähigkeit und Carbonatgehalt. Für die Modellierung der Varianten wurde außerdem die technische Planung in das DGM, die Hydraulik- und Grundwassermodelle integriert.

Die abgeleiteten Regeltabellen für die potenzielle Vegetation arbeiten zwar mit scharfen Grenzen, doch sind diese auch bedingt durch die Ungenauigkeiten in der Modellkette mit ca. 20 cm Spielraum zu interpretieren. Um eine Übergengenauigkeit der Bilanzierungen von Veränderungen zu vermeiden, werden daher nur Flächen mit erwarteten Änderungen des Grundwasserflurabstandes von 20 cm berücksichtigt. Andere Studien sehen signifikante Änderungen erst bei 30 cm (Erftverband 2003). Außerdem werden aus den Ergebnissen noch alle Rasterzellen herausgefiltert, die isoliert Veränderungen anzeigen und damit eher das Rauschen in den Daten repräsentieren. Wenn sich beispielsweise in einem Hartholzauwald laut Modellierung ein einzelner Quadratmeter in Weichholzaue umwandeln würde, wird diese Veränderung heraus gefiltert, zumal diese Einzelzelle keine Aussagekraft für umweltplanerische Belange besitzt.

Die durchgeführte Verifizierung der Modelle mit der tatsächlichen Vegetation zeigt aber nur gravierende Abweichungen auf 5 % der Fläche für die naturnahe Vegetation und auf 8 % im Grünland, die zum Großteil vermutlich zum großen Teil der normalen Unschärfe der Vegetationskartierung geschuldet sind. Das Ergebnis der Vegetationsmodellierung ist somit die aktuell detaillierteste Karte der potenziell natürlichen Vegetation für die Donauaue zwischen Straubing und Vilshofen.

Sie liefert einen sehr guten vollflächigen Überblick über die Standortverhältnisse im Untersuchungsgebiet und mögliche Veränderungen durch die Varianten. Damit dient sie in den variantenunabhängigen Untersuchungen als wesentliche Grundlage, um in Kombination mit den fachplanerischen Detailkenntnissen diverse umweltplanerische Fragestellungen zu beantworten.

5.2 Grundlage für die Umweltplanung

Die Modellierung der Standortpotenziale kann eine wichtige Grundlage für den Naturschutz in der Isar- und Donauaue darstellen. So ist es denkbar, dass Teile der Ergebnisse bei der Aufstellung der Managementpläne für die beiden FFH-Gebiete berücksichtigt werden.

In erster Linie soll sie aber als Grundlage für die Umweltplanung in den Variantenunabhängigen Untersuchungen dienen. Sie spielt dabei eine Rolle für die Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU), landschaftspflegerische Begleitplanung (LBP), FFH-Verträglichkeitsuntersuchung (FFH-VU) sowie den Fachbeitrag Artenschutz. Die genaue Verwendung der Daten in diesen einzelnen Berichten ist den Kapiteln der Variantenunabhängigen Untersuchungen zu entnehmen. Im Folgenden wird lediglich skizziert, wie die Daten der Vegetationsmodellierung in die einzelnen Fachplanungen einbezogen werden können.

5.2.1 LBP - Suche nach Kompensationsflächen

Im Rahmen des landschaftspflegerischen Begleitplans werden Flächen für Kompensationsmaßnahmen gesucht, in denen bestimmte Biotopzielzustände erreicht oder das kohärente Netz der Natura-2000-Gebiete bzw. der artenschutzrechtlich erforderliche Erhaltungszustand sichergestellt werden können. Biotop- und FFH-Lebensraumtypen sind durch bestimmte Vegetationstypen charakterisiert und lassen sich deshalb mit dem hier modellierten Standortpotenzialen gut abbilden.

Wenn keine genauen Kenntnisse zu den künftigen Bedingungen an den Standorten nach der jeweiligen Variante vorliegen, kann es zur fehlerhaften Flächen- bzw. Maßnahmenauswahl kommen. Beispielsweise würde die Initiierung von Silberweidenwäldern auf dem Niveau der Hartholzaue auf Dauer nicht das erwünschte Resultat bringen.

Umso wichtiger ist ein schneller Überblick über die Standortbedingungen des Untersuchungsgebietes. Genau dieses Ziel verfolgt die hier angewandte Modellierung zur Erstellung von Karten der potenziell natürlichen Vegetation. Aus diesen lässt sich z.B. leicht ablesen, ob eine bestimmte Senke im Acker nach Umsetzung der Ausbaumaßnahmen das Potenzial für einen Weichholzauwald hat, oder sich dort vielleicht nur Röhrichte etablieren könnten. Die dabei erstellten Modellierungen ergeben einen maximalen Suchraum für den jeweils betrachteten Vegetationstyp. Im weiteren Planungsprozess ist weiter zu prüfen, ob eine Fläche für den angestrebten Ausgleich geeignet ist. Dabei sind u.a. Landnutzung, Bodenbeschaffenheit etc. zu prüfen. Je nach angestrebtem Biotopzielzustand sind dann natürlich Initialmaßnahmen notwendig, um der Sukzession den richtigen Ausgangspunkt zu geben.

Nicht nur die potenziell natürliche Vegetation, sondern auch Biotope, die sich als nutzungs- bzw. pflegebedingte Ersatzgesellschaften oder Sukzessionsstadien einstellen, wie Hochstaudenfluren, können Ziel von Ausgleichsmaßnahmen sein. In der Beschreibung der modellierten Standorttypen sind diese z.B. für die Weichholzaue aufgeführt. Für die Flächen-suche können dazu die Modellierungsergebnisse auch herangezogen werden, nur muss dann durch Pflegemaßnahmen sichergestellt werden, dass das Sukzessionsstadium dem angestrebten Biotopzielzustand entspricht.

Wenn keine geeigneten Standorte zur Verfügung stehen, können durch Geländemodellierung entsprechende Standorte geschaffen werden. Dazu sollten die Richtwerte aus den entsprechenden Regeltabellen herangezogen werden. Für die Schaffung von Pionierfluren müsste z.B. ein Acker mit dem Potenzial für Hartholzauwald auf ein Niveau zwischen Mittel- und Niedrigwasser abgetragen werden und die geschaffene Senke an den Hauptstrom angeschlossen werden.

Ein positives Beispiel für die Übereinstimmung von Modellierung und geplanter Maßnahme stellt die Schaffung von Weichholzauestandorten im Pillmoos bei Straubing durch das Wasserwirtschaftsamt Deggendorf dar. Die dort erfolgten Geländeabträge sind bereits in das DGM als Grundlage für die Modellierungen eingeflossen und die modellierten Vegetationstypen sind untere sowie obere Weichholzaue und an den tiefsten Stellen Pionierfluren. Bei einer Ortsbegehung im Juni 2012 konnten auf diesen Flächen exakt die Initialstadien für Weichholzaue und an tieferen Bereichen Schlammlingsfluren nachgewiesen werden.

Für die Suche nach geeigneten Flächen zur Etablierung von Grünland sollte die Potenzialkarte Grünland nur als Wasserstufenkarte herangezogen werden. Das heißt, dass Standortpotenzial spiegelt gut die hydrologischen Bedingungen wieder, bezieht aber weitere limitierende Faktoren nicht mit ein. Gerade im Grünland spielen als solche feine Abstufungen in der Nutzung, die Nutzungsgeschichte eines Standortes und der Nährstoffhaushalt wichtige Rollen, die mangels räumlich differenzierbarer Eingangsdaten alle nicht mit der Modellierung abgedeckt werden können.

5.2.2 FFH-VU - Interpretation von indirekten Veränderungen

Die FFH-VU muss u.a. prüfen, ob sich ein heute vorhandener FFH-Lebensraumtyp (FFH-LRT) in seinem Erhaltungszustand durch eine Baumaßnahme verschlechtert oder sogar ganz verschwindet. Direkte Flächenverluste durch Baumaßnahmen lassen sich einfach aus der technischen Planung ableiten. Für die indirekten Veränderungen der Standorte, die auch zu einer Beeinträchtigung führen können, wird in den variantenunabhängigen Untersuchungen auch auf die Ergebnisse der hier vorgestellten Vegetationsmodellierung zurückgegriffen.

In einem ersten Schritt werden alle Flächen mit prognostizierten Veränderungen des Standortpotenzials mit den kartierten Lebensraumtypen verschnitten. Daraus kann man ableiten, ob sich der aktuell kartierte LRT verändern wird. Dabei können vom Prinzip drei Fälle auftreten:

1. Das veränderte Standortpotenzial wird sich nicht auf den LRT auswirken. Ein Beispiel wäre ein Silberweidenwald (LRT 91E0*), der heute auf einem Standort der Hartholzaue als „reliktischer“ Bestand steht und in Zukunft aber wieder im Potenzial der oberen Weichholzaue stehen würde.
2. Das Standortpotenzial wird sich graduell auf den LRT auswirken. Ein Beispiel wäre ein Silberweidenwald, der heute auf dem Potenzial der unteren Weichholzaue steht und in Zukunft in das Potenzial für obere Weichholzaue rutscht. Der LRT bliebe erhalten, es würde aber zu Veränderungen in der Artenzusammensetzung und damit gradueller Beeinträchtigung kommen.
3. Das Standortpotenzial wird sich so verändern, das der LRT verschwinden wird. Beispielsweise würde ein Silberweidenwald der oberen oder unteren Weichholzaue sich künftig im Potenzial für Wasserpflanzen wiederfinden. Dann müsste mit dem Absterben des Bestandes und dem Verlust des LRT gerechnet werden. Dadurch möglicherweise neu entstehende Entwicklungspotenziale für andere LRT-Typen, z.B. LRT 3150 „Eutrophe Stillgewässer“, werden mit dem Verlust nicht gegengerechnet!

5.2.3 Fachbeitrag Artenschutz - Auswirkungen auf Arten

Im Fachbeitrag Artenschutz wird unter anderem betrachtet, ob Fortpflanzungs- und Ruhestätten geschützter Arten beeinträchtigt werden. Für diese Betrachtung können ebenfalls Ergebnisse der Vegetationsmodellierung als Hilfsmittel herangezogen werden. Prognostizierte Änderungen im Standortpotenzial können sich auf die Qualität des Lebensraumes auswirken und sogar zum Verlust von geeigneten Fortpflanzungs- und Ruhestätten führen. Dies muss für die Wuchsorte bzw. die Reviere jeder Art einzeln betrachtet werden. Folgende Beispiele illustrieren das Vorgehen:

Der streng geschützte Halsbandschnäpper (*Ficedula albicollis*) brütet an der Donau in Hartholzauenwäldern und vereinzelt auch in alten Weichholzbeständen (Schlemmer, 2011). Zuerst muss geprüft werden, ob sich bei einer Variante das Standortpotenzial für Vegetationstypen in bekannten Revieren der Art verändert. Danach muss geprüft werden, ob diese Änderungen zu einem Verlust der durch den Halsbandschnäpper benötigten Strukturen führen kann. Würde sich das Standortpotenzial des vorhandenen Hartholzauenwaldes im Revierzentrum in das Potenzial für Röhrichte und Riede verschieben, ist von einem Verlust der Fort-

pflanzungsstätte auszugehen. Gibt es in diesem Bereich jedoch lediglich Verschiebungen von Standorten der Hartholzaue zur oberen Weichholzaue, sind kaum Auswirkungen auf den Halsbandschnäpper zu erwarten.

Das Liegende Büchsenkraut (*Lindernia procumbens*) hängt vom Vorhandensein des Standortpotenzials für Pionierfluren ab. Wenn also im Ist-Zustand die Wuchsorte der Art im Bereich der Pionierfluren liegen, durch eine Variante aber in das Standortpotenzial für Wasserpflanzen wechseln, ist von einem dauerhaften Verlust des Wuchsortes auszugehen.

5.2.4 UVU - Auswirkungen auf Biotope und Arten

In der Umweltverträglichkeitsuntersuchung muss u.a. aufgezeigt werden, ob Biotoptypen (charakterisiert durch Pflanzengesellschaften) durch die Bauvorhaben beeinträchtigt werden. Dafür können die Ergebnisse der Vegetationsmodellierung genauso wie bereits für die FFH-VU geschildert verwendet werden (siehe 5.2.2).

Um außerdem indirekte Beeinträchtigungen von Tier- und Pflanzenarten oder Pflanzengesellschaften zu benennen, werden die Ergebnisse der Vegetationsmodellierung, wie am Beispiel für den Fachbeitrags Artenschutz (5.2.3) aufgezeigt, verwendet.

5.3 Potenziell naturnahe Vegetation und Bodenwasserhaushalt

Abschließend sollen die Modellergebnisse an Beispielflächen mit den sehr genauen Modellen des Bodenwasserhaushalts untermauert werden. An 24 ausgewählten Standorten wurde der Bodenwasserhaushalt eingehend durch die Firma emc GmbH untersucht und in eindimensionalen Modellierungen für den Ist-Zustand und die Variante C_{2,80} dargestellt. Die Ergebnisse mit zahlreichen Abbildungen und Tabellen sind dem Bericht der emc GmbH (2012) zu entnehmen. Für das Wachstum der Pflanzen ist dabei von Interesse, wie lange und wie oft der Wurzelraum nahezu bzw. voll wassergesättigt ist, da unter diesen Bedingungen Wurzelatmung und Nährstoffaufnahme höchstens eingeschränkt möglich sind. Typische Auenvegetation kann solche Bedingungen kurzzeitig überstehen, stirbt bei dauerhafter Vernässung aber ab und wird durch Röhrichte, Sumpfbüschle oder Sumpfwälder verdrängt.

Die 1-d-Modelle untersuchen für den Zeitraum von 1993 bis 2010 die Anzahl der Tage in denen der Boden in den Tiefenbereichen 0-30, 30-80 und 80-130 cm wassergesättigt ist, und wie viele Perioden mit Wassersättigung pro Jahr auftreten. Für die Variante C_{2,80} wurde auch dieser Zeitraum, jedoch mit den prognostizierten veränderten Randbedingungen der Variante betrachtet. Bereits längere Perioden mit annähernd Wassersättigung schränken den Lufthaushalt im effektiven Wurzelraum ein, und können schon die Vegetation beeinträchtigen. Zur Charakterisierung solcher „Nässeperioden“ wurde daher zusätzlich ausgewertet, wie häufig

die Feldkapazität des Bodens für mindestens 10 Tage unterschritten wird (Saugspannung < pF 1,8 mit mindestens teilweiser Sättigung des weiten Grobporenraumes).

Aus Sicht der Vegetationsmodellierung ist es nun interessant, auf welchen der Standorte eine Veränderung der potenziell natürlichen Vegetation zu erwarten ist, und ob sich diese prognostizierten Änderungen auch in einer Veränderung der Wassersättigung des Bodens niederschlagen.

Von den 24 untersuchten Standorten wird sich voraussichtlich das Standortpotenzial auf drei Standorten bei Variante C_{2,80} verändern. Diese Veränderungen werden mit Bezug auf den Bodenwasserhaushalt hier exemplarisch dargestellt.

Am Standort der **Bohrung KRB 569** steht momentan ein kleiner Rest der Hartholzaue, für den im Ist-Zustand auch das Potenzial für Hartholzaue modelliert wurde. Dieser befindet sich im linksseitigen Vorland der Donau bei km 2278,5 etwas oberhalb des Seebacher Luberweihers. Durch den Anstieg des Grundwassers und die Einschränkung der Grundwasserschwan- kungen bei Variante C_{2,80} würde dieser Standort in das Potenzial der dauerfeuchten Weich- holzaue wechseln, und damit erheblichen Veränderungen unterliegen.

Die deutlichsten Veränderungen im modellierten Bodenwasserhaushalt zeigt die Sättigung im Bereich zwischen 80 und 130 cm Tiefe, der von Bäumen durchwurzelteten Zone. In einem trockenen Jahr war diese Tiefe bisher 19 Tage und in einem mittleren Jahr 60 Tage vollstän- dig mit Wasser gesättigt. Durch den Ausbau würden sich diese Werte auf 125 bzw. 186 erhö- hen.

Nässeperioden traten in dieser Tiefe im Ist-Zustand in durchschnittlich der Hälfte der Zeit, in Variante C_{2,80} nahezu durchgängig auf. Insgesamt würde der Boden sogar bis in 30 cm Tiefe nur mehr schlecht durchlüftet. Damit zeichnen diese Werte deutlich die Vernässung nach, welche auch durch die prognostizierte Änderung des Standortpotenzials abgebildet wird.

Auf dem gegenüberliegenden Ufer bei km 2279 befindet sich **Bohrung B230** auf einer Halb- insel zwischen der Donau und einem Altwasser. Auch hier könnte im Ist-Zustand die Hart- holzaue wachsen, aktuell liegt diese Fläche am Übergang eines Silberweidenwaldes zu Pap- pelforsten. In den Prognosen der Vegetationsmodellierung würde sich dieser Standort in das Potenzial der dauerfeuchten Weichholzaue begeben.

Diese Tendenz wird auch durch die 1-d-Modellierungen gestützt. In allen Bodenschichten kommt es zu einem deutlichen Anstieg der Sättigungsdauer. In einem durchschnittlichen Jahr sind die obersten 30 cm an 69 Tagen, die Tiefe zwischen 30 und 80 cm an 76 Tagen und zwi- schen 80 und 130 cm an 117 Tagen mit Wasser gesättigt. Durch die Variante C_{2,80} wäre die

oberste Schicht an 130 Tagen, die mittlere an 150 Tagen und die tiefste Lage fast ganzjährig an 363 Tagen wassergesättigt.

Im Ist-Zustand gibt es im Durchschnitt sieben Sättigungs- und entsprechend auch Trocknungsperioden zwischen 80 und 130 cm Tiefe. Durch $C_{2,80}$ gäbe es nur noch eine kurze Unterbrechung der Sättigungsphase in einem durchschnittlichen Jahr. Bezieht man die Zeiten mit annähernder Sättigung (Nässeperioden) mit in die Betrachtung ein, so zeigt sich, dass in Variante $C_{2,80}$ in allen Bodentiefen durchschnittlich an deutlich über 300 Tagen/Jahr Nässeperioden auftreten, während im Ist-Zustand bis in 80 cm Tiefe eine erheblich bessere Durchlüftung des Bodens ermöglicht ist (durchschnittlich weniger als 200 Tage/Jahr in Nässeperioden).

Oberhalb der Isarmündung bei Donaukilometer 2282,5 liegt **Bohrung B414** im Vorland am Rande eines Silberweidenwaldes. Der Waldrand wird hier zum Grünland hin durch ein Schilfröhricht gesäumt. Das Standortpotenzial für den Ist-Zustand ist die Untergrenze der Hartholzaue. Durch Anstieg der Grundwasserspiegel bei Variante $C_{2,80}$ würde der Standort in das Potenzial der oberen Weichholzaue rutschen.

Dieser Wechsel zu etwas feuchteren Bedingungen wird wiederum durch die Wassersättigung des Bodens in 80 bis 130 cm Tiefe dokumentiert. Dieser Bereich ist in einem trockenen Jahr an 43 und in einem durchschnittlichen Jahr an 107 Tagen wassergesättigt. Die Prognosen für $C_{2,80}$ sehen dann aber 89 bzw. 162 Tage mit Sättigung. Die Änderungen in den höheren Schichten sind marginal.

Bezieht man wiederum die Zeiten mit annähernder Sättigung (Nässeperioden) mit in die Betrachtung ein, so zeigt sich die Vernässungstendenz in einem Anstieg der Dauer von Nässeperioden um jeweils rund 50 % in den beiden oberen Schichten. Deutliche Änderungen zeigen sich auch beim Anschluss des Grundwassers an die Deckschicht. Aktuell erreicht das Grundwasser die Deckschicht in trockenen Jahren an 280 Tagen und in mittleren Jahren an 360 Tagen. Bei Variante $C_{2,80}$ wäre die Deckschicht dauerhaft mit dem Grundwasser in Verbindung.

Diese drei Beispiele zeigen deutlich die engen Zusammenhänge zwischen Bodenwasser und Grundwasser im Untersuchungsgebiet und stützen damit die Verwendung von Grundwasserflurabständen in der Modellierung des Standortpotenzials für die Vegetation. In den Bodenwassermodellen wird auch deutlich, dass ansteigendes Grundwasser aufgrund der zeitweilig hohen Drücke auch recht schnell in die relativ gering durchlässige Deckschicht (Beispiel B230) eindringen kann.

Damit scheinen starke Unterschiede zwischen Grundwasserdruckhöhe und tatsächlichem Wasserstand im Boden nur zeitlich begrenzt aufzutreten und sich demnach nicht sehr stark auf die Vegetation auszuwirken. Im Bericht zur Bodenwassermodellierung (emc GmbH 2012) wurde zudem ein im Allgemeinen enger Zusammenhang zwischen der mittleren Grundwasserdruckhöhe und der mittleren Dauer der am jeweiligen Standort auftretenden Nässeperioden aufgezeigt.

6 Fazit

Die vorliegende Studie zeigt deutliche Zusammenhänge zwischen der Auenvegetation und hydrologischen Standortparametern in der Donauaue basierend auf statistischen Analysen auf. Neben dem Einfluss des Hochwassers ist der Grundwasserflurabstand mit seinen Schwankungen der entscheidende Faktor für das Vorkommen von Pflanzenarten und damit auch Vegetationstypen. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, auf welchen Standorten mit der Etablierung bestimmter Typen von Vegetation (sowohl des Grünlands als auch natürlicher Vegetation) im Ist-Zustand und bei den Varianten zu rechnen ist.

Um die Güte der Modellierung des Standortpotenzials abzuschätzen, wurden die Ergebnisse mit der aktuellen Vegetationskartierung verglichen. Auf Flächen, die heute schon von naturnaher Vegetation bestanden sind, gab es nur 5 % grobe Unterschiede zwischen Modell und Kartierung. Im schwieriger zu modellierenden Grünland lagen die groben Abweichungen dennoch nur bei 8 %.

Damit stellen die resultierenden Karten des Standortpotenzials und der zu erwartenden Veränderungen eine belastbare aktuelle Grundlage für die weitere Verwendung in der Umweltplanung dar. Durch die detaillierte Dokumentation der Analyseschritte, sowie die Diskussion der Grenzen der durchgeführten Modellierungen, sind die Ergebnisse des Berichtes nachzuvollziehen und zu interpretieren.

7 Literatur

- Ahlmer, W. (1989) Die Donau-Auen bei Osterhofen. Eine vegetationskundliche Bestandsaufnahme als Grundlage für den Naturschutz. *Hoppea*, **47**, 403-504.
- ArGe Danubia (2012) Donauausbau Straubing - Vilshofen; EU-Studie; Ökologische Datengrundlagen; Kartierbericht Pflanzengesellschaften, Biotoptypen, FFH-Lebensraumtypen; Bestandsbeschreibung und Bewertung (Erhaltungszustand, Schutz- u. Gefährungsgrad); Zusammenfassende Darstellung der Kartierungen 2010 2011.
- BfG (2003) Einsatz von ökologischen Modellen in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung. Bundesanstalt für Gewässerkunde. Koblenz.
- Blume, H.P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.M. & Schachtschabel, P. (2010) *Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*. Spektrum Akademischer Verlag.
- AG Boden (2005) *Bodenkundliche Kartieranleitung*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. & Stone, C.J. (1983) *CART: Classification and Regression Trees*. Wadsworth, Belmont, CA.
- Busch, N. (2009) Präsentation der Software FLYS am Beispiel der Elbe. In: *Wasserstands-informationsdienste der BfG für die Bundeswasserstraßen*, pp. 5-17. Koblenz.
- Crawley, M.J. (2007) *The R Book*. John Wiley & Sons, Chichester.
- De'ath, G. & Fabricius, K.E. (2000) Classification and regression trees: A powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, **81**, 3178-3192.
- Dister, E. (1999) Folgen der Sohleintiefung für die Ökosysteme der Aue. *IHP/OHP-Berichte*, **13**, 157-165.
- Dister, E. & Henrichfreise, A. (2009) Veränderungen des Wasserhaushalts und Konsequenzen für den Naturschutz. *Natur und Landschaft*, **84**, 26-31.
- Emc GmbH (2012) Donauausbau Straubing-Vilshofen. Modellierung des Bodenwasserhaushaltes an charakteristischen Querschnitten: 1D- und 2D-Modellierungen, Modelldokumentation und Ergebnisse ergänzender 1D-Modellierungen an ausgewählten Standorten. emc Ges. zur Erfassung und Bewertung von Umweltdaten mbH, Erfurt. Version 2.0, 31.08.2012.
- Ellenberg, H. & Leuschner, C. (2010) *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Eugen Ulmer, Stuttgart.

- Erftverband (2003) *Analyse der vom Grundwasser ausgehenden signifikanten Schädigung grundwasserabhängiger Ökosysteme*. [http://www.erftverband.de/no_cache/grundwasser-fue-vorhaben.html?sword_list\[\]=lawwa, Bergheim](http://www.erftverband.de/no_cache/grundwasser-fue-vorhaben.html?sword_list[]=lawwa, Bergheim).
- Finch, S.R. (2003) *Mathematical Constants*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Foekler, F., Schmidt, H. & Herrmann, T. (2010) Ökologische Untersuchungen im Isarmündungsgebiet. *BfN-Skripten*, Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Gideon, S. (1978) Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics*, **6**, 461-464.
- Giebel, H., Rosenzweig, S. & Schleuter, M. (2011) Ökologische Modellierungen für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- Hennekens, S.M. & Schaminee, J.H.J. (2001) TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science*, **12**, 589-591.
- Henrichfreise, A. (2000) Zur Erfassung von Grundwasserstandsschwankungen in Flußauen als Grundlage für Landeskultur und Planung - Beispiele von der Donau. *Angewandte Landschaftsökologie*, **37**, 13-21.
- Huisman, J., Olf, H. & Fresco, L.F.M. (1993) A Hierarchical Set of Models for Species Response Analysis. *Journal of Vegetation Science*, **4**, 37-46.
- Kalusova, V., Le Duc, M.G., Gilbert, J.C., Lawson, C.S., Gowing, D.J.G. & Marrs, R.H. (2009) Determining the important environmental variables controlling plant species community composition in mesotrophic grasslands in Great Britain. *Applied Vegetation Science*, **12**, 459-471.
- Koenzen, U. (2005) Fluss- und Stromauen in Deutschland - Typologie und Leitbilder -. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Koska, I., Succow, M., Clausnitzer, U., Succow, M. & Joosten, H. (2001) Vegetationskundliche Kennzeichnung von Mooren. In: *Landschaftsökologische Moorkunde*, pp. 112-184. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Legendre, P. & Legendre, L. (1998) *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam.
- Leyer, I. & Wesche, K. (2007) *Multivariate Statistik in der Ökologie*. Springer, Berlin-Heidelberg.
- Linhard, H. (1964) *Die natürliche Vegetation im Mündungsgebiet der Isar und ihre Standortverhältnisse*. Dissertation, München.
- Peper, J. (2008) Struktur und Artenzusammensetzung beweideter Auenwälder entlang der Kura in Aserbaidshan (Kaukasus). *Tuexenia*, **28**, 103-120.
- Peper, J., Jansen, F., Pietzsch, D. & Manthey, M. (2011) Patterns of plant species turnover along grazing gradients. *Journal of Vegetation Science*, **22**, 457-466.
- R Development Core Team (2012) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien.

- Runhaar, J., Witte, J.P.M. & Verburg, P.H. (1997) Ground-water level, moisture supply, and vegetation in the Netherlands. *Wetlands*, **17**, 528-538.
- Schlemmer, R. (2011) Brutvogelkartierung 2010. Variantenunabhängige Untersuchungen zum Ausbau der Donau zwischen Straubing und Vilshofen. Ökologische Datengrundlagen, Los 2: Vögel.
- Sommer, M., Esser, B. & Schäfer, B. (2007) *Leitfaden zur Umweltverträglichkeitsprüfung an Bundeswasserstraßen*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.
- van Ek, R., Witte, J.P.M., Runhaar, H. & Klijn, F. (2000) Ecological effects of water management in the Netherlands: the model DEMNAT. *Ecological Engineering*, **16**, 127-141.
- Vayssières, M.P., Plant, R.E. & Allen-Diaz, B.H. (2000) Classification trees: An alternative non-parametric approach for predicting species distributions. *Journal of Vegetation Science*, **11**, 679-694.
- Walentowski, H., Ewald, J., Fischer, A., Kölling, C. & Türk, W. (2006) *Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns*. Geobotanica, Freising.
- Ward, J.H. (1963) Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, **58**, 236-.
- Zahlheimer, W.A. (1979) Vegetationsstudien in den Donauauen zwischen Regensburg und Straubing als Grundlage für den Naturschutz. *Hoppea*, **38**.
- Zahlheimer, W.A. (1991) Errichtung und Sicherung schutzwürdiger Teile von Natur und Landschaft mit gesamtstaatlich repräsentativer Bedeutung. *Natur und Landschaft*, **66**, 38-46.

Glossar

Deckschicht	Oberster geologischer Horizont aus feinen, meist lehmig-schluffigen Flusssedimenten, welcher in großen Teilen der Aue die tiefer liegenden Kiesschichten überlagert.
Deich-Rückverlegung	Anlage eines neuen Deiches in größerer Entfernung zum Fluss und Abtrag bzw. Schlitzung des Altdeiches zur Vergrößerung des Hochwasserraumes.
Hinterland	Gebiete, die bei einem HQ ₅ nicht überflutet werden. Hauptsächlich Bereiche landseits des Deiches.
Potenziell natürliche Vegetation	Vegetation, die sich ausgehend vom aktuellen Zustand nach Einstellung der Nutzung langfristig ohne Zutun des Menschen einstellen würde.
Standortamplitude	Wertebereich bestimmter Standortfaktoren innerhalb dessen ein Pflanzenart oder -gesellschaft gut gedeiht.
Standortpotenzial	Bestimmte Kombination von Standortparametern, bei der mit hoher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter Vegetationstyp sich etablieren kann.
Sukzession	Folge sich gegenseitig durch Konkurrenzprozesse ablösender Vegetationstypen mit jeweils unterschiedlicher Artenzusammensetzung. Beginnt oft mit kurzlebigen Pionierarten.
Vorland	Gebiete der Donauaue, die bei einem HQ ₅ überflutet werden. Fast der komplette Raum zwischen Deich und Fluss.