

9 UNTERSUCHUNGEN ZUM WASSER- UND STOFFHAUSHALT

Ziel des nachfolgenden Kapitels ist es, den gegenwärtigen Zustand des Wasser- und Stoffhaushaltes im Untersuchungsgebiet möglichst exakt zu dokumentieren und die Veränderungen der Bodeneigenschaften, die sich aufgrund der Eindeichung im Laufe der Jahrhunderte eingestellt haben, aufzuzeigen. Dazu werden im ersten Teil des Kapitels die Ergebnisse der Wasserhaushaltsuntersuchungen an den sechs Teststandorten vorgestellt und miteinander verglichen. Hierbei wird gegebenenfalls stellvertretend für den Gesamtmeßzeitraum nur auf eine entscheidende Phase eingegangen oder mehrere Standorte werden zu einer Gruppe zusammengefaßt und gemeinsam dargestellt. Im zweiten Teil des Kapitels findet eine Gegenüberstellung der binnen- und außendeichs an zahlreichen Stellen im Untersuchungsgebiet erhobenen Feststoffgehalte statt. Die Ergebnisse zu den Bodenlösungskonzentrationen beziehen sich dagegen ausschließlich auf die Teststandorte.

9.1 Wasserhaushalt

9.1.1 Grundwasser

Tab. 35: Relative Höhe und mittlerer Grundwasserstand (Medianwert) der sechs Teststandorte

Standort	EH	LP	EW	DF	OH	LS
relative Höhe [m MW]	2,84	1,77	0,74	0,56	0,39	0,28
mittlerer GW-Stand [m GOF]	- 3,00 *	- 1,71	- 1,61	- 1,38	- 1,17	- 0,85
mittlerer GW-Stand [m MW]	- 0,16 *	0,06	- 0,87	- 0,82	- 0,78	- 0,57

* Pegel während der Sommermonate teilweise leer gelaufen

An der Aufreihung, die sich aus der Betrachtung der mittleren Grundwasserstände ergibt, kann auf einfache Weise ein Höhenbezug der einzelnen Standorte zueinander aufgestellt werden (s. Tab. 35). Betrachtet man allerdings die Relationen zwischen beiden Größen, fällt auf, daß diese in einigen Fällen unstimmg sind. Allgemein wird der Grundwasserstand im Untersuchungsgebiet sowohl durch örtliche als auch durch regionale Prozesse bestimmt. Letztere werden von MONTENEGRO et al. [1999] aufgezeigt. Örtliche Prozesse führen jedoch zu nicht unerheblichen Abweichungen, die in diesem Kapitel näher betrachtet werden. Unter anderem um die geänderten Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet nach Ausdeichung prognostizieren zu können, wurde von der TU-Darmstadt für das potentielle Rückdeichungsareal ein Grundwassermodell angefertigt. Es handelt sich um ein zweidimensionales, instationäres Finite-Elemente-Modell [MONTENEGRO et al. 1999], dessen Qualität durch den Vergleich mit den

realen Grundwasserständen im folgenden ebenfalls überprüft wird.

Aus der Tabelle 36 sind die statistischen Kennwerte der Grundwasserganglinien, bezogen auf den Mittelwasserstand der Elbe am Pegel Lenzen an den sechs Teststandorten im Vergleich zur Elbe über den gesamten Untersuchungszeitraum dargestellt. Setzt man die Amplitude der Elbe von 4,92 m gleich 100 % und vergleicht sie mit den an den Teststandorten festgestellten Spannweiten, wird das Zusammenspiel der Faktoren ‚Elbnähe‘ und ‚Einfluß des Grabensystems‘ erkennbar. Maximal werden am Standort ‚EH‘ 68,5 % der Amplitude der Elbe erreicht. Zu berücksichtigen ist bei diesem Wert, daß zu extremen Niedrigwasserphasen der Beobachtungspiegel zeitweilig leer lief und in dieser Zeit keine Pegelaufzeichnungen stattfanden. Aus diesem Grund müßte der Minimalwert weiter in den negativen Bereich verschoben werden, wodurch sich eine noch größere Amplitude ergeben würde. Dies ist auch am Standort ‚LS‘ der Fall, allerdings aufgrund der hohen Wasserstände, die hier auftraten und während derer keine Messung stattfinden konnte, da der Meßpegel zu diesen Zeiten überstaut war. Mit gerade mal 30 % der Amplitude der Elbe ist die Grundwasserschwankung am Standort ‚DF‘ mit Abstand am geringsten.

Tab. 36: Kennwerte der Grundwasserganglinien (bezogen auf den Mittelwasserstand der Elbe am Pegel Lenzen) an den sechs Teststandorten im Vergleich zur Elbe

[m MW]	Elbe	EH	LP	LS	OH	DF	EW
Minimum	- 2,08	(- 1,02)*	- 0,51	- 1,31	- 1,87	- 1,37	- 1,75
Median	- 1,06	- 0,13	0,03	- 0,55	- 0,98	- 0,87	- 0,81
Maximum	2,84	2,35	2,51	(1,21)*	0,57	0,10	1,16
Amplitude	4,92	(3,37)*	3,02	(2,52)*	2,44	1,47	2,91
Amplitude [%]	100,0	(68,5)*	61,4	(51,2)*	49,6	29,9	59,1

* Extremwerte nicht bestimmt, Erläuterung siehe Text

Aufgrund des durchlässigen Profilaufbaus und der Elbnähe weist der am dichtesten am Flußschlauch befindliche Standort ‚EH‘ die größte Übereinstimmung mit der Ganglinie der Elbe auf, wie aus der Abbildung A15, in der über einen Zeitraum von acht Monaten (Oktober 1998 bis Mai 1999) die Grundwasserganglinien der im Auensand verfilterten Pegelrohre an den außendeichs gelegenen Teststandorten ‚EH‘, ‚LP‘ und ‚LS‘ gemeinsam mit dem Elbpegel (Station Lenzen) normiert dargestellt sind, zu entnehmen ist. Bei den Standorten ‚LS‘ und insbesondere ‚LP‘ werden zwar die Hochwasserphasen gut nachgezeichnet, Niedrigwasserstände aber nicht. Wahrscheinlich liegt dies am Zuschußwasser aus der lediglich 600 m entfernten, in ihrem Wasserstand über ein Wehr regulierten Löcknitz. Die Differenz in den Grundwasserständen zwischen beiden Standorten von 63 cm bei nur 30 m Strecke wird möglicherweise von im Profil ‚LP‘ vorhandenen Lehm- und Sandzwischen-schichten bedingt. Im Gegensatz zu den

Außendeichsstandorten zeigen die in der Abbildung A16 aufgeführten binnendeichs gelegenen Teststandorte (OH' , DF' , EW') erwartungsgemäß eine wesentlich geringere Abhängigkeit vom Elbwasserstand. Deutlich ist der zurückgehende Einfluß mit zunehmendem Abstand zur Elbe zu erkennen ($EW' > OH' > DF'$).

Die Abbildung 58 visualisiert die Summenkurven der Grundwasserganglinien während des Untersuchungszeitraumes an den sechs Teststandorten. Es handelt sich um die Wasserstandsaufzeichnungen der untersten, jeweils im Auensand verfilterten Pegelrohre (s. Kap. 5.6). Zu erkennen ist, daß die Summenkurve des Standortes DF' einen im Gegensatz zu den anderen wesentlich flacheren Verlauf aufweist. Eine Beeinflussung oberer Profildeile durch die Elbe ist weder zu Hochwasser- noch zu Niedrigwasserzeiten gegeben. Vielmehr wirkt hier die Lößnitz bzw. das Grabensystem stabilisierend. Da im Falle sommerlicher Niedrigwasserphasen der Elbe Wasser gezielt über das Wehr in Gandow in das Grabensystem eingeleitet wird, handelt es sich somit nicht nur um ein Ent- sondern auch um ein Bewässerungssystem, was bereits FLEMMING et al. [1998] mit ihren Untersuchungen aufzeigen. In geringerem Maße prägt dies auch die Grundwasserstände der anderen Binnendeichsstandorte.

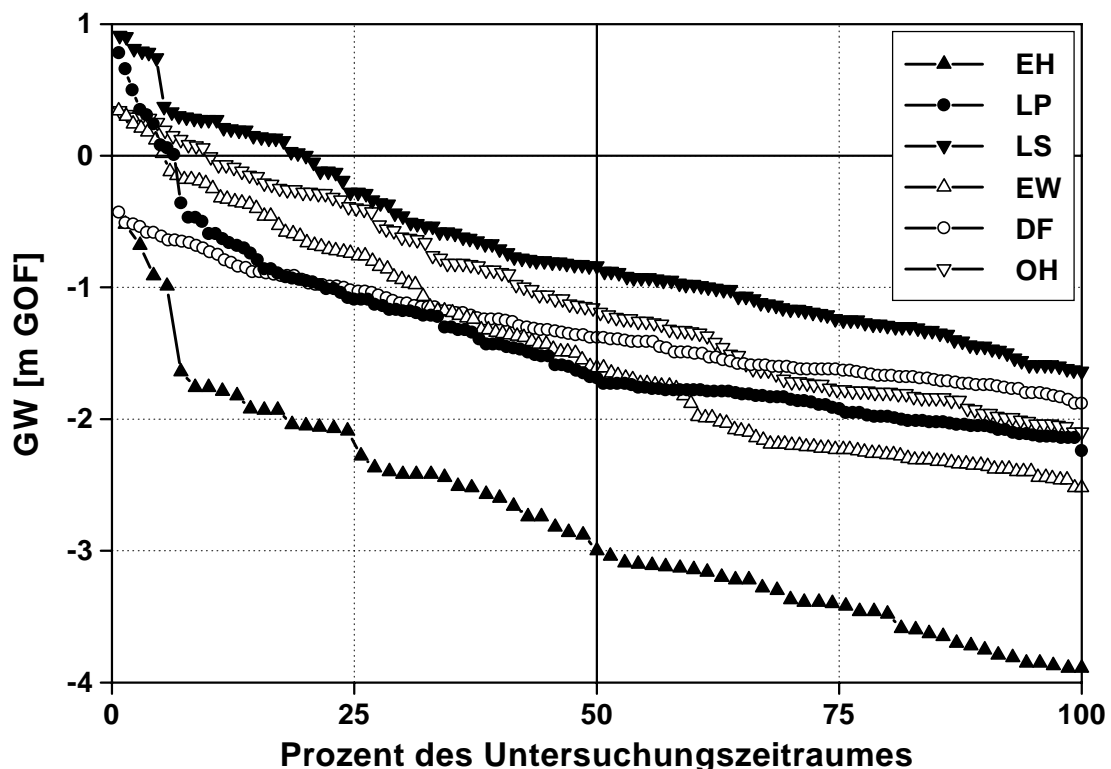


Abb. 58: Summenkurven der Grundwasserstände an den sechs Teststandorten

Die Schwankungsbreite des Grundwasserstandes korreliert mit den Höhenlagen der Grund-

wasserhorizonte dahingehend, daß im allgemeinen die mittleren Jahreshöchststände die maximal mögliche Oberkante des Go-Horizontes markieren und die mittleren Jahresniedrigstände die des Gr-Horizontes. Die KA 4 gibt als ein Erkennungsmerkmal für den Gr-Horizont eine Wassersättigung > 300 Tage im Jahr an. Dieses soll anhand der Meß- und Modellergebnisse überprüft werden. Aus der Tabelle A18 ist der Grundwasserstand zu entnehmen, der laut Modell (Meßreihe: 01.01.1987 - 30.11.1999) an 300 Tagen innerhalb eines Durchschnittsjahres nicht unterschritten wird. Er schwankt an den einzelnen Standorten zwischen - 1,55 und - 4,22 m GOF. Vergleicht man diese Angaben mit denen des Untersuchungszeitraums, besteht für die Binnendeichsstandorte eine relativ gute Übereinstimmung. Maximal beträgt die Abweichung 0,27 m (Standort: ,EW'). Stellt man die entsprechenden Modellergebnisse den im Gelände festgestellten Höhenlagen der Gr-Horizonte gegenüber, ist zu erkennen, daß die Außendeichsstandorte (,EH', ,LP', ,LS') und der Standort ,EW' gut zu den jeweiligen Modellwerten passen. Bei den binnendeichs gelegenen Standorten ,OH' und besonders ,DF' (Abweichung 1,1 m) wurde dagegen die Oberkante des Gr-Horizontes wesentlich tiefer angesprochen, als es der Grundwasserstand vorgibt. Dies spricht dafür, daß unter den hydrochemischen Bedingungen der Standorte im Niedrigwasserfall oxidierte Grundwässer auftreten, die in der oberen Zone der gesättigten Schicht zu Eisenausfällungen führen und die Gr-Grenze nach unten verlagern.

Der Einfluß der Textur auf den Grundwasserstand wird bei der Betrachtung der Pegelstände in der Auenlehmdecke deutlich. Um die Auswirkungen der feinkornreichen Deckschicht auf die Wasserstandsentwicklung aufzuzeigen, wurde der oberflächennahe Grundwasserstand an den Teststandorten in mehreren Tiefen bestimmt. Es zeigt sich, daß die Wasserstandsänderungen der Elbe und damit auch des Grundwassers in der Auenlehmdecke nur verzögert sowie teilweise gemindert wiedergegeben werden. Es kommt sowohl zu einem zeitlichen Versatz als auch zu einer Dämpfung der Amplitude. Das Ausmaß dieser Verschiebung des Scheitelpunktes ist abhängig von der Wasserdurchlässigkeit der bindigen Schicht, welche von der Textur und dem Gefüge bestimmt wird. Tonreiche, schwach aggregierte Lagen verursachen die größten Differenzen. An den Stellen, an denen die Auenlehmdecke fehlt, kommt es im Hochwasserfall infolge der Exfiltration von Qualmwasser zu einem Potentialabfall. Dargestellt ist dies am Beispiel des Standortes ,OH' (s. Abb. A17). Gut ist der zeitliche Versatz und das Nachklingen der Grundwasserganglinie in der Auenlehmdecke im Verhältnis zu der des Auensandes zu erkennen. Ein Höhenunterschied in den Pegelständen ist dagegen lediglich im Niedrigwasserfall zu beobachten. Dies hängt mit dem Grabensystem im Rückdeichungsgebiet zusammen, da durch dessen Einwirkung der Wasserstand an dieser Stelle selbst bei wesentlich höheren Elbwasserständen unter den gegenwärtigen Bedingungen nicht über 30 cm oberhalb der Geländeoberfläche ansteigen kann. Spätestens zu diesem Zeitpunkt beginnt das Oberflächenwasser in einen der umliegenden Gräben zu strömen, um dann in den Vorfluter (Löcknitz) abgeführt zu werden. Durch dieses die hohen Grundwasserstände künstlich

regulierende System liegt der Pegelstand im unterliegenden Auensand im Hochwasserfall nur unwesentlich über dem des Auenlehms.

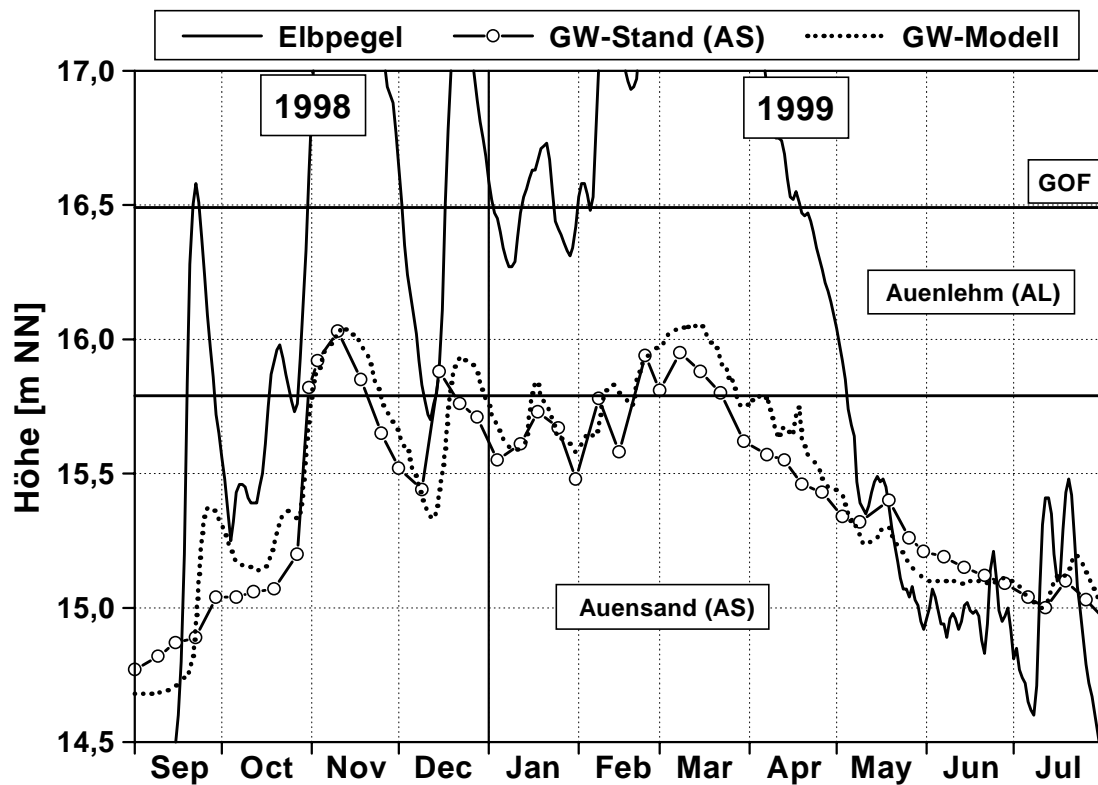


Abb. 59: Darstellung des Elbwasser- und des Grundwasserstandes (AS) sowie des modellierten Grundwasserstandes am Standort ‚DF‘ während eines 11-monatigen Beobachtungszeitraumes

Mit dem numerischen Ansatz des Modells von MONTENEGRO et al. [1999] können für diskrete Punkte (Netzknoten) aus den Wasserstandsdaten der das System maßgeblich beeinflussenden Elbe und der Löcknitz der zeitliche Verlauf des Grundwasserstandes innerhalb des Untersuchungsgebietes berechnet werden. Greift man sich die Ganglinien der den Teststandorten nächstgelegenen Knotenpunkte heraus und vergleicht diese zu verschiedenen Zeitpunkten mit den realen Grundwasserständen, zeigt sich die Qualität des Modells. Aus der Abbildung 59, die den Elb- und den Grundwasserstand im Auensand sowie den errechneten Grundwasserspiegel am Beispiel des Standortes ‚DF‘ über einen Zeitraum von 11 Monaten darstellt, ist zu erkennen, daß die modellierten Pegelhöhen die tatsächlichen Verhältnisse hier gut widerspiegeln. Sowohl die Amplitude als auch die Dynamik werden entsprechend nachgezeichnet. Die Differenzen liegen zumeist in einem Bereich von ± 10 cm. Abweichungen > 25 cm sind selten. Sie ergeben sich ausschließlich infolge kurzfristiger, starker Wasserstandsschwankungen.

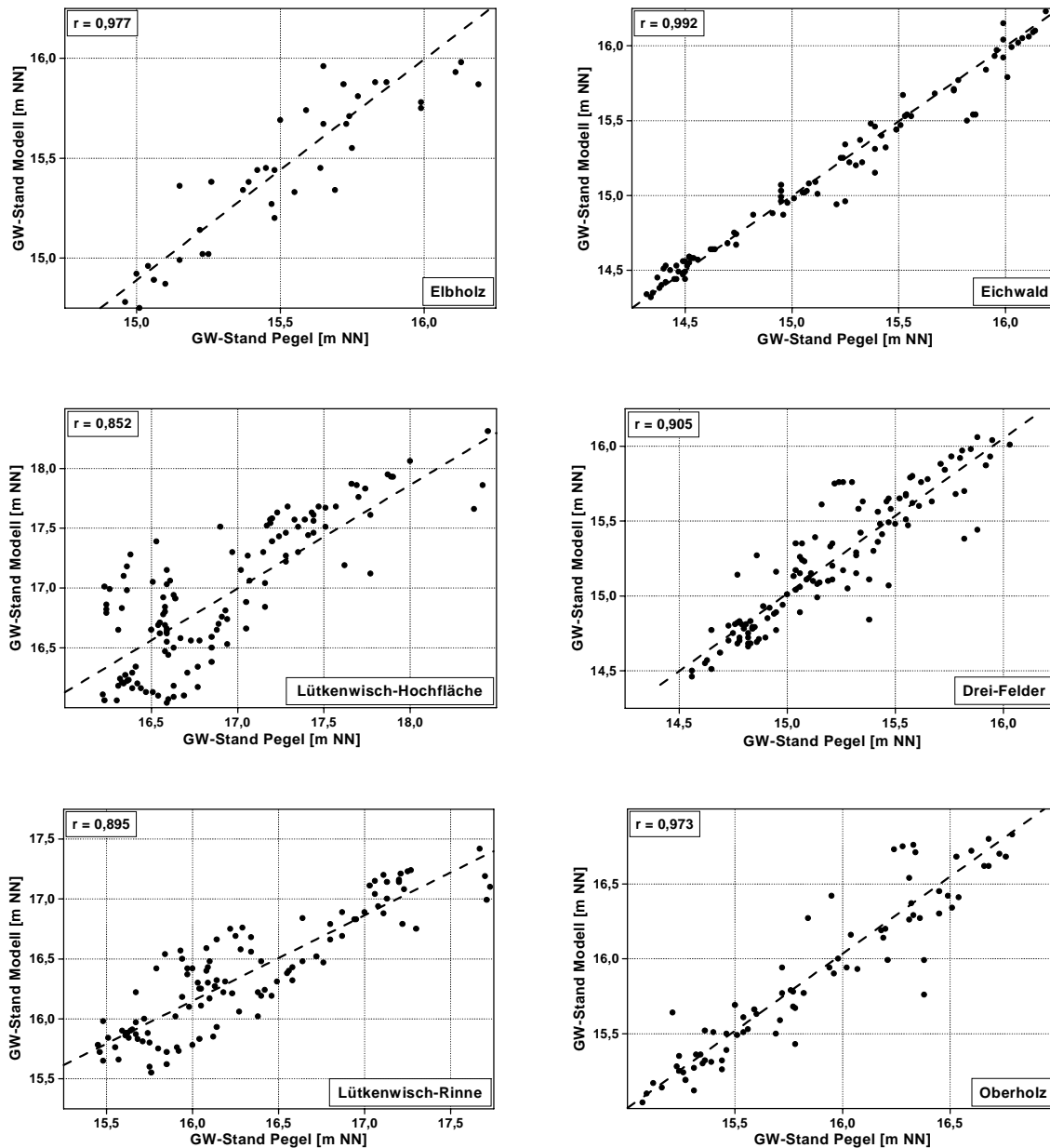


Abb. 60: Vergleich der gemessenen mit den modellierten Grundwasserständen der sechs Teststandorte

Die Abbildung 60 macht deutlich, daß das Grundwassergeschehen von dem hydrologischen Modell am besten am Standort ‚EW‘ nachgebildet wird. Nicht nur, daß der Korrelationskoeffizient mit 0,99 als sehr hoch einzustufen ist, über den gesamten möglichen Wasserstandsbereich gibt es keine systematischen Abweichungen. Das Verhältnis von gemessenem und berechnetem Grundwasserstand beträgt nahezu 1:1. Das zweitbeste Ergebnis weist (obwohl sich der ausgesuchte Knotenpunkt über einen halben Kilometer entfernt auf der gegenüberliegenden Elbseite befindet) das ‚Elbholz‘ (0,98) auf. Die hohe Korrelation liegt zum

einen in der geringen Entfernung beider Punkte zum Strom (< 50 m) begründet und zum anderen am tiefgründig sandigen, gut wasserleitenden Profilaufbau, der kaum einen Unterschied zwischen Fluß- und Grundwasserstand zuläßt. Es zeigt sich an diesem Standort aber auch, daß niedrigere Wasserstände besser nachgebildet werden als höhere, bei denen die angesetzte Dämpfung zu stark ist und deshalb vom Modell überwiegend zu geringe Wasserstände errechnet werden. Der Standort ,OH' weist einen ähnlich hohen Korrelationskoeffizienten (0,97) auf. Das abgebildete Verhältnis von Modellwert zu Meßergebnis beläuft sich wie bereits zuvor beim Standort ,EW' annähernd auf 1:1. Als ebenfalls noch eng ist die Beziehung am Standort ,DF' zu bezeichnen (0,91). Zwar gibt es hier weder bei den hohen noch bei den niedrigen Wasserständen auffällige Differenzen, bei Grundwasserständen mittlerer Höhe (15,0 - 15,5 m NN) weichen die Modellwerte aber teilweise stark von den Meßwerten ab. Nahezu einen Meter beträgt die Maximalabweichung zwischen Real- und Modellwert in diesem Bereich. Zu den zwei verbleibenden Standorten ,LP' und ,LS' muß einschränkend gesagt werden, daß das von MONTENEGRO et al. [1999] erarbeitete Modell nicht für das Lütkenwischer Vordeichsland konzipiert ist. Es gibt demzufolge auch keine Grundwasserpegel, an denen das Modell hätte geeicht werden können. Entsprechend ungünstig fallen die Berechnungsergebnisse aus. Nicht nur, daß die Korrelationskoeffizienten mit 0,86 (,LP') bzw. 0,90 (,LS') deutlich niedriger sind als die übrigen, auch das Verhältnis zwischen gemessenen und modellierten Grundwasserständen liegt nicht auf der 45°- Achse. An beiden Standorten werden niedrige Wasserstände überwiegend über- und hohe unterschätzt. Außerdem fällt der Differenzbetrag (s.u.) mit 95 cm (,LP') bzw. 60 cm (,LS') wesentlich höher aus, als an den anderen Standorten.

Aus der Tabelle A19 sind die Knotenpunktnummern, deren Koordinaten und der jeweilige Abstand zum entsprechenden Teststandort zu entnehmen. Außerdem ist ein Differenzbetrag aufgeführt, mit dem die Modellergebnisse korrigiert wurden, damit sie nicht nur in ihrem Verlauf, sondern auch in der Höhe die größtmögliche Übereinstimmung mit den Meßergebnissen erzielen. Für den Fall der Realisierung der kleinen Rückdeichungsvariante (s. Kap. 10) sind der Tabelle A20 die entsprechenden Angaben zu entnehmen.

Die Tabelle A21 zeigt die an den Teststandorten während des 29-monatigen Untersuchungszeitraumes real festgestellte Überstauungsdauer auf. Zu erkennen ist, daß bis auf den Teststandort ,DF' alle übrigen Standorte wenigstens 7 und höchstens 226 Tagen von einer mehr oder weniger hohen Wassersäule bedeckt waren. Maximal reicht sie über einen Meter über die Geländeoberfläche hinaus. Außerdem werden die Überstauungszeiten, die sich aus der Geländehöhe der Standorte in Verbindung mit dem Elbwasserstand sowie den aus dem Grundwassermodell berechneten Grundwasserständen ergeben, mit aufgelistet. Zusätzlich sind die Überstauungstage, die sich laut Pegelmessungen hätten einstellen müssen, getrennt nach Pegeln mit Filterstrecke im Auensand (AS-Pegel) oder im Auenlehm (AL-Pegel), aufgeführt.

Deutlich wird, daß die einzelnen Angaben zum Teil stark voneinander abweichen. Am Standort ,OH' beispielsweise betrug die reale Überstauungsdauer 72 Tage. Laut Grundwassermodell hätte sie 73 Tage betragen müssen. Würde es den Hochwasserschutzdeich nicht geben, wäre aufgrund der Ganglinie der Elbe von einer Überstauung von 195 Tagen auszugehen. In den Beobachtungspiegeln wurden an diesem Standort im Gegensatz zu den genannten Werten im Auensand an 49 Tagen und im Auenlehm an 59 Tagen Wasserstände aufgezeichnet, deren Spiegelhöhe sich oberhalb der Geländeoberfläche befunden haben. Nicht nur, daß die Ergebnisse hinter der tatsächlichen Überstauungsdauer zurück bleiben (wodurch gezeigt werden kann, daß das Überstauungswasser zumindest nicht an dieser Stelle aus dem Profil ausgetreten sein kann), es fällt darüber hinaus auf, daß der Zeitraum gemäß AL-Pegel um zehn Tage länger ist als im AS-Pegel. Die geringe Wasserleitfähigkeit in der bindigen Deckschicht sorgt dafür, daß das Wasser nur verzögert abgegeben werden kann. Ein Effekt, der auch am Standort ,LS' auftritt. Hier beträgt die Überstauungsdauer laut AS-Pegel 231 Tage im Gegensatz zu 261 Tagen im AL-Pegel. Umgekehrt verhält es sich bei den Standorten ,LP' und ,EW', in denen es nach den AS-Pegeldaten zwar zu einer Überstauung hätte kommen müssen, das Potential sich aber nicht bis in den darüber befindlichen AL-Pegel durchprägen konnte. Darüber hinaus ist die reale Überstauungsdauer in diesen beiden Fällen geringer als es die im Auensand steckenden Pegel vorgeben. Das Oberflächenwasser kann offensichtlich gut abgeführt werden (Hochwasserrinnen, Grabensystem) bzw. die Lehme sind entsprechend dicht. Beim Standort ,DF' wäre ohne den vorhandenen Deich von einer Überflutung an 165 Tagen auszugehen. Aber auch mit dem jetzigen Hochwasserschutzdamm hätte er, laut Grundwassermodell, während des Meßzeitraumes zumindest kurzfristig (ca. 5 % der Zeit) vom Qualmwasser überstaut werden müssen. Hier führt jedoch das Grabensystem zu einer Entlastung des im Hochwasserfall gespannten Grundwasserleiters und damit zu einer Kappung der Amplitude. Am Teststandort ,EH' lag die reale Überstauung bei 7 Tagen. Während dieser Zeit konnte keine Messung stattfinden. Aus diesem Grund ist der entsprechende Wert eingeklammert.

9.1.2 Wassergehalt

Von dem Wassergehalt einer Bodenschicht werden eine Reihe von Prozessen im Boden maßgeblich beeinflusst. Insbesondere werden die Redoxspannung und damit verbunden die Konzentrationen der Bodenlösungsinhaltsstoffe von ihm gesteuert (s. Kap. 9.2.3 und 10.3.1). Aber auch die Bodentemperatur hängt unter anderem vom Wassergehalt ab (s. Kap. 9.2.2). Aufgrund des texturbedingt sehr variablen Porenvolumens und der Porengrößenverteilung der einzelnen Horizonte (s. Kap. 8) sagt der bloße Meßwert des Wassergehalts jedoch nur wenig über den Bindungszustand des Wassers im Boden aus. Auf diesen wird in Kapitel 9.1.3 näher eingegangen.

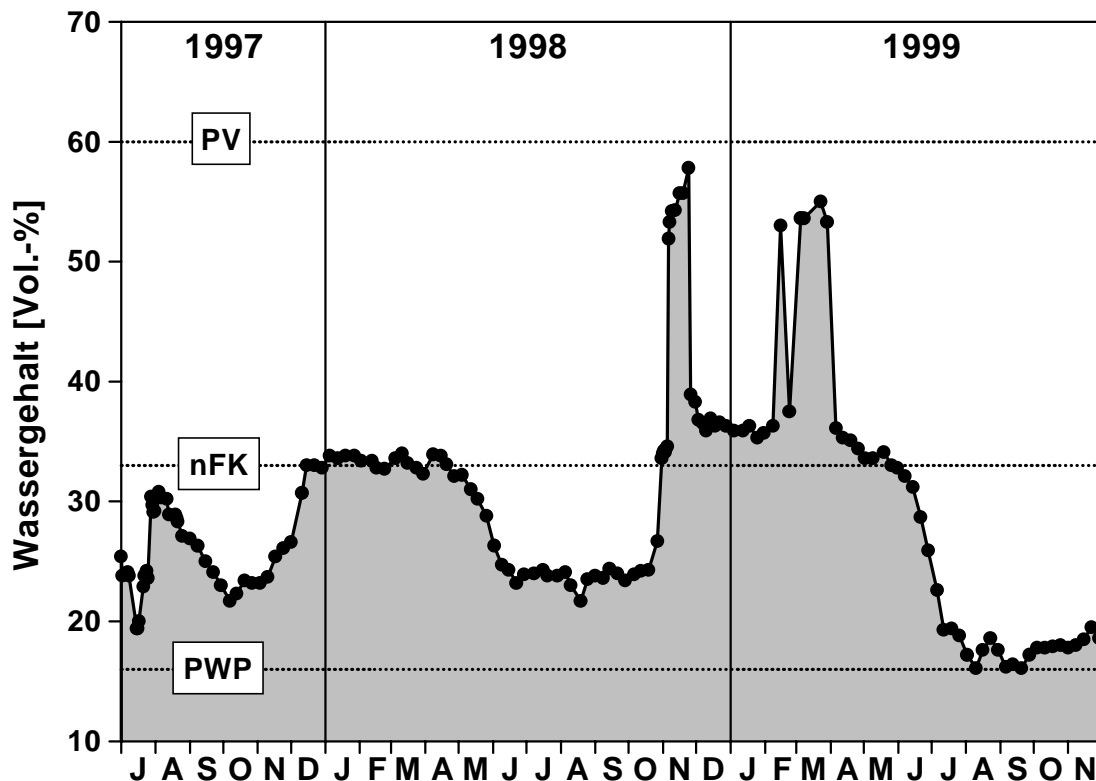


Abb. 61: Wassergehalts-Ganglinie am Standort ,LP‘ (Meßtiefe 2) über einen Zeitraum von 29 Monaten

Den Wassergehaltsverlauf eines ausgewählten Horizontes über den kompletten Untersuchungszeitraum zeigt, stellvertretend für die übrigen Meßtiefen, die Abbildung 61 (Standort: ,LP-T2‘). Die Meßsonde ist 45 cm unterhalb der Geländeoberfläche eingebaut, die Bodenart an dieser Stelle ist schluffiger Lehm, der Gehalt an organischer Substanz beträgt 2,0 %. Aus der Feld-pF-Kurve abgeleitet, ergibt sich ein Gesamtporenvolumen (PV) von 60 Vol.-% sowie eine nutzbare Feldkapazität (nFK) von 17 mm/dm. Der Wassergehalt beim permanenten Welkepunkt (PWP) liegt bei 16 Vol.-%. Es ist zu erkennen, daß sich der Wassergehalt mehr als 3/4 der Zeit im für Pflanzen optimal nutzbaren Bereich zwischen 16 und 33 Vol.-% befindet. In den Monaten August - September 1997, Mai - Juni 1998, sowie Juni - Juli 1999 ist jeweils eine deutliche Austrocknungsphase des Horizontes festzustellen. Über die Wintermonate 1997/98 bis in den April des Jahres 1998 andauernd pendelt der Wassergehalt an der Grenze zwischen Haft- und Sickerwasser. An dem dreimaligen starken Anstieg des Wassergehaltes (November 1998, Februar 1999, März 1999) ist zu ersehen, daß der Grundwasserstand zu diesen Zeiten so hoch angestiegen sein muß, daß es zu einer mehr als 90 %-igen Sättigung des Porenvolumens gekommen ist.

Neben dem kompletten Tiefenprofil (T1 bis T5) des Wassergehalts-Verlaufes am Standort ‚LP‘ zeigt die Abbildung 62 zudem die Einflußgrößen Niederschlag (NS) und Grundwasserstand (GW) auf. Trotz des mehrfach aufgetretenen Starkregens sowie der phasenweise über 10 Tage ausbleibenden Regenereignisse ist die Niederschlagsverteilung als gleichmäßig zu bezeichnen (s. Kap. 4.6). Der mittlere Grundwasserstand beträgt - 1,71 m GOF (Grundwasserniedrigststand: - 2,24 m GOF, Grundwasserhöchststand: + 0,78 m GOF). Zum besseren Verständnis ist für jede der fünf Meßtiefen (analog der Abb. 61) neben der Wassergehaltsganglinie (grau schattiert) noch ergänzend das jeweilige Gesamtporenvolumen, die nutzbare Feldkapazität und der permanente Welkepunkt als Kennlinie mit in den Graphikblock eingetragen (gestrichelte Linien). Während unterhalb des permanenten Welkepunktes die Bodenwasserspannung für eine weitere Wasserentnahme zu groß wird, beginnt oberhalb der nutzbaren Feldkapazität aufgrund der zunehmend mangelhaften Luftversorgung die einschränkende Wirkung der übermäßigen Wasserversorgung. Die Pflanzen sind in diesem Bereich aber weiterhin in der Lage, dem Boden Wasser zu entziehen.

Deutlich wird, daß es neben den beiden Überflutungsphasen im November 1998 und März 1999 noch zwei weitere Hochwasserphasen (August 1997, April 1998) gegeben hat. Diese führten aber lediglich über den ansteigenden Grundwasserstand in den unteren Bodentiefen (T3 - T5) zu Wassergehalten oberhalb der Feldkapazität. Da die Wassersättigung im dritten Horizont während dieser Perioden nicht über 70 % ansteigt, ist davon auszugehen, daß die Wassergehaltszunahmen in den Tiefen 1 und 2 zu diesen Zeiten niederschlagsbedingt sind. Aus der Tatsache, daß die Haftwassergrenze nicht (T2) oder nur geringfügig (T1) überschritten wird, ist ferner abzuleiten, daß das Profil zumindest in diesem Bereich vertikal als gut durchlässig einzustufen ist. Außerhalb der Hochwasserzeiten ist anhand der zeitversetzten Wassergehaltszunahmen zu erkennen, daß sich die Wiederbefeuchtung der einzelnen Horizonte (Auffüllung des Porenraums bis zur Feldkapazität), beginnend bei der obersten Tiefe, bis zur untersten über mehrere Monate hinzieht. Werden in der Tiefe 1 Mitte November 1997 Wassergehalte festgestellt, die eine Abgabe an die unterliegenden Schichten ermöglichen, geschieht dies in der direkt folgenden Tiefe Mitte Dezember. Die dritte Tiefe erreicht diesen Zustand Anfang Januar und der unterste Horizont erst Mitte Januar.

Mit Ausnahme der reinsandigen Meßtiefe 4 ist es während der drei aufgenommenen Vegetationsperioden, wenn auch in unterschiedlichem Maße und nicht zu denselben Zeiten, zu einem erheblichen Wasserentzug über das Wurzelsystem der Pflanzen gekommen. Entsprechend ihrem Hauptvorkommen ist die Entnahme in den Tiefen 1 und 2 am größten und in den stark sandigen Tiefen 3 und 4 am geringsten. Bei der untersten Tiefe setzt die Zehrung aus dem Vorrat erst ein, nachdem bereits ein Großteil des pflanzenverfügbaren Wassers aus den beiden obersten Tiefen verbraucht wurde.

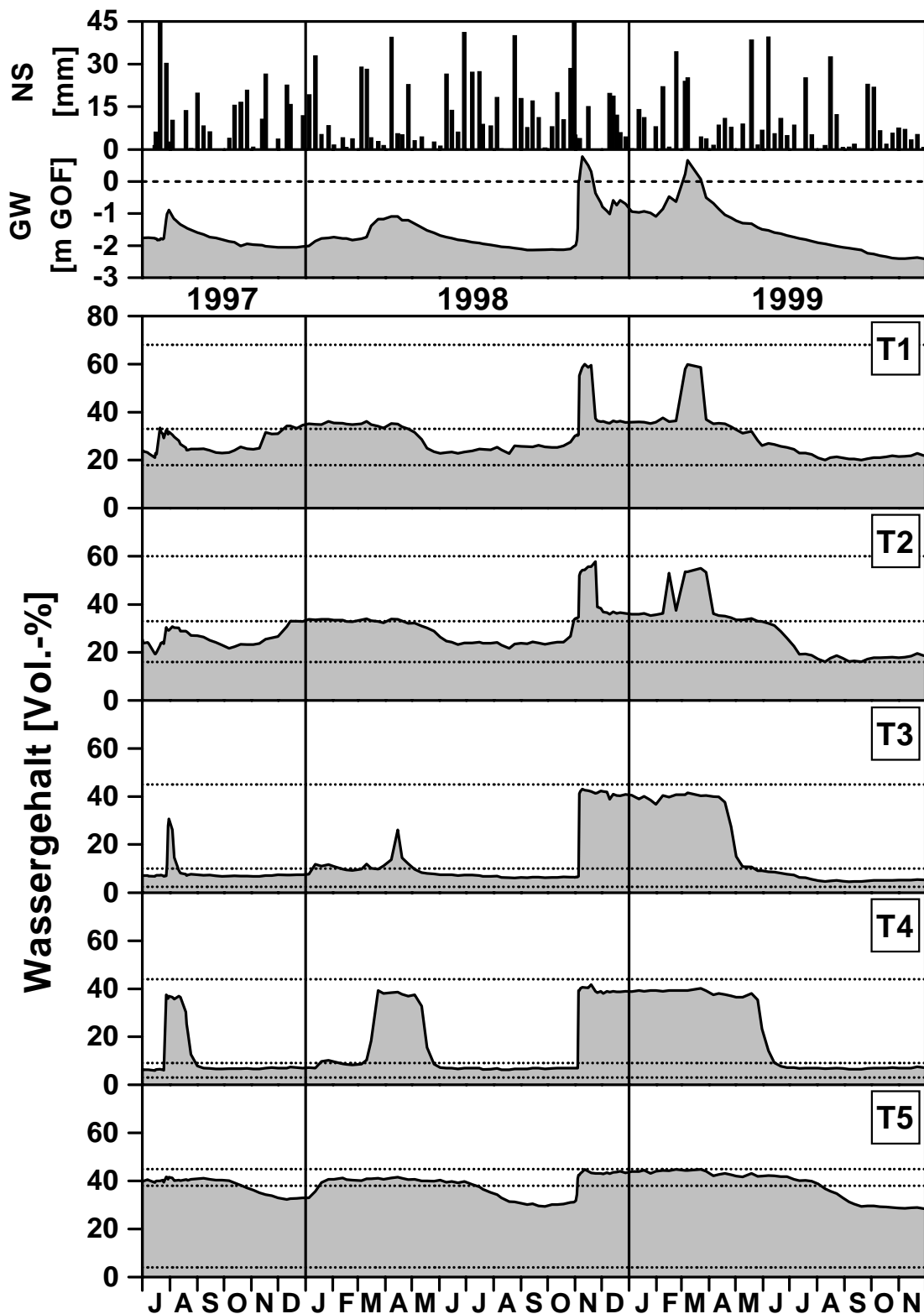
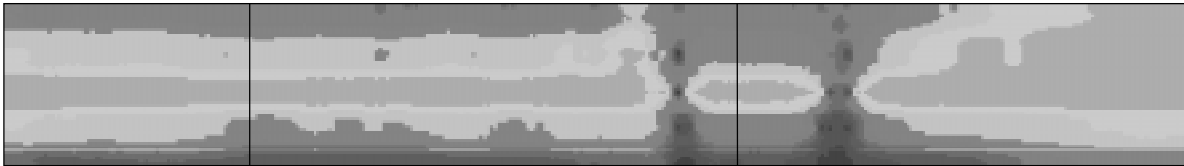


Abb. 62: Darstellung der Wassergehalts-Tiefenverteilung am Standort ,LP‘ in Verbindung mit der Niederschlagsaufzeichnung und der Grundwasser-ganglinie über einen Zeitraum von 29 Monaten

Der Bezug der gemessenen Wassergehalte auf das entsprechende Gesamtporenvolumen ergibt den Sättigungsgrad der Bodentiefe zum Aufnahmezeitpunkt. Getrennt nach den beiden Landschaftseinheiten außendeichs / binnendeichs sowie sortiert nach der relativen Höhe, visualisieren die Abbildungen 63 und 64 die zeitlichen Veränderungen der kompletten Sättigungstiefenprofile der sechs Teststandorte. Abhängig vom Standort setzt sich jede Graphik aus 127 bis 141 Aufnahmen der fünf Meßtiefen zusammen (s. Kap. 5.6). Dies ergibt für die Interpolation (,Kriging‘) eine Grundlage von 635 - 705 Meßdaten.

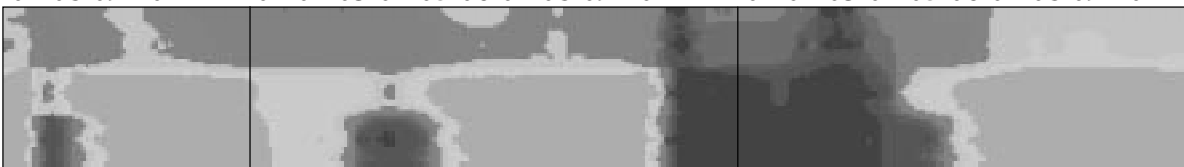
EH

07 08 09 10 11 12 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11



LP

07 08 09 10 11 12 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11



LS

07 08 09 10 11 12 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11



> 90 - 80 - 70 - 60 - 50 - 40 - 30 - 20 - 10 < 10 %

Abb. 63: Sättigungstiefenprofil an den Standorten ,EH‘, ,LP‘ und ,LS‘ über einen Zeitraum von 29 Monaten (Erläuterungen siehe Text)

Betrachtet man die Interpolationsergebnisse der drei Außendeichs-Standorte, sind auf den ersten Blick der mit abnehmender Höhe zunehmende Wassereinfluß der Profile und die unterschiedliche Dynamik auszumachen. Am Standort ,EH‘ beispielsweise verändert sich das Sättigungsprofil in den ersten 15 Monaten nur wenig. Von Untersuchungsbeginn im Juli 1997 bis zum September 1998 variiert der Sättigungsgrad in der Profilmitte innerhalb der Klasse 0 - 10 % nur gering. Sowohl darüber als auch darunter ist die Füllung des Porenraums mit Wasser dagegen konstant höher. Dies liegt im Fall des Oberbodens an der Kombination aus Eintrag über die Niederschläge in Verbindung mit der im Vergleich zu den unterliegenden Horizonten feineren Körnung sowie dem höheren Gehalt an organischer Substanz. In der untersten Meßtiefe dagegen ist der höchste Feinporenanteil im gesamten Profil nachgewiesen worden. Aufgrund der abnehmenden

Wurzelmasse ist der Entzug in dieser Tiefe jedoch nicht mehr so ausgeprägt. Eine Speisung über das Grundwasser während der Hochwasserphasen hält deshalb über einen längeren Zeitraum vor. Am Ende der Vegetationsperiode im Oktober 1998 dehnt sich der trockenere Bereich von der Profilmitte ausgehend bis in den Oberboden aus. Während die beiden kleineren Hochwässer im August 1997 und März / April 1998 keine meßbaren Auswirkungen auf den Uferwallstandort haben, ist im November 1998 erstmalig ein Sättigungsgrad von 90 - 100 % im Profil nachzuweisen. Dieses wiederholt sich, sogar in etwas ausgeprägterem Maße, im März 1999. In den drei Monaten zwischen den beiden Hochwasserwellen stellt sich näherungsweise das Bild der ersten 15 Monate ein, wobei sich aber die Feuchtezone sowohl im Ober- als auch im Unterboden etwas vergrößert hat. Im Anschluß an das Frühjahrshochwasser 1999 ist in den nachfolgenden Monaten bis zum Untersuchungsende eine starke Austrocknung des gesamten Profiles festzustellen. Ursache sind die unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen in Verbindung mit den überdurchschnittlich hohen Temperaturen in den Monaten Juli bis November des Jahres 1999 (s. Kap. 4.6). Beträgt der Sättigungsgrad im Oberboden im April 1999 noch zwischen 50 und 60 %, sinkt er in den nächsten zwei Monaten jeweils um 10 % und in den Monaten August bis September nochmals um 10 % ab. Am Ende der Vegetationsperiode liegt er schließlich zwischen 10 und 20 %.

Im zweiten Ergebnisblock, der das Sättigungstiefenprofil an dem rund einen Meter tiefer gelegenen Standort ,LP' darstellt, sind die Hochwasserphasen wesentlich stärker ausgeprägt. Es zeigt sich, daß zweimalig (November 1998 und März 1999) nahezu das komplette Porenvolumen des Bodenprofils wassererfüllt war. Im Unterboden kommt es darüber hinaus zu zwei weiteren hochwasserbedingten Einstauereignissen (August 1997, April 1998). In diesen Phasen übersteigt der Sättigungsgrad die Marke von 90 %. Außerhalb der Hochwasser- bzw. Vegetationszeiten ist aufgrund der unterschiedlich hohen Wassergehalte des Bodens bei Feldkapazität die Schichtung des Profiles (Auenlehm über Auensand) gut auszumachen (s. Kap. 8.1). Wie bereits beim Uferwall festgestellt, sind auch hier die letzten Monate die trockensten während des gesamten Untersuchungszeitraumes.

Dieses läßt sich in ähnlicher Weise am nochmals rund eineinhalb Meter tiefer liegenden Rinnenstandort ,LS' beobachten. Im Vergleich zu den beiden vorhergehenden Vegetationsperioden ist im Jahr 1999 der Austrocknungstrichter am größten. Selbst in der untersten Meßtiefe wird der Sättigungsgrad von 80 % über mehrere Monate unterschritten. Interessant ist ferner, daß das nur vergleichsweise kurz andauernde Sommerhochwasser 1997, obwohl die Geländeoberfläche an diesem Standort über zwei Wochen vollständig unter Wasser stand, lediglich zu einer Auffüllung des Porenraums von 70 bis 80 % geführt hat. Im darauf folgenden, zeitlich länger anhaltenden Frühjahrshochwasser 1998 erreichten die Wassergehalte dagegen Werte im Bereich von 80 bis 90 %, teilweise sogar bis über 95 % des verfügbaren Porenvolumens. Möglicherweise sorgt die starke mikrobielle Aktivität im Sommer 1997 für eine

vermehrte Gasbildung, welches nur langsam entweichen kann. Im Gegensatz dazu ist im Frühjahr 1998 der Boden noch sehr kalt, die biologische Aktivität zu diesem Zeitpunkt gering. Außerdem ist der Grundwasserstand in den vorangehenden Wintermonaten so langsam angestiegen, daß die Bodenluft genügend Zeit zum Entweichen hat. Im März bzw. April 1998 ist daher zum ersten Mal während des Untersuchungszeitraumes von einer annähernd vollständigen Sättigung des Profiles zu sprechen. Mit Beginn der dritten Hochwasserwelle im November 1998, die sich mit einem zweiten Gipfel versehen bis in den April 1999 (im Untergrund bis in den August 1999) auf die Wassergehalte im Boden an dieser Stelle auswirkt, beträgt der Wassersättigungsgrad permanent über 80 %, wobei sowohl im Ober- als auch im Unterboden zeitweise Werte > 90 % festgestellt werden.

EW



DF



OH



Abb. 64: Sättigungstiefenprofil an den Standorten ‚EW‘, ‚DF‘ und ‚OH‘ über einen Zeitraum von 29 Monaten (Erläuterungen siehe Text)

Im Vergleich zu den hochgelegenen Außendeichsstandorten spiegeln die Interpolationen der Binnendeichsstandorte eine wesentlich stärkere Wasserbeeinflussung wider. Dies liegt zum einen an der tieferen relativen Lage und zum anderen am stärkeren Wasserhaltevermögen infolge des höheren Feinporenanteils (s. Kap. 8). Obwohl hinter dem Deich gelegen, zeichnen sich die Hochwasserphasen bei den qualmwassergeprägten Standorten ‚EW‘ und ‚OH‘ deutlich ab. Außerhalb der Einstauphasen wird am Standort ‚DF‘ im sandigen Untergrund der geringste Sättigungsgrad festgestellt. Auffällig ist, daß im Winter 1997 / 98 die Auenlehmdecke bereits

einen Monat vor dem unterliegenden Auensand einen hohen Sättigungsgrad ($> 60\%$) aufweist. Offensichtlich haben die Niederschläge an diesem Standort ausgereicht, um das Porenvolumen weitgehend aufzufüllen. Im homogen aufgebauten Profil ‚OH‘ ist zu beobachten, daß eine meßbare Wasserentnahme während der Vegetationsperioden ausschließlich im obersten Profildrittel stattfindet. Dies steht jedoch im Gegensatz zu den parallel erhobenen Wasserspannungsmessungen (s. Abb. 69), die aufzeigen, daß die Pflanzenwurzeln an dieser Stelle auch aus einer Tiefe von 140 cm dem Boden Wasser entziehen. Aufgrund der sehr flach verlaufenden pF-WG-Kurve in dem tonreichen Profil bedingen hier aber bereits geringe Wassergehaltsänderungen hohe Spannungszunahmen.

Um die Veränderungen des pflanzenverfügbaren Wasservorrats über den Untersuchungszeitraum an den einzelnen Teststandorten aufzuzeigen, wurde von den ermittelten Wassergehalten einer jeden Meßtiefe zunächst der entsprechende Totwasseranteil abgezogen und anschließend die Ergebnisse einer Stichtagsmessung tiefengewichtet bis in 1,5 m aufaddiert. Die Resultate sind in den Abbildungen 65 und 66 dargestellt. Grau unterlegt ist der Wasservorrat im Profil, die gestrichelte Linie markiert die Grenze vom Haft- zum Sickerwasser. Werte oberhalb dieser Markierung ergeben sich aufgrund von Einstauverhältnissen. Befindet sich der Wasservorrat unterhalb der Linie, bedeutet dies, daß es infolge des Wasserentzugs zu einer Zehrung des gegen die Schwerkraft im Boden gehaltenen Haftwasservorrates gekommen ist. Beginn, Dauer, Ausmaß sowie Ende der Austrocknungsphasen sind abhängig von der Höhenlage, den klimatischen Verhältnissen, dem Profilaufbau und der Vegetation.

Beim Standort ‚EH‘ zeigt sich, daß das Sommerhochwasser 1997 keinerlei Auswirkungen auf den Wasservorrat gehabt hat. Im darauf folgenden relativ feuchten Jahr 1998 reichen die Niederschlagsmengen zwar nicht aus, um die nutzbare Feldkapazität des Profils (214 mm) komplett aufzufüllen, bis auf den Oktober kommt es in diesem Jahr aber auch zu keiner nennenswerten Zehrung aus dem Speicher. Zu- und Entnahme halten sich annähernd die Waage. Das Hochwasser im November 1998 sorgt erstmalig während der Beobachtungsphase für einen starken Anstieg des Wassergehaltes im Profil, wobei sich die Geschwindigkeit von Zu- und Abnahme oberhalb der Haftwassergrenze entsprechen. Im Anschluß an die Hochwasserwelle verbleibt der Wasservorrat im Bereich der maximal nutzbaren Feldkapazität. Die zweite Welle im März 1999 zeigt vergleichbare Effekte. Nach Rückgang der hochwasserbedingten Wassergehalte setzt Anfang April der Wasserentzug über die Pflanzen ein. Im anschließenden halben Jahr reduziert sich der Vorrat im Boden um 171 mm auf ein Minimum von 43 mm. Es ist zu beobachten, daß, je kleiner der Restwassergehalt im Profil ist, die Entnahmegeschwindigkeit verstärkt zurückgeht.

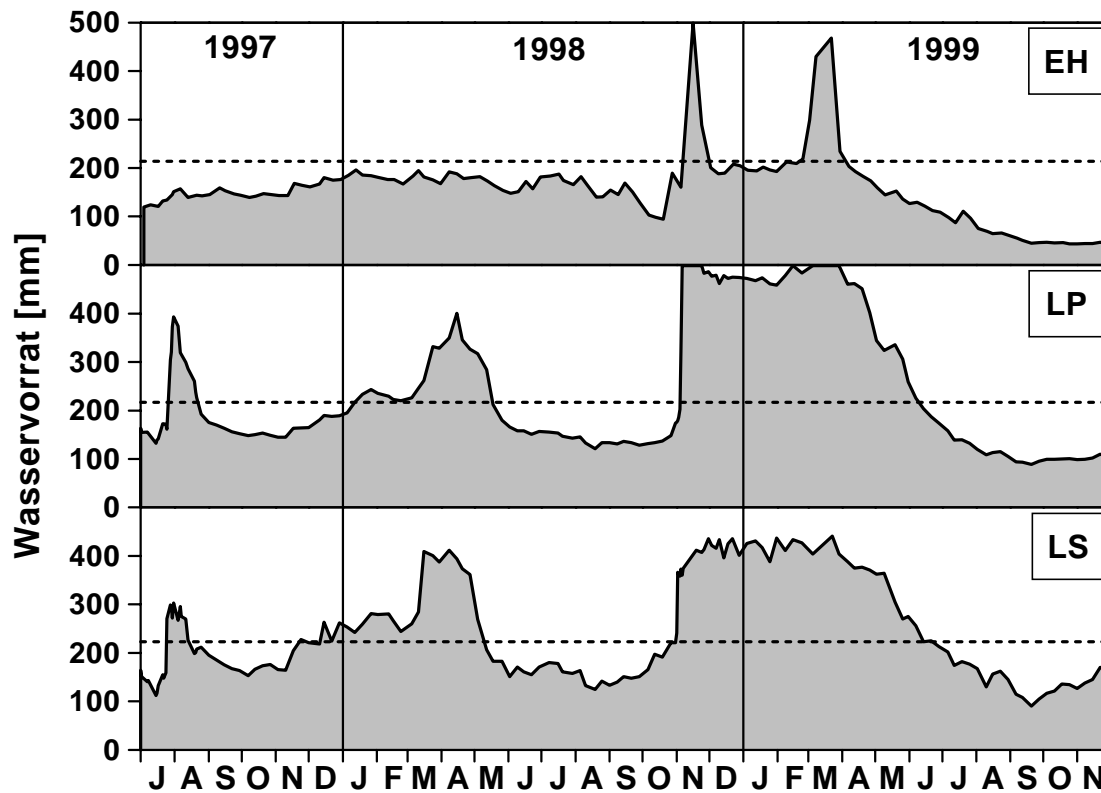


Abb. 65: Wasservorrat an den Standorten ‚EH‘, ‚LP‘ und ‚LS‘ über den Untersuchungszeitraum (Erläuterungen siehe Text)

Die Auswirkungen der Hochwasserphasen auf den Wasservorrat sind bei dem in bezug auf den Mittelwasserstand der Elbe gut einen Meter tiefer gelegenen Standort ‚LP‘ wesentlich ausgeprägter. Hier verursachen bereits die beiden niedrigeren Wellen im August 1997 und März / April 1998 eine Überschreitung des Wasservorrates über die nutzbare Feldkapazität hinaus. Im Gegensatz zum Standort ‚EH‘ ist an dieser Stelle, sowohl was das Jahr 1997 als auch 1998 betrifft, von einer deutlichen sommerlichen Austrocknung des Bodens zu sprechen. Im vergleichsweise trockenen Jahr 1999 verstärkt sich diese noch weiter. Interessant ist außerdem, daß der Wasserzuschuß über das Sommerhochwasser 1997 bereits nach wenigen Wochen aufgezehrt ist und sich das vorangegangene Vorratsniveau wieder einstellt. Offensichtlich ist der Verbrauch der Pflanzen in Zeiten hohen Angebots dementsprechend hoch, was auf der anderen Seite auch den verminderten Entzug bei niedrigen Wasservorräten erklärt. Ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Standorten ist die Tatsache, daß der Wassergehaltsrückgang im Anschluß an die Hochwasserphasen im Vergleich zum ‚Elbholz‘ hier verlangsamt ist. Vollzieht er sich im ‚Elbholz‘ innerhalb einer Woche, sind es beim Plateau-Standort dagegen zwei Monate. Aus diesem Grund sind die Pflanzen hier verstärkt in der Lage, auch aus dem

Sickerwasseranteil zu schöpfen. Wieviel an das Grundwasser abgegeben wird und wie hoch der durch die Vegetation aufgenommene Prozentsatz ist, läßt sich aus dieser Versuchsanordnung nicht bestimmen.

Im Hinblick auf den Wasservorrat besteht eine große Ähnlichkeit zwischen den Standorten ‚LP‘ und ‚LS‘. Sowohl Hochwasser- als auch Austrocknungsphasen verlaufen weitestgehend parallel. Differenzen zeigen sich bei der Wiederbefeuchtung. Diese setzt beim rund eineinhalb Meter tiefer gelegenen Rinnenstandort in allen drei Beobachtungsjahren deutlich früher ein. Außerdem zeigt sich, daß aufgrund der sehr hohen Luftkapazität im Hochwasserfall deutlich mehr Wasser in das Profil ‚LP‘ gelangt als in die anderen Standorte.

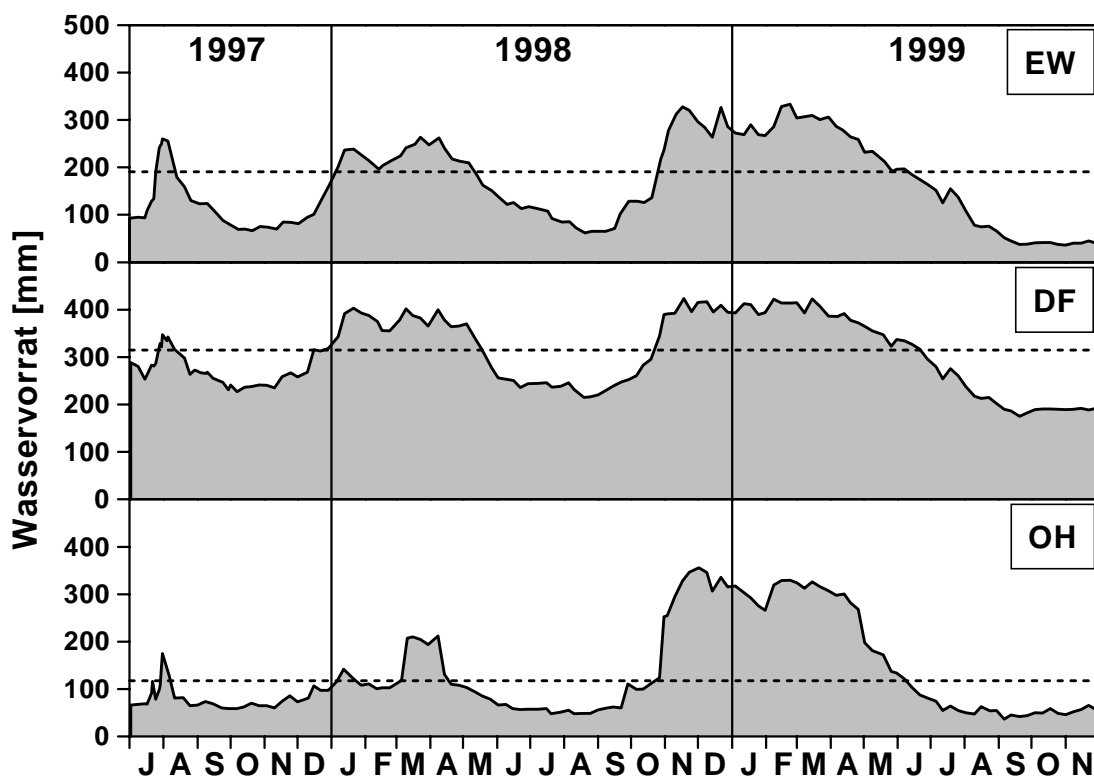


Abb. 66: Wasservorrat an den Standorten ‚EW‘, ‚DF‘ und ‚OH‘ über den Untersuchungszeitraum (Erläuterungen siehe Text)

Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen den Außendeichs- und den Binnendeichsstandorten hinsichtlich des Wasservorrates ist auf den ersten Blick nicht auszumachen. Es dominieren ebenfalls die hochwasserinduzierten Wassergehaltszunahmen sowie die sommerlichen Austrocknungsphasen das Bild. Aufgrund der feinkornreichen Textur (zumindest was die Auenlehmdecke betrifft) ist der Wassergehaltsrückgang im Nachgang an die Hochwasserphasen

bis zum Erreichen der Feldkapazität an allen drei Binnendeichsstandorten sowie am Standort ‚LS‘ gegenüber den anderen in einem solchen Maße verlangsamt, daß die Pflanzen von dem langsam drainenden Wasser über einen längeren Zeitraum profitieren können. Erst unterhalb der Feldkapazität ist die weitere Abnahme allein auf die Evapotranspiration zurückzuführen. Wie bereits beim Plateau-Standort beschrieben, hat, insbesondere was den bewaldeten Standort ‚EW‘ betrifft, das Sommerhochwasser eine nur kurzfristige Aufsättigung zur Folge. Nach Rückgang des Elbwasserspiegels sinkt der Wasservorrat sogar unter das Ausgangsniveau vom Juli desselben Jahres. Addiert man zum Vorrats-Rückgang von 191 mm (31.07.97: 260 mm, 21.10.97: 69 mm) noch die in dem Zeitraum (82 Tage) gefallene Niederschlagsmenge (83 mm) dazu, ergibt dies, unter der Voraussetzung, daß es zu keinerlei Versickerung ins Grundwasser gekommen ist, mit 274 mm die Menge an Wasser, die am Standort ‚EW‘ während dieser Phase verdunstet wäre, dies entspricht 3,3 mm/d. Anzunehmen ist allerdings, daß ein Teil des Wasservorrats (ca. 70 mm) mit dem Rückgang des Grundwasserstands versickert ist (Abnahme in der ersten Woche bei Wassergehalten oberhalb der Feldkapazität). Das Beispiel zeigt, daß sich durch das Hochwasser der Wasservorrat um ca. 170 mm erhöht hat, von denen 70 mm wieder versickerten. Mithin verbleibt eine Differenz von 100 mm, die dem Eichwald als Zusatzwasser zur Verfügung stand. Dieser Differenzbetrag ist der höchste aller Standorte. Im Vergleich zu den beiden anderen Binnendeichsstandorten fallen die Auswirkungen der Hochwasserphasen im ‚Oberholz‘ wesentlich geringer aus. Bei den beiden ersten Hochwässern wird dies am besten sichtbar. Erst die langanhaltende dritte Hochwasserphase führt zu einer durchgängigen Änderung des Wasservorrates im gesamten Profil. Infolge des stark tonhaltigen Profilaufbaus und dem daraus resultierenden hohen Totwasseranteils fällt hier nicht nur die nutzbare Feldkapazität sehr gering aus (118 mm bis 1,5 m Tiefe), der Entzug ist auch der niedrigste aller sechs Standorte. Mit 315 mm für eine berücksichtigte Profiltiefe von 1,5 m weist der Standort ‚DF‘ den höchsten Wasservorrat aller Teststandorte auf. Davon befinden sich allerdings 81 mm unterhalb des Wurzelraumes. Daher wird selbst während des Sommers 1999 ein Minimalwert von 175 mm nicht unterschritten. Der Standort profitiert im Sommer nicht von den Elbhochwässern, da lediglich im nicht durchwurzelten Unterboden der Wasserspiegel ansteigt, im Oberboden führen nur die zeitgleichen Niederschläge zu Wassergehaltszunahmen. Auch die Winterhochwässer wirken sich durch ansteigende Grundwasserstände nicht bis in den Oberboden aus, so daß der lokale Wasserhaushalt nur wenig elbwassergeprägt ist. Allgemein sind die höchsten Entzüge auf den Waldstandorten zu beobachten.

9.1.3 Wasserspannung und Bodenfeuchteregime

Auf die enge aber dennoch variable Beziehung der Wasserspannung zum Wassergehalt wurde bereits im Kapitel 5.5.1 eingegangen. Einführend wird an dieser Stelle, stellvertretend für die übrigen Standorte, der Wassergehalts- und Spannungsverlauf am Standorte ‚LP‘ (Meßtiefe 1)

erläutert, bevor in einem zweiten Schritt der Wasserspannungsverlauf aller sechs Teststandorte in 40 cm und 100 cm Tiefe gegenüber gestellt wird. Es schließt sich eine schematische Darstellung zweier vollständiger Wasserspannungs-Tiefenprofile (*,EH'* und *,LS'*) und die Auswertung der Saugspannungsganglinien hinsichtlich des Vorkommens charakteristischer Wasserspannungszustände an. Es folgt am Beispiel des Standortes *,EW'* eine Beschreibung des hydraulischen Potentials für einen Beispielmonat sowie die Darstellung der Tagesrhythmik. In dem zweiten Unterkapitel werden anhand des vorhandenen Datenmaterials die Bodenfeuchteverteilungsklassen ermittelt und exemplarisch für den Standort *,DF'* der Bodenfeuchteregimetyp ausgewiesen. Außerdem wird die Einordnung in das im Kapitel 5.5.3 vorgestellte Bodenfeuchtedreieck vollzogen. Darüber hinaus wird versucht, eine Beziehung zwischen gemessener Bodenfeuchte und angesprochenem Bodentyp herzustellen. Grundsätzlich gilt, daß es sich bei den Angaben von Saugspannungen oberhalb von 1000 hPa um unter zur Hilfenahme der Feld-pF-Kurven aus den parallel erhobenen Wassergehalten berechnete Werte handelt (s. Kap. 5.5.1).

Wasserspannung

Der nahezu spiegelverkehrte Verlauf von Wassergehalt und Wasserspannung wird aus der Abbildung 67, die die oberste Meßtiefe am Standort *,LP'* zeigt, sichtbar. Steigende Wassergehalte bedingen zurückgehende Saugspannungswerte und umgekehrt, wobei resultierend aus dem Verlauf der pF-WG-Kurve die Auswirkungen der Wassergehaltsänderungen auf die Bodenwasserspannung sehr unterschiedlich ausfallen können. Mit Ausnahme der Überstauungsphasen, bei denen die Wassergehalte so stark ansteigen, daß annähernd das gesamte Porenvolumen der Meßtiefe wassererfüllt ist, liegen in den übrigen Zeiten die Werte überwiegend zwischen 20 Vol.-% und 37 Vol.-%. Die Wasserspannung variiert in dieser Phase zwischen 20 hPa und 1000 hPa. Sinken die Bodenwassergehalte unter 20 Vol.-% ab, überschreiten die Wasserspannungswerte die Marke von 1000 hPa. Der permanente Welkepunkt (15.000 hPa) wird jedoch zu keinem Zeitpunkt erreicht (Maximalwert: 1700 hPa). Wassergehalte oberhalb von 37 Vol.-% ergeben negative Wasserspannungswerte (Minimalwert: - 110 hPa). Freies Wasser tritt an dieser Meßstelle ausschließlich während der Hochwasserphasen auf, das heißt, Niederschläge können in dem Maße an die unterliegenden Schichten abgeführt werden, daß es zu keinem Wasserstau im Profil kommt. Nach Aufsättigung der vorhandenen Fein-, Mittel-, sowie der engen Grobporen des Bodens über die Niederschläge wird weiteres Regenwasser ungehindert an die unterliegenden Schichten abgeführt.

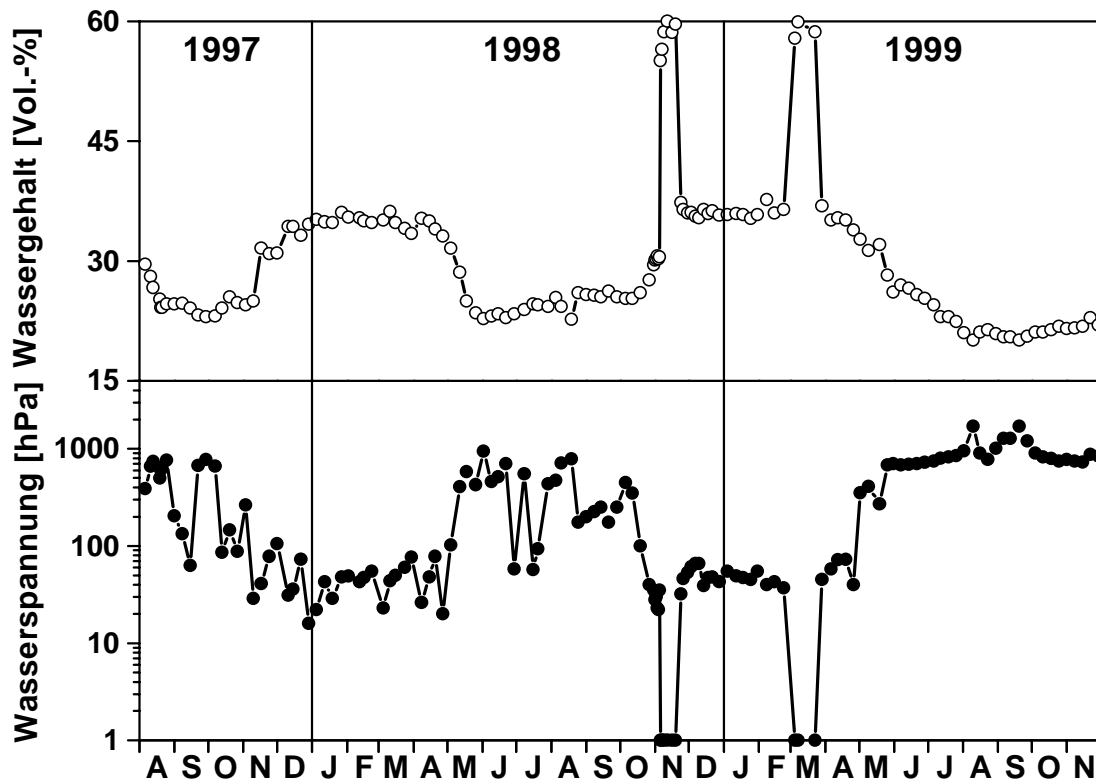


Abb. 67: Wassergehalts- und Wasserspannungsverlauf am Standort ‚LP‘ (Meßtiefe 1) über einen Zeitraum von 29 Monaten

Mit der Gegenüberstellung der Ergebnisse zu den Saugspannungsmessungen in zwei ausgesuchten Meßtiefen (ca. 40 cm und ca. 100 cm unter der Geländeoberfläche) soll aufgezeigt werden, daß die Wasserspannungsverläufe an den sechs Teststandorten nicht nur über die Zeit, sondern darüber hinaus auch noch vertikal stark variieren können. Den Abbildungen 68 und 69 ist zu entnehmen, daß der Wasserentzug, dem Hauptvorkommen der Pflanzenwurzeln entsprechend, in der Regel in den oberen Bodenschichten höher ist als in den unteren. Ferner sind die klimatisch bedingt unterschiedlich starken und zu verschiedenen Zeitpunkten des Jahres einsetzenden Potentialanstiege abzulesen. Abhängig von der Textur und der Vegetation führt dies zu den erkennbaren Differenzen.

Betrachtet man die einzelnen Verläufe in der oberen der beiden dargestellten Meßtiefen, zeigt sich, daß es im Jahr 1997 lediglich an drei Standorten (‚LP‘, ‚LS‘, ‚EW‘) zu einem nennenswerten Anstieg der Wasserspannung gekommen ist. Aufgrund des Zuschusses über das Sommerhochwasser ist, trotz der vergleichsweise ungünstigen klimatischen Wasserbilanz in diesem Jahr, das Einsetzen des Spannungsanstiegs im Vergleich zu den beiden anderen Jahren

deutlich später. Im Folgejahr (1998) weisen mit Ausnahme des Standortes ‚EH‘ alle übrigen Werte oberhalb von 500 hPa auf. Im Gegensatz zum vorangegangenen Jahr ist nun, zeitlich gesehen, kaum ein Unterschied zwischen den beiden Landschaftseinheiten auszumachen. Ein weiteres Jahr später (1999) kommt es im August / September schließlich auch am Standort ‚EH‘ zu einem sprunghaften Anstieg der Saugspannung. Nicht nur die Höhe des Potentialanstiegs sondern auch die zeitliche Ausdehnung der Trockenphase ist an den sechs Meßorten 1999 wesentlich ausgeprägter als 1998.

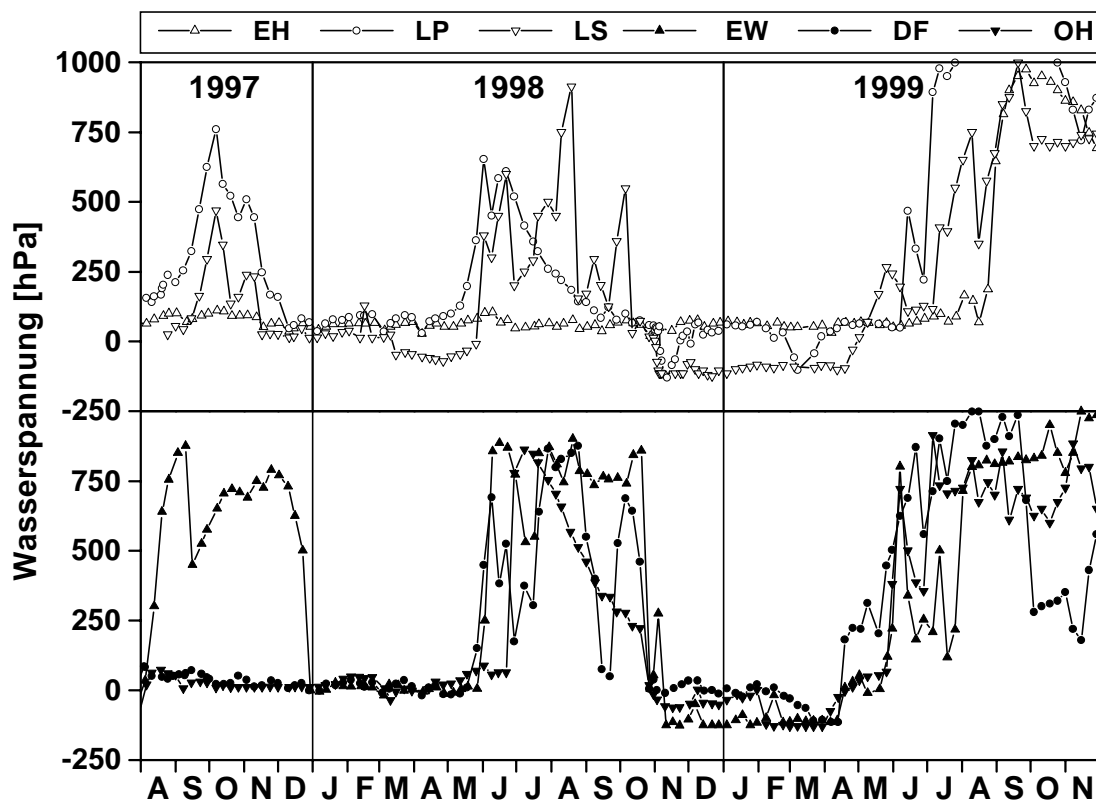


Abb. 68: Gegenüberstellung des Wasserspannungsverlaufes in einer Meßtiefe von ca. 40 cm der außendeichs gelegenen Teststandorte (oberer Teil) zu den binnendeichs befindlichen (unterer Teil) über einen Zeitraum von 29 Monaten

Ungefähr 60 cm tiefer zeigt sich ein ähnliches Bild. Auch hier wirken sich die unterschiedlichen klimatischen Wasserbilanzen der Einzeljahre individuell auf die Bodenwasserspannung der Teststandorte aus. Erreichen in den ersten beiden Jahren lediglich zwei Standorte (1997: ‚EW‘ und ‚OH‘, 1998: ‚DF‘ und ‚OH‘) Werte oberhalb von 500 hPa und dies erst relativ spät im Jahr, setzt der Wasserentzug 1999 nicht nur früher ein, er hält auch länger an (1997: September - Dezember, 1998: August - Oktober, 1999: Mai - November). Zusätzlich ist das standorts-

bezogene Jahresmaximum stark abweichend. Außerdem sind 1999 fünf Standorte (*LP*, *LS*, *EW*, *DF*, *OH*) von einer deutlichen Austrocknung in dieser Bodentiefe betroffen, die beiden Jahre zuvor waren es dagegen nur zwei (*DF*, *OH*).

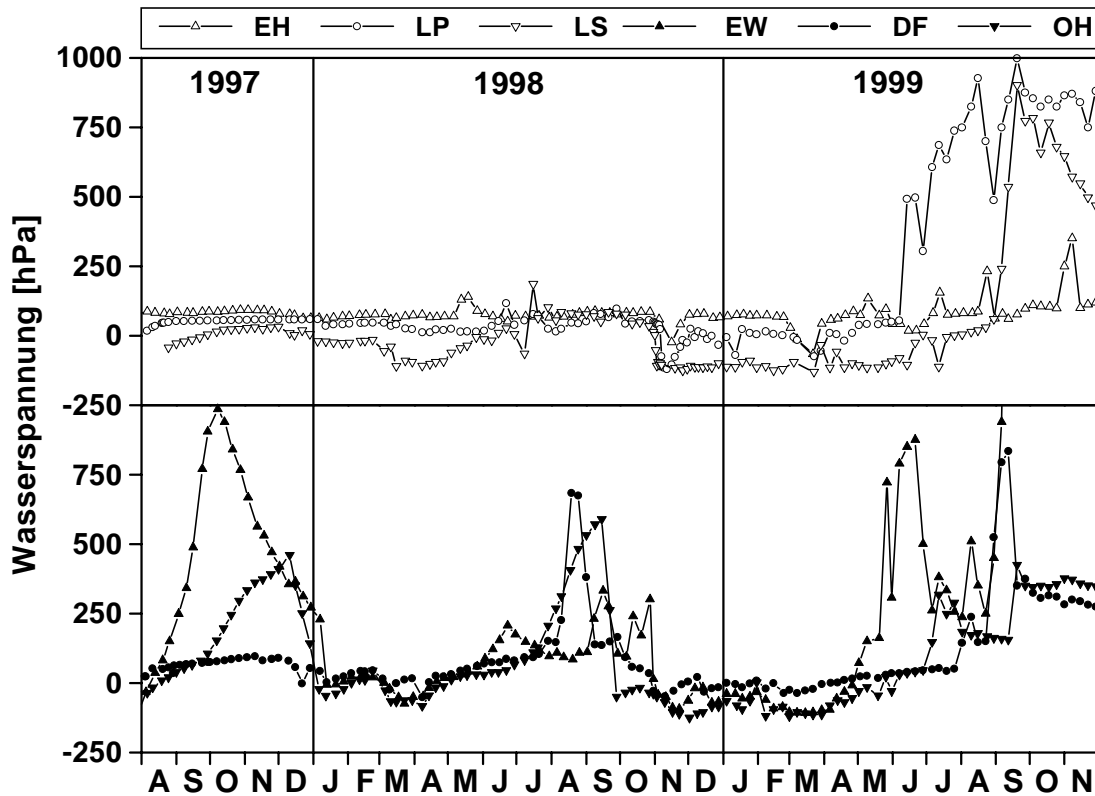


Abb. 69: Gegenüberstellung des Wasserspannungsverlaufes in einer Meßtiefe von ca. 100 cm der außendeichs gelegenen Teststandorte (oberer Teil) zu den binnendeichs befindlichen (unterer Teil) über einen Zeitraum von 29 Monaten

Das Über- bzw. Unterschreiten bestimmter Kenngrößen der Bodenwasserspannung (0 hPa, 25 hPa, 500 hPa, 15.000 hPa) in den fünf Meßtiefen der beiden außendeichs gelegenen Standorte *EH* und *LS* zeigt die Abbildung A18. Aufgrund des Profilaufbaus und der Höhenlage unterscheiden sich die Ergebnisse grundsätzlich. Während es beim Uferwall-Standort lediglich vereinzelt und dann nur kurz andauernd zu positiven Matrixpotentialen kommt, dominieren diese eindeutig das Rinnenprofil. Innerhalb der Hochwasserzeiten im Frühjahr 1998 sowie im Winter 1998 bis in das Frühjahr 1999 andauernd werden im letzteren piezometrische Potentiale über das gesamte Profil festgestellt. Im Gegensatz dazu wird der Uferwall von der Wasserspannungsklasse 25 hPa bis 500 hPa beherrscht. Sie macht gut 80 % des Gesamtmeßzeitraumes aus. In der verbleibenden Zeit sind besonders im unteren Profilbereich nasse Phasen auszumachen, wobei interessanterweise die dritte Meßtiefe den größten diesbezüglichen Anteil

aufweist. Inwieweit dies auf einen möglichen Kapillarsprung zurückzuführen ist, bleibt jedoch offen. Darüber hinaus bemerkenswert ist, daß für das Beobachtungsjahr 1999 eine über drei Monate andauernde Phase mit Saugspannungswerten oberhalb von 15.000 hPa im Oberboden auftritt und daß es auch in der fünften Meßtiefe noch zu Spannungswerten oberhalb von 500 hPa kommt, während die stark sandigen, nährstoffarmen mittleren Profilmereiche selbst in diesen Zeiten von einer gleichstarken Wasserentnahme ausgespart bleiben. Ein Umstand, der der im Gelände vorgefundenen Wurzelverteilung entspricht. Beim durchweg bindigen Rinnenstandort erstreckt sich die Wasserentnahme dagegen über das gesamte Profil. Im Herbst 1999 werden bis in die vierte Tiefe hinab Werte oberhalb von 500 hPa und in der fünften Tiefe bis 500 hPa gemessen.

Tab. 37: Vorkommen charakteristischer Wasserspannungswerte (Prozent des Untersuchungszeitraumes) an den Außendeichsstandorten ‚EH‘, ‚LP‘, und ‚LS‘ während des Untersuchungszeitraumes

Vorkommen [%]		Tiefe 1	Tiefe 2	Tiefe 3	Tiefe 4	Tiefe 5
EH	< 0	0	0	9,1	3,1	5,0
	0 hPa - 25 hPa	2,1	0,8	11,3	3,2	1,4
	25 hPa - 500 hPa	76,5	88,6	79,6	93,7	82,0
	500 hPa - 15.000 hPa	9,0	10,6	0	0	11,6
	> 15.000 hPa	12,4	0	0	0	0
LP	< 0	4,5	5,5	12,2	12,0	29,2
	0 hPa - 25 hPa	3,7	3,6	6,2	20,1	8,3
	25 hPa - 500 hPa	56,0	67,2	81,6	51,0	62,5
	500 hPa - 15.000 hPa	35,8	22,5	0	16,9	0
	> 15.000 hPa	0	1,2	0	0	0
LS	< 0	36,1	29,0	48,0	59,7	90,0
	0 hPa - 25 hPa	4,5	17,5	11,2	15,3	1,4
	25 hPa - 500 hPa	39,8	36,7	27,0	16,9	8,6
	500 hPa - 15.000 hPa	19,6	16,8	13,8	8,1	0
	> 15.000 hPa	0	0	0	0	0

Das Vorkommen charakteristischer Wasserspannungswerte, ausgedrückt als prozentualer Anteil am Gesamtzeitraum, wird, getrennt für die beiden Landschaftsräume und sortiert nach der relativen Höhe, in den Tabellen 37 und 38 für alle Meßtiefen aufgelistet. Aufgrund der Aufteilung in die einzelnen Spannungsklassen ist man in der Lage, auch mehrgipfelige Verteilungen auszumachen. Außerdem können Zeitspannen, in denen für die Vegetation relevante Spannungsbereiche (Sättigung, Überschreitung des permanenten Welkepunktes)

auftreten, benannt werden. Die Prozentangaben beziehen sich auf die jeweiligen Meßzeiträume an den Standorten (s. Kap. 5.7).

Tab. 38: Vorkommen charakteristischer Wasserspannungswerte (Prozent des Untersuchungszeitraumes) an den Binnendeichsstandorten ,EW', ,DF', und ,OH' während des Untersuchungszeitraumes

Vorkommen [%]		Tiefe 1	Tiefe 2	Tiefe 3	Tiefe 4	Tiefe 5
EW	< 0	6,0	25,4	30,9	28,7	33,4
	0 hPa - 25 hPa	23,3	14,2	12,3	9,2	12,0
	25 hPa - 500 hPa	30,6	14,1	23,4	39,5	48,8
	500 hPa - 15.000 hPa	29,2	35,6	33,4	22,6	5,8
	> 15.000 hPa	10,9	10,7	0	0	0
DF	< 0	2,8	16,8	15,4	17,4	31,4
	0 hPa - 25 hPa	19,6	23,3	17,9	17,9	16,5
	25 hPa - 500 hPa	51,9	35,8	49,8	60,9	52,1
	500 hPa - 15.000 hPa	25,7	24,1	16,9	3,8	0
	> 15.000 hPa	0	0	0	0	0
OH	< 0	24,1	23,6	33,0	44,0	47,9
	0 hPa - 25 hPa	29,2	22,4	10,3	18,5	5,6
	25 hPa - 500 hPa	20,0	28,0	34,1	35,2	30,7
	500 hPa - 15.000 hPa	25,1	26,0	22,6	2,3	15,8
	> 15.000 hPa	1,6	0	0	0	0

Es zeigt sich, daß eine Unterscheidung der Ergebnisse aufgrund der Zugehörigkeit zu einer der beiden Landschaftseinheiten nicht möglich ist. Faßt man die Daten der Tabellen 37 und 38 zusammen, ist zu erkennen, daß die ersten vier Wasserspannungsklassen (< 0 bis 15.000 hPa) zeitlich gesehen die weitaus dominierenden Saugspannungsbereiche im Untersuchungsgebiet darstellen. Wie für den durchwurzelten Bereich von Böden mit einer ungehinderten Entwässerung zu erwarten ist, überwiegt die Wasserspannungsklasse zwischen 25 und 500 hPa insbesondere bei den beiden höchstgelegenen Standorten ,EH' und ,LP'. Aber auch am in seinem Grundwasserstand regulierten Standort ,DF' ist dies der Fall. Bei den verbleibenden drei Standorten zeigt sich neben dem Maximum innerhalb der Stauwasserverhältnisse (< 0 hPa) noch ein zweites im Bereich von 25 - 500 hPa bzw. am Standort ,OH' eine nahezu gleichmäßige Aufteilung auf die ersten vier Klassen, zumindest was die obersten beiden Tiefen angeht. Ökologisch relevant ist, daß an vier Teststandorten (,EH', ,LP', ,EW', ,OH') in wenigstens einer der beiden obersten Meßtiefen Saugspannungen oberhalb von 15.000 hPa festgestellt wurden. Insbesondere die bewaldeten Standorte (,EH', ,EW') sind mit über 10 % des

Untersuchungszeitraumes, das entspricht ungefähr 90 Tagen, hervorzuheben.

Der Einfluß des Grundwasserflurabstandes auf das Matrix- bzw. das piezometrische Potential des Bodens wird deutlich, wenn man sich die während einer Sättigungsphase über einen Zeitraum von zwei Wochen (10.02.99 - 24.02.99) kontinuierlich aufgezeichneten Wasserspannungswerte am Standort ‚EW‘ anschaut (s. Abb. 70). Unter der Berücksichtigung der Einbautiefen (T1: 10 cm, T2: 35 cm, T3: 70 cm, T4: 100 cm, T5: 125 cm) zeigt sich für die fünf Meßtiefen annähernd ein Potentialgleichgewicht. Das hydraulische Potential ist über das gesamte Bodenprofil annähernd gleich. Potentialänderungen prägen sich zeitgleich über alle Meßtiefen durch. Betrachtet man die geringen Unterschiede als real und nicht als methodisch bedingt, findet in dieser Phase nur ein sehr geringer, aufwärts gerichteter Wasserfluß statt.

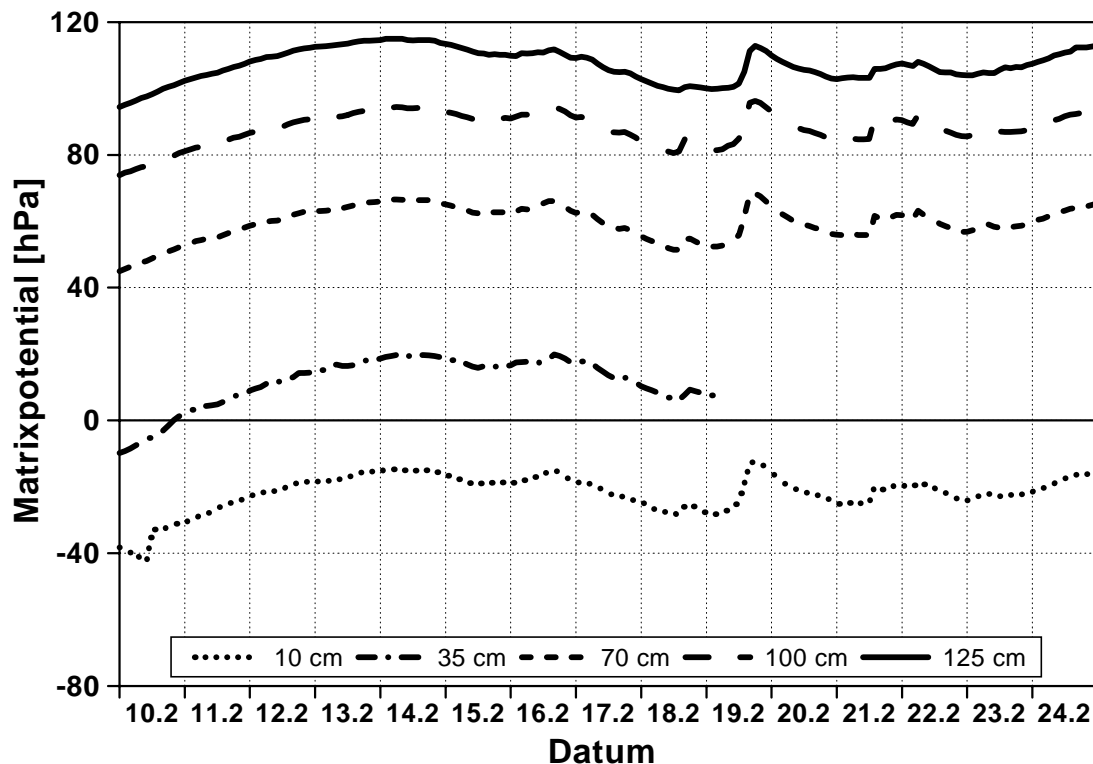


Abb. 70: Darstellung der kontinuierlich aufgezeichneten Wasserspannung am Standort ‚EW‘ in der Zeit vom 10.02.1999 bis 24.02.1999

Während des Gesamtmeßzeitraumes ist die Phase der Stagnation in diesem Profil zeitlich eng begrenzt. Ausschließlich im März 1998 sowie im Zeitraum von November 1998 bis März 1999 ist es zu derartigen Verhältnissen gekommen. In den übrigen Phasen überwiegt größtenteils der aufwärts gerichtete Wasser- und damit auch Stofffluß. Im Sommer wird dieser angetrieben durch

den Wasserentzug der Pflanzen und im Winter durch die ansteigenden Grundwasserstände. Eine Versickerung aus dem Profil ist auf die Monate Januar - Februar 1998 und April - Mai 1998 beschränkt. Die Versickerungsleistung (Grundwasserneubildung) beläuft sich in diesem Zeitraum auf ca. 170 mm.

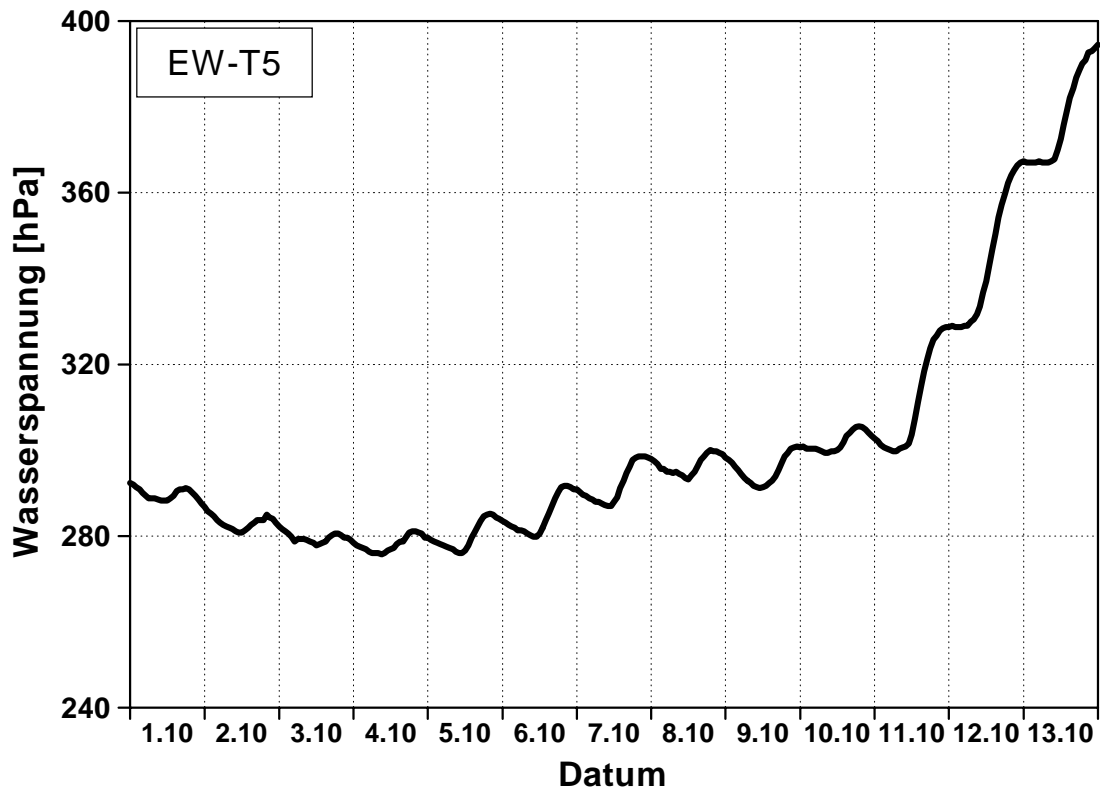


Abb. 71: Tagesgang der Saugspannung am Standort ‚EW‘ (Meßtiefe 5: 125 cm GOF) in der Zeit vom 01.10.1999 bis 13.10.1999

Daß die Saugspannung im Boden einer Tagesrhythmik unterworfen ist, erkennt man an der Abbildung 71. Sie zeigt den Wasserspannungsverlauf am Standort ‚EW‘ in der fünften Meßtiefe über eine Spanne von fast zwei Wochen (01.10.99 - 13.10.99). In den ersten zehn Beobachtungstagen schwanken die Meßwerte innerhalb eines Tages um höchstens 10 hPa. Während in den ersten vier Tagen dieses Zeitraums ein leichter Abwärtstrend bis zum Tiefstpunkt am 04.10.99 zu beobachten ist, steigt die Saugspannung in den darauf folgenden sechs Tagen über das ursprüngliche Maß wieder an. Für diese Phase gilt, daß sich das Tagesminimum gegen Mittag einstellt und daß das Maximum in den späten Abendstunden liegt. Ab dem 11. Meßtag sind, obwohl die Vegetationsperiode bereits fast beendet ist, Spannungszuwächse von bis zu 40 hPa pro Tag zu verzeichnen. In den Nachtstunden bleibt das tags zuvor erreichte Spannungsniveau erhalten. Ein Rückgang wie in dem vorangegangenen

Abschnitt zu erkennen ist, tritt nicht auf. Versucht man die Ergebnisse auf gleichsam bindige aber höher gelegene und stärker durchwurzelte Profilmereiche zu übertragen, so ist damit zu rechnen, daß die aufgezeigten Verhältnisse nicht nur in ihrer Amplitude ausgeprägter, sondern auch zeitlich gesehen (sowohl was den Tages- als auch was den Jahresgang betrifft) früher einsetzen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Saugspannung im Boden zum einen von der Lage des Profils zum Grundwasserspiegel gesteuert wird. Dies beeinflußt maßgeblich die Dauer der Vernässung des Standortes. Die Austrocknung dagegen steht nicht unmittelbar in einer Beziehung zur Geländehöhe. Textur und Vegetation modifizieren das System. Dem Wasserpotential-Verlauf in der Pflanze entsprechend, zeigt sich auch im Boden ein Tagesgang der Wasserspannung. Anhand des hydraulischen Potentials läßt sich für die überwiegende Zeit des Jahres eine aufwärts gerichtete Wasserbewegung im Profil nachweisen, was auch den vorgefundenen Profilmereichen (speziell der Eisen- und Manganverteilung) entspricht (s. Kap. 8.3).

Bodenfeuchteregime

Werden an den Meßreihen der sechs Teststandorte die in Kapitel 5.5.3 vorgestellten Differenzierungsschritte bezüglich der Ausweisung der Feuchteverteilungsklassen nach ZEPP [1995] durchgeführt, erhält man aufgrund der Saugspannungs-Tiefenprofile eine Vorstellung über einen entscheidenden Teilaspekt des Landschaftswasserhaushaltes. Die detaillierten bodenhydrologischen Aufnahmen ermöglichen eine qualifizierte Aussage zur Bodenfeuchtedynamik. Mit der Ausweisung der Bodenfeuchteregimetypen ist ein Instrument gegeben, mit dem die Ergebnisse der Zeitreihen-Untersuchungen der einzelnen Standorte zu vergleichen und zu bewerten sind.

Die Feuchteverteilungsklassen aller Meßtiefen während der Vegetationsperiode der Jahre 1998 und 1999 sowie des Gesamtmeßzeitraumes sind in den Tabellen 39 und 40 aufgelistet. Da sich die Vegetationsperioden 1998 und 1999 hinsichtlich der klimatischen Wasserbilanz aber auch des Grundwasserregimes deutlich unterscheiden, wirkt sich dies auch auf die entsprechenden Feuchteverteilungsklassen der Teststandorte aus. Die Auswertungen für den jeweiligen Standort ergeben (da auch die Wintermonate mit einbezogen werden) erwartungsgemäß ein wesentlich nasserer Feuchteregime als es die Vegetationsperioden anzeigen.

Tab. 39: Horizontbezogene Feuchteverteilungsklassen [nach ZEPP 1995] der Außendeichsstandorte ‚EH‘, ‚LP‘ und ‚LS‘ während der Vegetationsperiode (April - Oktober) der Jahre 1998 und 1999 sowie des Gesamtuntersuchungszeitraumes

	Tiefe 1	Tiefe 2	Tiefe 3	Tiefe 4	Tiefe 5
Elbholz					
Veg. 98	Fw	F	F	F	FmF
Veg. 99	mFRTw	mFRw	F	F	mFR2
Gesamt	Fw	Fw	F	F	FmF
Lütkenwisch-Hochfläche					
Veg. 98	mFR1	mFR1	F	NsF1	F
Veg. 99	mFRTw	mFRTw	FmF	mFRTw	F
Gesamt	mFRw	FRw	F	NsF2	F
Lütkenwisch-Rinne					
Veg. 98	FmF	mFR1	FRw	F	N
Veg. 99	mFR2	mFR2	FRw	Fw	NsF1
Gesamt	FRw	FRw	Fw	NsF2	NsF1

Was sich aufgrund der Ergebnisse über das Eintreffen und Andauern charakteristischer Wasserspannungswerte bereits angedeutet hat (s.o.), wird durch die Erstellung der horizontbezogenen Feuchteverteilungsklassen verdeutlicht. Die vorgefundenen Klassen reichen von ‚N‘ (permanent naß oder wassergesättigt, z.T. extremer Luftmangel) am Standort ‚LS‘ (Meßtiefe 5, Vegetationsperiode 1998) bis ‚mFRT‘ (überwiegend mäßig frisch und trocken, kurzfristig mäßig feucht, trockengefährdet) am Standort ‚DF‘ (Meßtiefe 2, Vegetationsperiode 1999). Dazwischen wird ein breites Klassenspektrum abgedeckt, wobei insbesondere für die Vegetationsperioden weder aufgrund der Zugehörigkeit zu einer der beiden Landschaftseinheiten noch anhand der relativen Höhe eine eindeutige Ableitung über die zu erwartende Saugspannungsverteilung getätigt werden kann. Die Kombination der abiotischen Einflußgrößen (Substratverteilung, Grundwasserganglinie, Niederschlagsverteilung) mit den speziellen Eigenschaften und Bedürfnissen der Vegetation (Durchwurzelungstiefe, Wasserbedarf) sind als Ursachen zu nennen. Betrachtet man beispielsweise den höchstgelegenen, sandigen Uferwallstandort ‚EH‘, weist dieser zwar die Maximalanzahl an Tagen mit einer Überschreitung des permanenten Welkepunktes auf (s.o.), insbesondere im kühleren und feuchteren Jahr 1998 zeigt sich aber, daß er im Vergleich zu den beiden anderen, bindigeren Außendeichsstandorten nicht in jedem Fall das trockenste Profil aufweist. Da in dem angewendeten Klassifizierungsschlüssel nicht das Auftreten von Saugspannungswerten oberhalb von pF 4,2 abgefragt wird, gibt es aus diesem Grund bezüglich der Feuchteverteilungsklasse des Jahres 1999, zumindest was den Oberboden betrifft, keinerlei Unterschiede zwischen den Standorten ‚EH‘ und ‚LP‘.

Beide werden als ‚mFRTw‘ eingestuft. An den übrigen Teststandorten macht sich ebenfalls vor allem im Oberboden (Meßtiefe 1) die unterschiedliche klimatische Wasserbilanz der Jahre 1998 und 1999 bemerkbar, wobei jedoch Sprünge über mehrere Kategorien wie beim ‚Elbholz‘ nur noch im ‚Oberholz‘ vorkommen. Bei den anderen vier Standorten ist der Unterschied auf maximal eine Stufe begrenzt. In den tieferen Bodenschichten ist die Differenz in den Feuchteverteilungsklassen der zwei Vegetationsperioden zumeist nicht so gravierend. Ausnahmen bilden die Meßtiefe 4 am Standort ‚LP‘ (1998: ‚NsF1‘, 1999: ‚mFRTw‘) und am Standort ‚EW‘ (1998: ‚F‘, 1999: ‚mFR2‘) sowie die fünfte Tiefe am Standort ‚EH‘ (1998: ‚FmF‘, 1999: ‚mFR2‘). Hier sind im zweiten Untersuchungsjahr jeweils deutlich trockenere Feuchteklassen zu verzeichnen.

Tab. 40: Horizontbezogene Feuchteverteilungsklassen [nach ZEPP 1995] der Binnen-deichsstandorte ‚EW‘, ‚DF‘ und ‚OH‘ während der Vegetationsperiode (April - Oktober) der Jahre 1998 und 1999 sowie des Gesamtuntersuchungszeitraumes

	Tiefe 1	Tiefe 2	Tiefe 3	Tiefe 4	Tiefe 5
Eichwald					
Veg. 98	mFRTw	mFRTw	mFR2	F	F
Veg. 99	mFRTw	mFRTw	mFR2	mFR2	Fw
Gesamt	mFR2	mFR2	mFR2	FRw	Fw
Drei-Felder					
Veg. 98	mFR1	mFR2	mFR2	Fw	NsF1
Veg. 99	mFRTw	mFRT	FRw	Fw	NsF1
Gesamt	mFRw	FRw	FRw	Fw	NsF1
Oberholz					
Veg. 98	Fw	mFR2	mFR1	Fw	mFR2
Veg. 99	mFRTw	mFRTw	mFR2	FmF	Fw
Gesamt	mFRw	mFRw	FRw	Fw	Fw

Infolge der starken Variabilität der Feuchteverteilungsklassen sowohl in der Tiefe als auch über die Zeit fällt die Ausweisung der Bodenfeuchteregimetyten, wie in Kapitel 5.5.3 beschrieben, schwer. Das unterschiedliche pflanzenverfügbare Wasser- und Nährstoffangebot in den einzelnen Bodenschichten führt dazu, daß über das Wurzelsystem dem Boden selektiv Wasser entzogen wird. Insbesondere die verschiedenen Niederschlagssituationen (Zeitpunkt und Menge) bewirken in derselben Meßtiefe in aufeinanderfolgenden Jahren erhebliche Spannungsunterschiede. Am konstantesten verhält sich aus dieser Sicht der am weitesten von der Elbe entfernte und in seinem Grundwasserregime künstlich regulierte Standort ‚DF‘. Hier ist von einem mäßig frischen bis trockenen Oberboden und einem wechselfeucht bis nassen Unterboden

zu sprechen. An den übrigen Teststandorten ist die Spanne der Ergebnisse dagegen so groß, daß eine Zusammenfassung wenig aussagekräftig wäre. Das Bewertungssystem von ZEPP [1995] stößt an dieser Stelle an seine Grenzen. Böden mit einem derart stark variablen Bodenwasserhaushalt lassen sich nur schwer in dieses Schema einpassen.

Um die Feuchtedynamik besser abbilden zu können, bedarf es einer graphischen Aufbereitung. Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Bodenfeuchtedreieck entwickelt, daß das Tiefenprofil der Bodenwasserspannung an einem Standort komplett erfassen kann. Es werden dazu die aufgetretenen Saugspannungen auf zwei relevante Bereiche (< 25 und > 500 hPa) reduziert und gegeneinander in einem rechtwinkligen Dreieck aufgetragen. Auf diese einfache Weise besteht nicht nur die Möglichkeit, die für die Pflanzen entscheidenden Bodenfeuchtezustände (naß, trocken, feucht und wechselhaft) voneinander abzugrenzen, sondern auch graduelle Unterschiede aufzuzeigen. Trägt man beispielsweise die Ergebnisse der einzelnen Meßtiefen der beiden Vegetationsperioden in das Dreieck ein, ist man, im Gegensatz zu den festen Grenzen, die das System der Bodenfeuchteregimetypen bedingen, in der Lage, bereits geringfügige Abweichungen in den Anteilen der betreffenden Feuchtezustände auszumachen. Ein weiterer Vorteil dieser Darstellungsweise besteht darin, daß man die Ergebnisse mehrerer Meßjahre auf einen Blick aufnehmen kann.

Bevor die Standorte entsprechend eingeordnet werden können, bedarf es zunächst einer präzisierten Zielsetzung. Als Lebensraum für die Bodenorganismen kann der oberste Bodenhorizont bezeichnet werden, dessen Feuchteregime in den Tabellen 39 und 40 durch die Tiefe 1 gekennzeichnet wird. Aussagen zum Lebensraumfaktor ‚*Bodenorganismen*‘ müssen sich daher auf die oberste Meßtiefe beziehen. Für diesen Tiefenbereich kann der Standortfaktor ‚*Wasserregime*‘ konzeptionell folgendermaßen beschrieben werden: Ist der Standort durch eine hohe nFK, eine tiefreichende Wurzelverteilung und eine ganzjährige Versickerungsfähigkeit gekennzeichnet und ist in der betrachteten Vegetationsperiode die klimatische Wasserbilanz günstig (hohe Niederschlagsmengen in einer gleichmäßigen Verteilung), so wird sich die Wasserspannung auch im Oberboden dauerhaft im Bereich der Feldkapazität und knapp darunter bewegen. Das Feuchteregime ist daher weder durch Nässe noch durch Trockenheit zu kennzeichnen, es gilt als feucht (Fall 1 in Abb. 72). Dieser Zustand ist sowohl für zahlreiche Bodenorganismen als auch für die krautige Vegetation als optimal zu kennzeichnen, da die Stoffumsetzung weder durch Wasser- noch durch Sauerstoffmangel begrenzt ist. Da das Optimum sich in der Realität nur aus der Kombination mehrerer Faktoren ergibt, sind zahlreiche Abweichungen zu erwarten. Folgende sollen hier betrachtet werden. Ein geringerer Wasserüberschuß der klimatischen Wasserbilanz bzw. eine geminderte nutzbare Feldkapazität sowie eine flache Wurzelverteilung führen bei einer ganzjährigen Versickerungsfähigkeit zu mehr Trockenphasen (Fall 2 und 3). Überflutungen oder einwirkendes Qualmwasser während der Vegetationsperiode bewirken einen Anstieg der Naßphase (Fall 4). Liegt keine

Versickerungsmöglichkeit, z.B. aufgrund hochanstehenden Grundwassers vor, führt dies zum Fall 5. Der Boden ist dann als naß zu bezeichnen. In Verbindung mit reaktiven Substanzen (organische Substanz, Eisen- und Manganoxide) führt dies zu einem Absinken des Redoxpotentials. In vielen Fällen treten die Abweichungen vom Optimum in Kombination auf. Beispielsweise kann der Standort ‚EW‘ durch eine verminderte nFK und einwirkenden Qualmwassereinfluß gekennzeichnet werden. Damit ergibt sich eine Abweichungskomponente sowohl in Richtung Trockenheit als auch in Richtung Nässe, wodurch sich im Falle einer hohen KWB (1998) eine Addition zu Fall 6 und im Falle einer niedrigen KWB (1999) zu Fall 7 ergibt.

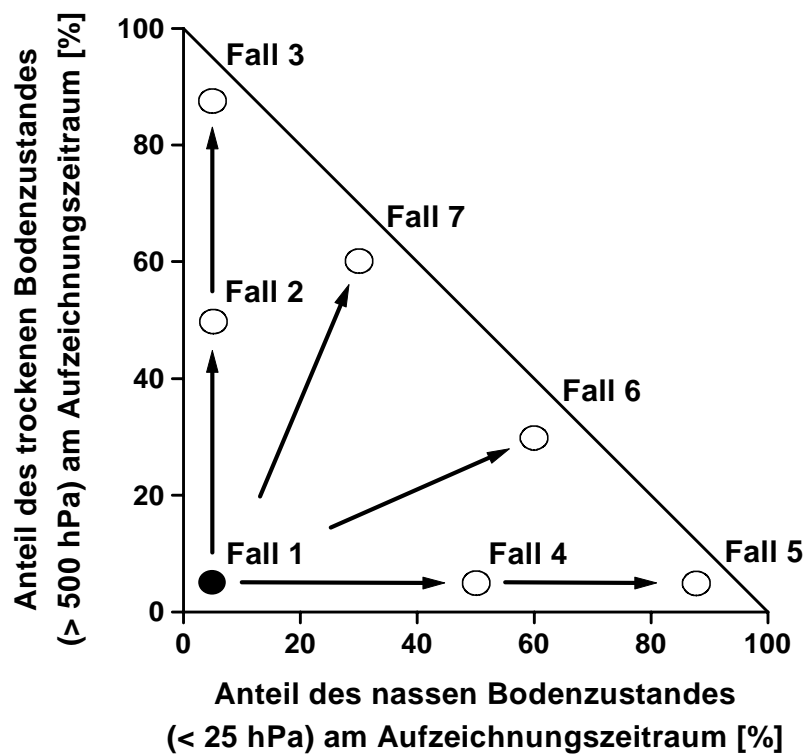


Abb. 72: Konzeptionelle Darstellung der Ergebnisse im Bodenfeuchtedreieck

Die Veränderung der Positionen der einzelnen Meßtiefen innerhalb des Bodenfeuchtedreiecks für die Vegetationsperioden (April bis Oktober) der Jahre 1998 und 1999 für die sechs Teststandorte zeigt die Abbildung 73. Stellvertretend für die übrigen wird im folgenden zunächst das Bodenfeuchtedreieck des Standortes ‚LS‘ näher erläutert, bevor anschließend in allgemeinerer Form für alle Teststandorte zusammengefaßt auf die fünf Meßtiefen eingegangen wird.

In der obersten Meßtiefe des Standortes ‚*LS*‘ steigt im Vergleich der beiden Jahre bei annähernd gleichem Anteil des nassen Bodenfeuchtezustandes (< 25 hPa) der des trockenen von 0 % auf 43 % an. In der darunter folgenden Meßtiefe (2) nimmt dagegen nicht nur die Trockenphase prozentual zu (+ 30 %) sondern auch die Naßphase ab (- 19 %). Die Differenzen in der mittleren Tiefe (3) sind nur gering. Rund die Hälfte des Meßzeitraumes befindet sich die Bodenwasserspannung unterhalb der 25 hPa-Marke und knapp 1/4 der Zeit oberhalb von 500 hPa. Der Spannungsbereich zwischen diesen beiden Größen nimmt den verbleibenden Teil der Meßperiode ein. Die Meßtiefe 4 verhält sich, zumindest was den Anstieg der Trockenphase angeht, ähnlich der zweiten Meßtiefe. Gleichzeitig erhöht sich aber auch der Anteil der Naßphase um gut 18 %, was dazu führt, daß der Horizont im Jahr 1999 zu 2/3 der Vegetationsperiode als naß einzustufen ist. In der untersten Meßtiefe (5) reduziert sich die Naßphase, die 1998 über den gesamten Zeitraum von April bis Oktober angehalten hat, im darauf folgenden Jahr auf 80 %. Eine Entnahme von Bodenwasser aus dieser Bodenschicht in der verbleibenden Zeit in dem Maße, daß es zu einem Anstieg der Saugspannung oberhalb von 500 hPa kommt, ist nicht eingetreten. Zusammenfassend kann dieser Standort unter dem Aspekt der Bodenwasserspannung als stark wechselhafter, im Untergrund nahezu dauerhaft nasser Überflutungsstandort bezeichnet werden.

Betrachtet man die Gesamtheit der Dreiecke, ist bereits auf den ersten Blick auszumachen, daß die einzelnen Positionen für die fünf Meßtiefen innerhalb des Dreiecks im Vergleich der beiden Aufnahmezeiträume allesamt nicht deckungsleich sind, sondern sich jeweils in individuellem Maße unterscheiden. In der obersten Meßtiefe ist bis auf den Standort ‚*EW*‘ für die übrigen ein Anstieg der trockenen Bodenphase von 1998 auf 1999 festzustellen. Dieser vollzieht sich bei den Standorten ‚*EH*‘, ‚*LP*‘, ‚*LS*‘, und ‚*DF*‘ ohne daß sich der Anteil der Naßphase wesentlich ändert. Beim Standort ‚*OH*‘ dagegen reduziert sich der Zustand ‚*naß*‘ um nahezu dasselbe Maß, wie der Zustand ‚*trocken*‘ zunimmt. Die zweite Meßtiefe verhält sich bei allen Standorten ähnlich der ersten, wenngleich das Ausmaß der Veränderung zumeist geringer ist. Bei der dritten Tiefe ist das Bild uneinheitlich. Während die in dieser Tiefe überwiegend reinsandigen Außen-deichsstandorte nur geringe Abweichungen zwischen beiden Jahren aufweisen, sind die Unterschiede bei den eingedeichten bindigeren Standorten gravierender. Die Standorte ‚*EW*‘ und ‚*OH*‘ zeigen eine Zunahme sowohl was die Anteile < 25 hPa angeht als auch > 500 hPa, wodurch sich der wechselhafte Charakter dieser Meßtiefe weiter verstärkt. Dahingegen nimmt beim Standort ‚*DF*‘ der Anteil der Trockenphase deutlich ab und der der nassen leicht zu. Der Spannungsverlauf in der vierten Meßtiefe ist wie bereits in der dritten stark abhängig davon, ob es sich um eine durchwurzelte bindige Schicht mit hoher nFK handelt, oder ob reine nährstoffarme Sande bzw. extrem bindige Lagen mit einer sehr kleinen nFK vorliegen. Während im ersten Fall ein Anstieg innerhalb der hohen Wasserspannungsklasse festzustellen ist, bleibt diese im zweiten aus. Hier ändern sich lediglich die Anteile der niedrigen Wasserspannungswerte. Ob und in welchem Maße bzw. unter welchen Umständen aus der untersten

Tiefe noch Wasser von den Pflanzen entzogen wird, läßt sich gut an den Unterschieden der beiden Vegetationsperioden beobachten. Außendeichs ist lediglich am Waldstandort ,*EH*' eine nennenswerte Zunahme der Trockenanteile zu erkennen. Bei den beiden anderen Standorten verändern sich dagegen die Anteile der Naßphase. Binnendeichs verhält es sich ähnlich. Hier ist es ebenfalls der bewaldete Standort ,*EW*' derjenige, bei dem (wenn auch in einem geringeren Maße als beim Standort ,*EH*') der Trockenanteil zunimmt. Im ,*Oberholz*' verändern sich sowohl die Anteile der Wasserspannungsklasse < 25 hPa (Abnahme) als auch der Klasse > 500 hPa (Zunahme). Dagegen zeigt der Standort ,*DF*' eine bloße Zunahme des nassen Zustandes.

Es läßt sich festhalten, daß die Reaktion der Böden auf die gegebenen Randbedingungen (Niederschlagsaufkommen und -verteilung sowie Grundwasserganglinie) hinsichtlich der Bodenwasserspannungs-Tiefenverteilung stark variabel sind und vom Profilaufbau bzw. der Vegetation abhängen. Entscheidend ist, ob das in unterschiedlicher Tiefe im Untergrund vorkommende Grundwasser entweder durch tiefreichende Wurzeln oder durch kapillaren Aufstieg von den Pflanzen genutzt werden kann.

Zusammenfassend ist über die angewandten Methoden zur Charakterisierung des Bodenfeuchteregimes zu sagen, daß aufgrund der großen Spannweite in den Ergebnissen der vorgefundenen Bodenwasserspannung sowie der hohen räumlichen und zeitlichen Varianz die Vorteile der graphischen Darstellung über denen der festen Klassengrenzen überwiegen. Weiterführendes Ziel ist es, die bisher noch offen gebliebenen Zwischenbereiche sinnvoll zu füllen. Außerdem ist es notwendig, die Anwendbarkeit des neuen Systems an anderen Standorten zu überprüfen.

Die möglichen Veränderungen des Bodenfeuchteregimes an den sechs Teststandorten nach Realisierung der Rückdeichungsmaßnahme werden ausführlich im Kapitel 10.2 behandelt.