

Deichvorlandes werden besonders die westlichen Flutrinnen häufig geflutet und infiltrieren darauf noch lange nach der Flutung ins Grundwasser. Dies bedingt erhöhte mittlere Grundwasserpotentiale im Bereich der häufig gefüllten Flutrinnen im westlichen Vordeichland.

Große Veränderungen in den Grundwasserpotentialen treten auf, sobald das neue Deichvorland überflutet wird und damit Oberflächenwasser direkt an der neuen rückgelegten Deichlinie in den Aquifer eindringt. Es werden die Grundwasserpotentiale hinter dem Deich soweit angehoben, daß es in diesem Bereich zu Exfiltration in das Grabensystem und zu Qualmwasseraustritt kommt. Dabei entspannt sich der Aquifer soweit, dass die Grundwasserpotentiale im Bereich der Löcknitz nicht ansteigen und somit die Verkürzung der Strecke zwischen Elbe und Löcknitz nicht zu einer Erhöhung der Deichunterströmung beiträgt. Nach abschätzendem Vergleich der Wasserbilanzen lässt sich für die im Szenario getroffenen Annahmen keine wesentliche Veränderung feststellen.

Diese Ergebnisse lassen sich qualitativ auch auf die große Rückdeichungsvariante übertragen. Im Bereich dieser Deichtrasse ist die Deckschicht ähnlich stark ausgebildet, jedoch nimmt die Deichlänge zu, was zu einem proportionalen Anstieg der anfallenden Wassermengen bei gleichen hydrogeologischen Gegebenheiten führt. Mit der Rückverlegung des Deichs verschiebt sich auch die Fläche des potentiellen Qualmwasseraustritts. Mit einer Flächenzunahme dieses Bereiches ist bei einem ähnlich ausgebildeten Entwässerungsgraben hinter dem Deich nicht zu rechnen.

Generell lassen sich mit der Ausbildung der Gräben hinter dem Deich die Qualmwasserzonen verringern. Dabei können durch einen entsprechend ausgebildeten Graben die Grundwasserpotentiale soweit abgesenkt werden, dass sich der Qualmwasseraustritt hinter dem Graben weitestgehend unterbinden lässt. Dabei erhöhen sich allerdings überproportional die anfallenden Wassermengen und die Belastung der Löcknitz, des nachfolgenden Grabensystems und des Schöpfwerks Gaarz.

Im Gegenzug können die Wassermengen verringert werden, indem die Flutrinnen möglichst weit von dem Deich entfernt ausgehoben werden und Bereiche mit schwacher Deckschicht direkt vor dem Deich verstärkt werden, um damit die Fließzeiten des Grundwassers zu verlängern.

8 Bewertung der Modellergebnisse

Jede Modellierung eines natürlichen Systems beinhaltet, wie bereits oben dargestellt, eine Reihe von Unsicherheiten. Zum einen sind die in die Berechnung eingehenden Naturmessungen fehlerhaft, zum anderen stellt das Modell aufgrund der beschriebenen vereinfachten Annahmen und Approximationen nur eine Näherung der Natur dar. Es ist durchaus möglich, mit gut geeichten Modellen sehr mangelhafte Prognosen zu berechnen (Kinzelbach, 1995). Dies tritt vor allem auf, wenn der Prognosefall im Vergleich zum Kalibrierungszustand sehr unterschiedliche hydraulische Bedingungen beinhaltet.

Das Ziel einer Analyse der Abweichungen liegt grundsätzlich in der Quantifizierung der Modellfehler und Bewertung der Modellzuverlässigkeit. Ist diese nicht zufriedenstellend, sind die Auswirkungen der Daten- und Parameterunsicherheiten auf das Berechnungsergebnis im Rahmen von Szenarienberechnungen zu bewerten und zu entscheiden, ob die Unschärfe in dem Modellergebnis akzeptabel ist (Kinzelbach, 1995).

Im vorliegenden Fall konnte das kalibrierte Modell auf einen gemessenen Zustand, der nicht zur Kalibrierung diente, angewendet werden. Ohne Modifizierung der bei der Kalibrierung bestimmten Modellparameter konnten diese Beobachtungen - bei durchaus unterschiedlichen hydrologischer Randbedingungen infolge von Hoch- und Niedrigwasserperioden - realitätsnah abgebildet werden (s. Kap. 6.5). Die geringfügigen Abweichungen zwischen Modell und Beobachtungen geben grundsätzlich Hinweise auf fehlerbehaftete Randbedingungen, falsche Annahmen hinsichtlich der Modellstruktur oder im Modell nicht erfasste Prozesse.

Fehlerbehaftete Randbedingungen liegen in Ermangelung besserer Daten, wie bereits oben dargestellt, am westlichen und östlichen Modellrand vor. Dieser Einfluss auf das eigentliche Projektgebiet wird verlagert, indem das numerische Modell in beide Richtungen ausgedehnt wurde.

Bezogen auf die Abbildung der Grundwasserdynamik kann das Modell Lenzen als ausgezeichnet bewertet werden. Es ist gelungen, innerhalb der Messphase von ca. zwei Jahren einerseits für eine Modellkalibrierung geeignete hydraulische Bedingungen aufzuzeichnen und andererseits geeignete (große Dynamik infolge der noch erfassten Hochwasserwelle 1998/99) Beobachtungszeiträume zur Überprüfung der Modellergebnisse zu erfassen. Insbesondere gelang die für Auensysteme relevante Abbildung des Überganges von gespannten zu ungespannten Zuständen außerordentlich gut. Die Reichweite und der zeitliche Verlauf der Interaktion von Hochwasserzuständen auf das Grundwasser wird maßgeblich von diesem zeitlich wechselnden Aquiferzustand beeinflusst.

Etwas bedauerlich ist die Tatsache, dass weder die Wehrstellung, noch Wasserstände und Durchflüsse im Grabensystem aufgezeichnet werden. Diese Information würden eine bessere Bewertung der Entlastungsdynamik des Grundwassers in die Oberflächengewässer gestatten. Solche Daten dürften auch in keinem anderen Gebiet verfügbar sein, da sie für die Betreiber des Grabensystems nicht von Nutzen sind. Be- und Entwässerung wird weitgehend nach Bedarf gesteuert. Die sehr gute Übereinstimmung der im Kap. 7.4.5 beobachteten Fließraten beim Abpumpen des Winterpolders unter bekannten Randbedingungen mit den Modellergebnissen weisen jedoch auf eine begründete Modellbildung sowie hinreichend geschätzte Modellparameter hin.

9 Einordnung der Ergebnisse im Gesamtkontext des Vorhabens

Das projektübergreifende Ziel fundierter Prognosen zur Auenregeneration und Auewaldentwicklung nach einer Deichrückverlegung kann nur interdisziplinär erfolgen. So sind neben den hydraulischen Verhältnissen vor allem die zu erwartenden Wechselwirkungen in Hinblick auf die physikalisch-chemischen Bodeneigenschaften, der aktuellen Vegetation, der Nutzungsgeschichte, der Verbreitung und Aktivität tierischer Schlüsselorganismen u.v.m. von den beteiligten Projektpartnern im Detail zu untersuchen. Die Zusammenarbeit mit den anderen am Projektbeteiligten war von der Interdependenz einzelner Teilergebnisse geprägt. Von herausragender Bedeutung für die hier vorgestellten Ergebnisse waren die fachlichen Bezüge zum Teilprojekt 2 des Instituts für Bodenkunde, Universität Hamburg. Der fundierte fachliche Austausch sowie die Kollegialität bei Diskussion und Weitergabe von Erkenntnissen in einem sehr frühzeitigem Stadium waren von enormen Nutzen. Die auf das Grundwasser bezogenen Erhebungen dieses Teilprojektes gaben uns die Möglichkeit personell und experimentell unabhängige erhobene Daten unseren Modellergebnissen gegenüber zu stellen. Im Gegenzug hoffen die Autoren dieser Studie die Weiterentwicklung von Ansätze zur gebietsbezogenen Bodenwaserdynamik durch unsere Prognosenrechnungen zu unterstützen.

Das Teilprojekt Grundwasser nahm durch die Erstellung eines numerischen Modells eine wichtige Rolle im Kontext eines integrativen Forschungskonzeptes. Das Grundwassermodell ermöglicht eine raumbezogene Betrachtung möglicher Veränderungen des Grundwasserregimes infolge einer Deichrückverlegung. Diese raumbezogene Sichtweise erlaubt es den Standort-orientierten Teilprojekten, Bezüge besser zu erkennen und diese physikalisch fundierter zu extrapolieren. Voraussetzung hierzu waren die gemeinsam erarbeiteten Parameter, die einen Bezug zwischen Raum, Ort und Wiederkehrintervall zu ökosystemaren Fragestellungen ermöglichen.

Die Ergebnisse dieses Teilprojektes haben darüber hinaus eine außerordentliche Bedeutung in Hinblick auf die Umsetzung dieser wasserbaulichen Baumaßnahme. Erst die Klärung einer problemlosen Vorflut sowie der Nachweis eines unveränderten Grundwasserregimes im Siedlungsbereich schafft die Voraussetzung für ein Planfeststellungsverfahren.

9.1 Datenaustausch

Eine GIS-kompatible Importschnittstelle zu den im Rahmen des Projektes eingesetzten numerischen Modellen wurde allen am Verbundvorhaben Beteiligten bereit gestellt. Die Übertragung der Modell-

ergebnisse als Zahlentripel (Rechtswert, Hochwert, Zustandsgröße) wirft aufgrund der räumlichen Dichte des Diskretisierungsnetzes keinerlei Probleme bei der Integration in ein GIS auf.

Im Rahmen der Untersuchung wurden die Grundwasserpotentiale über einen Zeitraum von über 35 Jahren und für unterschiedliche Varianten modelliert. Diese Datensätze wurden umfangreichen statistischen Auswertungen unterzogen. Die Ergebnisse des Grundwassermodells sowie der statistischen Auswertung sind für jeden Knoten auf den Datenträger in der Anlage enthalten.

10 Zusammenfassung

Im Bereich der Brandenburgischen Elbtalaue bei Lenzen werden derzeit Möglichkeiten Rückdeichung und zur Wiederherstellung einer natürlichen Flussauenlandschaft untersucht. In Auen stellt der Wasserhaushalt einen dominierenden Standortfaktor dar, der vorwiegend von der Wasserstandsdynamik im Fluss und im Grundwasser bestimmt wird. Um die zu erwartenden Veränderungen abschätzen zu können, ist es erforderlich, die Wechselwirkungen zwischen Fluss und Grundwasser im Ausgangszustand zu erfassen und im Hinblick auf die projektierte Ausdeichung zu prognostizieren.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von Lenzen bis Wustrow, eingegrenzt von den Flüssen Elbe und Löcknitz. Charakteristisch für die Flußauen in diesem Gebiet ist der gute hydraulische Kontakt zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser über die gut durchlässigen Sande an der Flusssohle. Der Mittelwasserstand der Löcknitz liegt unter dem der Elbe. Die Löcknitz stellt in diesem Fall den eigentlichen Vorfluter in der Aue dar. Charakteristisch für Flussauen ist weiterhin die Auelehmdecke, die auf den gut durchlässigen Talfüllungen aufliegt. Die Bodenschichtung kann landseitig vom Deich zu artesisch gespannten Bereichen führen. An welchen Stellen und welche Wassermenge die Auelehmdecke durchdringen ("Qualmwasser"), hängt vom vorherrschenden hydraulischen Gradienten sowie von der Deckschichtmächtigkeit und dem Vorhandensein von Störungen und Fehlstellen ab. Bei Wasserstandsschwankungen kommt es zu einem Übergang von gespannten zu ungespannten Verhältnissen. Diese Zustandsänderungen beeinflussen nachhaltig die Grundwasserströmung.

Zur Untersuchung der Fließprozesse wurden Wasserstände in den Oberflächengewässern und im Grundwasser, Geometrie des Grabensystems, meteorologische Daten und hydrogeologische Bodenkennwerte. Im Untersuchungsgebiet wurde ein Beobachtungsnetz von 12 Grundwassermessstellen errichtet, hiervon wurden elf mit automatischen Dataloggern bestückt, die eine hochaufgelöste Erfassung (Messintervall 8 Stunden) der Grundwasserstandsdynamik erlauben.

Für eine zeitlich differenzierte Abbildung der Grundwasserdynamik wurde ein instationäres Finite-Elemente Modell eingesetzt. Mit dem numerischen Modell wird für diskrete Punkte (Netzknoten) der zeitliche Verlauf des Grundwasserstandes infolge hydraulischer Randbedigungen berechnet, aus dem

sich andere Größen (z.B. Flurabstände, Fließgeschwindigkeiten, u.a.) ableiten lassen. Eingesetzt wurde ein horizontal-ebenes Modell, mit dem sich der Übergang gespannt/ungespannt adäquat beschreiben lässt (Odenwald, 1994). Das Untersuchungsgebiet wurde durch ein örtlich verfeinertes FE-Dreiecksnetz mit Kantenlängen von etwa 50 - 100 m diskretisiert, welches eine sehr genaue Abbildung der komplexen Gebietsgeometrie und des Grabensystems erlaubt.

Die hydraulische Interaktion der Oberflächengewässer mit dem Grundwasser sowie der Qualmwasseraustritt wird mit einem Leakageansatz abgebildet. Leakagefaktoren von Oberflächengewässern, die den Austausch charakterisieren, sind praktisch nicht direkt messbar und wurden im Rahmen einer Modellkalibrierung gewonnen werden.

Der Wasserspiegelverlauf der Elbe als wichtigste Randbedingung wird räumlich differenziert durch 6 Stützstellen beschrieben. Die Zeitreihen der Wasserstände an den einzelnen Stützstellen wurden über Schlüsselkurven (Wasserstand als Funktion vom Abfluss) aus den Ergebnissen der Bundesanstalt für Wasserbau- Karlsruhe erzeugt, die den Wasserspiegelverlauf der Elbe numerisch untersucht hat vorgegeben. Die Lößnitz wird in zwei Bereiche unterteilt, ein Bereich oberhalb und ein Bereich unterhalb vom Gandower Wehr. Das Gefälle beträgt konstant 0,1 ‰. Für das Grabensystem liegen keine Wasserstandaufzeichnungen vor. Da das Grabensystem zur Grundwasseranhebung bei Niedrigwasser und zur Entlastung bei Hochwasser in der Elbe genutzt wird, wurde ein empirischer, physikalisch begründeter Zusammenhang für den eine Schätzung der Wasserstände in den Gräben ausgehend von den Fließbedingungen in Elbe und Lößnitz angewendet. Die räumliche und zeitliche Verteilung der Grundwasserneubildung stellt grundsätzlich eine wesentliche Eingangsgröße für ein Grundwassermodell dar. In Flußauensystemen spielt diese Wasserhaushaltskomponente aufgrund der undurchlässigen Auelehmdeckschichten eine eher untergeordnete Rolle. Es wurde dennoch eine jahreszeitlich variierende Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von der Deckschichtmächtigkeit berücksichtigt (130 bis 200 mm/a).

Im Rahmen einer Modellkalibrierung wurden für einen ca. 6-monatigen Zeitraum die Modellparameter (Transmissivität, durchflusswirksame Porosität und Leakagefaktoren) ermittelt. Zur Überprüfung der Modellzuverlässigkeit wurde anschließend der restliche Beobachtungszeitraum vom 22.07.97 – 31.06.98 und vom 16.02.99 – 31.07.99 verwendet, der deutlich andere hydraulische Bedingungen aufwies. Ohne Modifizierung der bei der Kalibrierung bestimmten Aquiferparameter konnten die Beobachtungen trotz unterschiedlicher hydrologischer Bedingungen infolge von Hoch- und Niedrigwasserperioden detailliert abgebildet werden.

Auf Grundlage des Grundwassermodells wurde ein von den zu erwartenden Randbedingungen und Parameterwerten in sich konsistentes Szenario entworfen, um die zu erwartenden hydraulischen Auswirkungen der geplanten Maßnahmen auf das Grundwasserregime abzuschätzen.

Für die Abschätzung der Auswirkungen einer Deichrückverlegung auf das Grundwasserregime wurde für einen 35-jährigen Zeitraum die Grundwasserdynamik einmal im aktuellen Zustand (Variante 1) und einmal im Zustand einer Deichrückverlegung (Variante 2) numerisch modelliert. Die Simulationsergebnisse werden einer statistischen Auswertung unterzogen, um die zum Teil komplexen räumlichen und zeitlichen Muster in einem Wahrscheinlichkeits-Kontext interpretieren zu können. Hierbei wurden charakteristische Zustandsparameter (mittlere Grundwasserschwankung, Minimaler Grundwasserstand an drei aufeinanderfolgenden Tagen innerhalb der Vegetationsperiode usw.) definiert. Der Zielgedanke hierbei war es, die umfangreiche Datenbasis, die innerhalb der biotischen und abiotischen Erhebungen geschaffen worden ist, durch eben diese Parameter zu verknüpfen, um ökosystemare Zusammenhänge systematischer zu untersuchen.

Nach der Rückdeichung werden die westlichen Flutrinnen häufig von der Elbe geflutet, so dass bereits bei leichten Hochwasser die Grundwasserpotentiale ansteigen. Auch im übrigen Vordeichsland zeichnen sich Veränderungen im Grundwasserregime bei erhöhten Elbwasserständen ab, da nach einer Deichrückverlegung die Grabenabschnitte vom Entwässerungssystem abgeschnitten sind und somit eine Exfiltration über die Gräben entfällt. Bei höheren Elbwasserständen beginnt die Überflutung des Vordeichslandes. Die Reste des Grabensystems, die neuangelegten Flutrinnen und die durchlässigen Bereiche in der Deckschicht ermöglichen eine schnelle Infiltration. Der Wasserstand im überfluteten Vorland paust sich direkt auf das Grundwasser durch, so dass bei extremen Hochwasserereignissen die Grundwasserpotentiale im Meterbereich angehoben werden. Bei Mittelwasser lässt sich keine Beeinflussung des Grundwasserregimes durch die Deichrückverlegung feststellen. Unter Niedrigwasserhältnissen führt die ausbleibende Bewässerung durch das nun unterbrochene Grabensystem zu lokal geringeren Grundwasserständen.

Die Erhöhung der Grundwassermaxima im Vordeichsland pflanzen sich aufgrund der guten Durchlässigkeit des Untergrundes in das Gebiet hinter dem neuen Deich fort. Die Dynamik wird erst mit zunehmender Entfernung zum Deich gedämpft. Die unterschiedlichen hydrogeologischen Randbedingungen, wie Deckschichtmächtigkeit, Topografie und Grabensystem, führen zur Ausbildung von Mustern unterschiedlicher Grundwasserdynamik. Insbesondere das Grabensystem trägt zur Entspannung des Aquifers bei und behindert die Ausbreitung von Grundwasserwellen.

Durch das Verschneiden der Grundwasserstände mit der Topografie können Flächen erkannt werden, in denen artesisch gespannte Grundwasserverhältnisse vorliegen. In diesen Zonen kann Qualmwasser

austreten. Im März 1999 wurden die in Folge von Qualmwasseransammlungen überstauten Mulden kartiert. Diese kartierten überfluteten Flächen stimmen weitgehend mit den Bereichen überein, wo Qualmwasseraustrittsbereiche mit dem Modell ermittelt wurden. Es wurden Karten potentieller Qualmwasseraustritte für unterschiedliche Hochwässer vor und nach der Rückdeichung erstellt. Aus diesen ließ sich folgern, dass vor und nach einer Rückdeichung die Zone potentieller Qualmwasserflächen sich im Nahbereich des Deiches befindet. Die neue Deichlinie führt zwar zu einer Verkürzung der Entfernung zwischen Deich und Löcknitz, dies hat jedoch keine Auswirkungen auf die Ausdehnung der potentiellen Qualmwasserzone. Die infolge Überstauung des neuen Deichvorlands anfallenden Wassermengen konnten quantifiziert werden. Die hierbei ermittelten Werte werden durch eine Beobachtung der in einem Winterpolder abgepumpten Wassermenge bestätigt. Eine zusätzliche hydraulische Belastung des Entwässerungssystems und der Löcknitz sind nicht zu erwarten.

Das Grundwassermodell ermöglichte eine detaillierte, raumbezogene Betrachtung von Veränderungen des Grundwasserregimes infolge einer Deichrückverlegung. Die nun vorliegende Studie stellt die Grundlage für das projektübergreifende Ziel fundierter Prognosen zur Auenregeneration und Auewaldentwicklung nach einer Deichrückverlegung dar.

11 Ausblick

Viele weiterführende Fragestellungen, die im weiteren Projektverlauf im Zuge des Planfeststellungsverfahrens oder bei weiteren Untersuchungen entstehen, lassen sich aus der vorliegenden Arbeit unter Verwendung einfacher auf das spezielle Problem zugeschnittener Modelle beantworten. Ansonsten können auch weitere Untersuchungen mit dem vorhandenen Modell durchgeführt werden. Anfragen können an die Autoren gerichtet werden. Die Weitergabe des Modells in die Hände dritter ist nicht sinnvoll, da eine lange Einarbeitungszeit von Nöten wäre. Einige Erkenntnisse, die bei der Grundwassermodellierung im Bereich Lenzen gewonnen wurden, können bei der Modellierung anderer Auenabschnitte helfen.

Im vorliegenden Projekt konnte auf Grund einer sehr guten Datenbasis ein Grundwassermodell erstellt werden, das die Grundwasserdynamik im Projektgebiet auch im Wechsel zwischen Niedrig- und Hochwasser in der dargestellten Genauigkeit abbilden konnte. Es mußten hierfür folgende auenspezifische Elemente im Modell berücksichtigt werden:

- Übergang von ungespannten zu gespannten Grundwasserverhältnissen beim Erreichen der Auelehmdeckschicht
- Grabensystem mit Be- und Entwässerung,

- Qualmwasseraustritt bei Hochwasser, abhängig von der Deckschichtmächtigkeit
- Überschwemmung des Vordeichlandes mit flächiger Infiltration abhängig von der Deckschichtmächtigkeit
- Flutrinnen und Seen mit Füll- und Speicherfunktion

Einige dieser Elemente werden nur bei bestimmten Abflusszuständen, z.B. bei Hochwasser aktiv und brauchen bei einigen bestimmten Fragestellungen nicht berücksichtigt werden.

Die Modellierung der Grundwasserdynamik in ihrer gesamten Spannweite von Hochwasser bis Niedrigwasser ist dabei eine besondere Aufgabe, die vor allem für ökosystemare Fragestellungen im Bereich von Flüssen wichtig ist. In diesen Gebieten und besonders hinter Flussdeichen prägt die ausgesprochene Dynamik das Ökosystem. Hier können sich nur Pflanzengesellschaften behaupten, die an die stark wechselnde Wasserangebote und mehrtägige Überstauung angepasst sind. Bei der Modellierung der Grundwasserdynamik sollte die Auelehmdecke, die Grabensysteme, die temporären Gewässer und ähnliche Strukturen, die zu einer Wandlung des Systemverhaltens bei Hochwasser führen, berücksichtigt werden. Da die Abflusscharakteristik von Flüssen in verschiedenen Jahren unterschiedlich ist, sollte der Simulationszeitraum mehrere Jahre umfassen, um repräsentative Werte zu berechnen. Beschränkt sich die Untersuchung auf ein nicht eingedeichtes Gebiet, kann näherungsweise der Flusswasserstand als Grundwasserstand angenommen werden, wenn das Untersuchungsgebiet nah am Fluss liegt und in diesem keine abgetrennten Altarme oder Flutrinnen vorhanden sind. Im vorliegenden Projekt hat sich eine Langzeitsimulation mit statistischer Auswertung sowie die Übergabe der Daten mittels GIS bewährt.

Viele Fragestellungen können durch die Simulation extremer Situationen beantwortet werden, so ist der Nachweis der Hochwassersicherheit eine Standardanwendung im Wasserbau. Bei einer Deichrückverlegung stellen sich beispielsweise folgende Fragen an eine Planungsvariante, die durch Aufstellung und Berechnung von Szenarien mit numerische Grundwassermodellen optimiert werden kann:

- Menge des Wassers, welches den Deich unterströmt
- Menge des Wassers, das durch das Dränsystem abgeführt werden muss
- Flurabstände bei Hochwasser und Qualmwasseraustritt
- Filtergeschwindigkeiten des exfiltrierenden Wassers (hydraulischer Grundbruch)

Besondere Schwierigkeiten bei der Hochwassersimulation stellt die Erhebung von Daten, zur Kalibrierung und Validierung des Modells im Hochwasserbereich dar. Nur selten gelingt es, Grundwasser-

pegeldaten oder Gebietsabflüsse bei einem entsprechenden Hochwasser zu erhalten, da gerade zu diesen Zeiten Messungen problematisch sind (geringe Häufigkeit der Hochwasserereignisse; Unwegbarkeit bei Überflutung; Überflutungssicherheit der Messelektronik). Ein Modell, welches nur bis erhöhtes Mittelwasser kalibriert ist, ist in Flussauen allerdings nur bedingt für Hochwasserprognosen extrapolierbar, da sich das Grundwassersystem bei steigendem Wasserstand stark ändern kann. Gerade in der Nähe von Tieflandflüssen ist der Aquifer häufig von einer Deckschicht aus Auelehm bedeckt. Bei einem Wasseranstieg kann es dabei zu einem Übergang von ungespannten zu gespannten Verhältnissen kommen. Eine noch stärkere Veränderung des Grundwassersystems bewirken bei Hochwassereintritt Entlastungen des Grundwassers durch Dränsysteme (Entwässerungsgrabensystem) oder durch flächigen Wasseraustritt (Qualwasser) hinter dem Deich. In der vorliegenden Studie erwies sich der Leakageansatz für das Grabensystem und die Deckschicht als ein wesentliches Element, um die Modellanpassung bei Hochwasser in der dargestellten Qualität zu ermöglichen. Ohne Grundwassermessungen bei Hochwasser oder für die Berechnung von stark unterschiedlichen Szenarien sollte eine gute Kenntnis über den Bodenaufbau im Bereich der Maßnahme vorliegen und die Unsicherheit durch Parameterstudien quantifiziert werden.

Bei Mittel- und Niedrigwasser gestaltet sich die Datenerhebung einfacher. Auch bei Mittelwasser können Übergänge von ungespannten zu gespannten Grundwasserverhältnissen zu Systemänderungen führen. Eine besondere Rolle spielen Gebiete mit Bracks, Seen, Totarme, Flutrinnen o.ä., die in Wechselwirkungen mit dem Grundwasser stehen. Langgestreckte Strukturen führen zu einem entsprechend weiten Ausgleich der Grundwasserpotentiale in ihrer Umgebung. Diese können über Grundwasserschwankungen und Überschwemmungen gefüllt werden und fungieren dann wie ein Speicher.

Danksagung

Diese Untersuchungen wurden aus Mitteln des BMBF-Verbundvorhabens "Elbe-Ökologie" (FKZ 0339571) finanziert. Die Autoren danken Projektträger und Projektgruppe für die kompetente und faire fachliche Begleitung. Ohne die Aufgeschlossenheit und stete Diskussionsbereitschaft der Projektpartner wäre diese Untersuchung von einer anderen Qualität.

Veröffentlichungen (Stand 5/2000) und Literatur

Dehnert, J., Nestler, W., 1996. Dreidimensionale Modellierung der Uferfiltration in der Elbtalaue bei Torgau. Tagungsband zum 7. Magdeburger Gewässerschutzseminar, 20-22.10.96 Budweis CR.

Dunn, D.L., Dixon, K.L., Nichols, R.L., 1998. Using vibracoring and multilevel wells to examine the hyporheic zone within a riparian wetland. *Gambling with Groundwater - Physical Chemical and Biological Aspects of Aquifer-Stream Relations*. Brahana et al., (eds.), pp. 155-159.

Faulhaber, P. (1997): Hydraulisch-morphologische Untersuchung von Rückdeichungen bei Lenzen (Elbe) (Auszug). Auenreport / Beiträge aus dem Naturpark "Brandenburgische Elbtalaue" 3: 66 - 81. Rühstädt.

Finsterle, S. (1993) Inverse Modellierung zur Bestimmung hydrogeologischer Parameter eines Zweiphasensystems, Dissertation an der ETH Zürich, Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Nr. 121

Fittschen, R. Schwartz, R., Gröngröft A., Miehllich, (1999): Auswirkungen von Qualmwasserzonen auf die Entwicklung und stoffliche Zusammensetzung von Auenböden. FRIESE, K. K. KIRSCHNER & B. WINTER (Hrsg.): UFZ-Bericht Nr.1/1999 Workshop Stoffhaushalt von Auenökosystemen der Elbe und ihrer Nebenflüsse (Magdeburg): 109 - 112.

Flemming, A., 1997. Die Bedeutung des Gebietswasserhaushaltes im geplanten Rückdeichungsgebiet Lenzen (Elbe). Diplomarbeit am FB Geographie der Universität Hamburg (unveröffentlicht)

Gaußmann; P., Löhn, J., Schubert, M., Stelter, W., Schwartz, H.-J., (1998): Rotationsbrache auf Grünland - Untersuchungen in der Elbtalaue bei Lenzen. In: Geller, W. (Hrsg.): Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe/8. Magdeburger Gewässerschutzseminar: 345-346. Stuttgart - Leipzig.

Grischek T., Dehnert, J., Nestler, W., Neitzel P., Trettin, R., 1995. Groundwater flow and quality in an alluvial aquifer recharged from river bank infiltration, Torgau Basin, Germany. *Geomorphology and Groundwater*. Edited by A.G. Brown. John Wiley & sons Ltd.

Gröngröft A., Schwartz R., Miehllich, G. (1997): Verbreitung und Eigenschaften der Auenböden in dem geplanten Rückdeichungsgebiet Lenzen - erste Ergebnisse. Auenreport / Beiträge aus dem Naturpark "Brandenburgische Elbtalaue" 3: 58-65. Rühstädt.

Gröngröft A., Schwartz R., Miehllich, G. (1999): Klassifikation der Auenböden der Mittel- und Unterelbe und deren ökologische Relevanz. FRIESE, K. K. KIRSCHNER & B. WINTER (Hrsg.): UFZ-Bericht Nr.1/1999 Workshop Stoffhaushalt von Auenökosystemen der Elbe und ihrer Nebenflüsse (Magdeburg): 113 - 117.

Hape, M., Neuschulz, F. (i. Vorb.): Vergleich verschiedener Verfahren für die Entwicklung eines digitalen Höhenmodells für einen Ausschnitt der Elbtalaue. In: FRIESE, K., G. MIEHLICH, M. RODE & B. WITTER (Hrsg.): Eigenschaften und Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Springer Verlag. Berlin.

Heinken, A., Gaußmann, P. (1998): Nachhaltige landwirtschaftliche Nutzung auf Rückdeichungsflächen in der Lenzen-Elbtalaue (Naturpark Brandenburgische Elbtalaue). In: Geller, W. (Hrsg.): Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe/8. Magdeburger Gewässerschutzseminar: 349-350. Stuttgart - Leipzig.

Holfelder, T., Montenegro, H., 1999: Inspection of an inverse approach for the modelling of groundwater dynamics in floodplains. Posterbeitrag bei ModelCare'99. International Conference on Calibration and Reliability in Groundwater Modelling, ETH Zürich, Sept. 20-23, 1999.

Holfelder, T., 1997. Einsatz und Bewertung eines inversen Verfahrens zur Modellierung der Grundwasserdynamik in Flussauen. Vertiefearbeit am Institut für Wasserbau der Technischen Universität Darmstadt (unveröffentlicht).

Hunt B., 1990. An approximation for the bank storage effect. Water Resources Research, vol. 26., No. 11.

Kalz-Kaprolat, J., Müller, S., Wilkens, H. (1998): Beziehungen zwischen faunistischen Lebensgemeinschaften und Standortparametern in der Elbtalaue bei Lenzen. In: Geller, W. (Hrsg.): Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe/8. Magdeburger Gewässerschutzseminar: 353-354. Stuttgart.

Kinzelbach, W., Rausch, W., 1995. Grundwassermodellierung. Gebrüder Berlin - Stuttgart: Bornträger. ISBN 3-443-01032-6.

Kuhlmann, U., 1992. Inverse Modellierung in geklüfteten Grundwasserleitern, Dissertation Nr. 9922 der ETH Zürich.

Montenegro H., 1995. Parameterbestimmung und Modellierung der Wasserbewegung in heterogenen Böden. Dissertation. Institut für Hydromechanik der Universität Karlsruhe (TH). Fortschritt-Berichte VDI Reihe 15, Nr. 134. VDI-Verlag, Düsseldorf.

Montenegro, H., Holfelder, T. 1998: Assessment of Embankment Removal Effects on Goundwater Dynamics in an Elbe River Floodplain. Beitrag bei der XXIII General Assembly der European Geophysical Society, Nizza, 1998.

Montenegro, H., Holfelder, T. 1999: Modellierung der Austauschprozesse zwischen Oberflächen- und Grundwasser in Flussauen. Bericht 1/1999 zum Workshop Stoffhaushalt von Auenökosystemen der Elbe und ihrer Nebenflüsse. UFZ Sektion Gewässerforschung, Magdeburg.

Montenegro, H., Holfelder, T., Wawra B. 2000: Modellierung der Austauschprozesse zwischen Oberflächen- und Grundwasser in Flußauen. In "Stoffeinträge in Auenökosysteme", Springer Verlag, ISBN 3-540-67068-8

Müller, S, Kaprolat, J., Wilkens, H. (1997): Faunistische Untersuchung eines Rückdeichungsareals an der unteren Mittelelbe - Projektbeschreibung. Arbeitsberichte Landschaftsökologie Münster 18: 291 - 295.

Neuschulz, F., Purps, J. (1998): Möglichkeiten und Grenzen der Auenregeneration und Auenwaldentwicklung am Beispiel von Naturschutzprojekten an der Unteren Mittelelbe Brandenburg) - Zischenergebnisse eines Verbundforschungsvorhabens. In: W. GELLER (Hrsg.): Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe/8. Magdeburger Gewässerschutzseminar: 293-296. Stuttgart - Leipzig.

Odenwald, B., 1994. Parameteridentifizierung bei numerische Grundwasserströmungsmodellen. Dissertation. Institut für Hydromechanik der Universität Karlsruhe (TH). Fortschritt-Berichte VDI Reihe 15, Nr. 125. VDI-Verlag Düsseldorf.

Patz; G. (1998): Auwaldregeneration in der Lenzener Elbtalaue. In: W. GELLER (Hrsg.): Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe/8. Magdeburger Gewässerschutzseminar: 355-356. Stuttgart - Leipzig.

Rauhaut, J., Hape, M., Purps, J. (1999): Ausdehnung von Qualmwasser an der Elbe bei Lenzen während des Frühjahrhochwassers 1999. Auenreport- Beiträge aus dem Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe- Brandenburg: 36-44

Rieth, A. (1999): Auswirkung einer Deichrückverlegung auf das Grundwasserregime in Flussauen. Diplomarbeit am Institut für Wasserbau, TUD

Schubert, M., Schwartz, H. J. (1997): Untersuchungen zu Auswirkungen einer gleichbleibenden oder rotierenden Nutzung auf den Pflanzenbestand von Dauergrünland in der Lenzener Elbtalaue -- erste Ergebnisse. *Ökologische Heft 6*: 135 - 139. Humboldt Universität zu Berlin.

Schwartz, R., Gröngröft A., Miehlich, (1998): Charakterisierung des Wasser- und Stoffhaushalts der Böden im Projektgebiet "Deichrückverlegung an der Elbe bei Lenzen". In: W. GELLER (Hrsg.): *Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe/8*. Magdeburger Gewässerschutzseminar: 373-374. Stuttgart - Leipzig.

Schwartz, R., Gröngröft A., Miehlich, (1999): Die Bedeutung der Eindeichung auf den Wasser- und Stoffhaushalt ausgewählter Böden an der Mittel-elbe. FRIESE, K. K. KIRSCHNER & B. WINTER (Hrsg.): *UFZ-Bericht Nr.1/1999 Workshop Stoffhaushalt von Auenökosystemen der Elbe und ihrer Nebenflüsse (Magdeburg)*: 109 - 112.

Schwartz, R., Krüger, F., Gröngröft A., Miehlich, G. (1998): Standorteigenschaften von Böden der Mittel-elbe I. Einfluss von Eindeichungen auf den Nährstoffhaushalt. In: W. GELLER (Hrsg.): *Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe/8*. Magdeburger Gewässerschutzseminar: 375-376. Stuttgart - Leipzig.

Schwartz, R., Schmidt, R.B., Miehlich, G. (1998): Einfluss einer Hochwasserwelle auf den Wassergehalt und das Redoxpotential von Auenböden an der Mittel-elbe. In: W. GELLER (Hrsg.): *Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe/8*. Magdeburger Gewässerschutzseminar: 257-258. Stuttgart ■ Leipzig.

Sun, N.-Z., 1994. *Inverse Problems in Groundwater. Modelling*. Kluwer Academic Publishers

Whiting, P.J., Pomeranets, M., 1997. A numerical study of bank storage and its contribution to streamflow. *Journal of Hydrology* 202.

Wroblicky, G.J., Campana, M.E., 1998. Seasonal variation in surface-subsurface water exchange and lateral hyporheic area of two stream-aquifer systems. *Water Resources Research*, Vol. 34, No. 3.