

## Modellierung der Grundwasserdynamik in Flußauen

H. Montenegro, T. Holfelder, B. Wawra

### 1 Einleitung

Im Rahmen einer Deichrückverlegungsmaßnahme bei Lenzen, Brandenburg wird unter anderem das Potential zur Auenregeneration und Wiederbelebung der Flußdynamik untersucht. Auf Grundlage eines numerischen FE Grundwassermodells sind die hydraulischen Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasser zu quantifizieren.

Das hydraulische System wird maßgeblich von Elbe und Löcknitz bestimmt. Eine zeitlich differenzierte Abbildung dieser Dynamik setzt den Einsatz eines instationären Finite-Elemente Modells voraus. Mit dem numerischen Modell wird für diskrete Punkte (Netzknoten) der zeitliche Verlauf des Grundwasserstandes im gesamten Untersuchungsgebiet berechnet, aus dem sich andere Größen (z.B. Flurabstände, Fließgeschwindigkeiten, u.a.) ableiten lassen. Hieraus können für ausgesuchte Zeitpunkte z.B. die räumliche Verteilung des Grundwasserstandes dargestellt oder an vorgegebenen Orten die Zeitreihe einer Zustandsvariablen ausgewertet werden. Diese Berechnungen stellen eine wichtige Referenz für andere Projektpartner dar, um Prognosen hinsichtlich des Bodenwasserhaushaltes in Auen machen zu können. Die geplante Deichrückverlegung wird zu großflächigen Überflutungen der Aue führen. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen auf das Grundwasserregime werden im Rahmen von Szenarien numerisch untersucht.

### 2 Modellstruktur

Im Untersuchungsraum wird der oberste Grundwasserleiter nach unten hin von einer regional ausgebreiteten, gering durchlässigen Schicht begrenzt, welche als Grundwasserbasis fungiert. Bei der Untersuchung der Fließverhältnisse in einem geschichteten System (Auelehmschicht über Sand) ist der Übergang von gespannten zu ungespannten Strömungszuständen differenziert zu behandeln. Im gespannten Aquifer kann es zu einer raschen Ausbreitung von Wasserstandsänderungen (Druckwellen) kommen, da die dämpfende Wirkung infolge Wasserspeicherung nicht gegeben ist. Die Erfassung der Übergänge von gespannten zu ungespannten Verhältnissen ist bei der Interpretation von Beobachtungsmeßstellen von großer Relevanz. Odenwald konzipierte ein horizontal-ebenes Modell, mit dem sich der Übergang gespannt/ungespannt durchaus adäquat beschreiben läßt (Odenwald, 1994). Als zusätzliche Eingabegröße ist die räumliche Verteilung der Deckschichtmächtigkeiten erforderlich. Die Gültigkeit dieses Ansatzes bei der Abbildung gespannter und ungespannter Zustände wurde mit einem gesättigt-/ungesättigten Modell auf Grundlage der Richardsgleichung (Montenegro, 1994) überprüft.

Aufgrund des unmittelbaren hydraulischen Anschlusses der Fließgewässer an das Grundwasser, bieten sich diese als nördliche und südliche Modellränder an. Das Untersuchungsgebiet wurde willkürlich im Westen durch eine als Damm ausgebaute Verbin-

dungsstraße und im Osten durch die kürzeste Verbindung zwischen Elbe und Löcknitz festgelegt (s. Abbildung 1). Die mittlere Mächtigkeit des Grundwasserleiters im Untersuchungsraum mußte aus der hydrogeologischen Studie im Rahmen der Untersuchungen zum Endlager "Gorleben" abgeschätzt werden. Für die Berechnungen wurde auf dieser Grundlage von einer Aquiferbasis in der Tiefe von 50 m unter NN ausgegangen. Die vertikale Abbildung der Deckschichtmächtigkeiten im Modellgebiet erfolgte, anhand von Bohrprofilen welche vom Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg aufbereitet und zur Verfügung gestellt wurden.

Die Geometrie des Modellgebietes liegt in Form eines Digitalen Gelände Modells vor, was eine effiziente Netzdiskretisierung ermöglicht. 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.

### 3 Randbedingungen

Für den östlichen **Rand** wird angenommen, daß die kürzeste Verbindung senkrecht zu den Flüssen eine Randstromlinie darstellt, was vor dem Hintergrund des Wasserstandsunterschiedes der zwei Gewässer in unmittelbarer Nähe durchaus plausibel ist. Für den westlichen Modellrand ist grundsätzlich ein Randausfluß aus dem Gebiet zu erwarten. Bei Vorgabe einer Randbedingung dritter Art wird eine Durchströmung dieses Randes ermöglicht. Eine Kontrollmöglichkeit dieses Ansatzes bieten die Beobachtungsmeßstellen GW07 und GW08 in diesem Bereich.



Abbildung 1: Erstreckung des Modellgebietes und berücksichtigte Leakagegewässer

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 müssen bei der Parameterbestimmung im Rahmen einer Modellkalibrierung gewonnen werden. Die im Modell berücksichtigten Leakagegewässer sind in Abbildung 1 dargestellt.

Die räumliche und zeitliche Verteilung der **Grundwasserneubildung** stellt grundsätzlich eine wesentliche Eingangsgröße für ein Grundwassermodell dar. In Flußauensystemen spielt diese Wasserhaushaltskomponente aufgrund der mächtigen Auelehmdeckschichten eine eher untergeordnete Rolle. Es wurde dennoch eine jahreszeitlich bezogene Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von der Deckschichtmächtigkeit berücksichtigt.

## 4 Kalibrierung und Validierung des Modells

Im Rahmen einer Modellkalibrierung während eines kurzen Zeitraumes (01.05.98–31.10.98) wurden Modellparameter (Transmissivität, durchflußwirksame Porosität und Leakagefaktoren) ermittelt. Zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der ermittelten Parameter (Modellvalidierung) wurde anschließend ein größerer Zeitraum (22.07.97 - 01.05.98), der durchaus andere hydraulischen Bedingungen aufwies, simuliert. Nachfolgend werden die Ergebnisse exemplarisch anhand einer ausgewählten Grundwassermeßstelle dargestellt. Die beobachtete Grundwasserdynamik konnte an allen Meßstellen vergleichbar gut mit dem Modell abgebildet werden. Eine ausführliche Darstellung ist in Montenegro et. al. (1999) enthalten. Der grau hinterlegte Bereich kennzeichnet die Lage und Mächtigkeit der Deckschicht an der jeweiligen Meßstelle.

### 4.1 Exemplarische Darstellung der Ergebnisse an der Meßstelle GW06

Die Meßwerte und die simulierten Grundwasserstände der unter direktem Einfluß des Elbwasserstandes stehende Meßstelle GW06 sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Abbildung der Dynamik an dieser Meßstelle war sehr gut, was letztlich damit zusammenhängt, daß der dominierende Einflußfaktor, der Wasserstand der Elbe, sehr gut erfaßt wurde. Man beachte den zeitlich veränderlichen Zustandswechsel von gespannt zu ungespannt. Die Abweichungen zwischen Modell und Beobachtung liegen im Bereich von 10 cm, was im Hinblick auf die großen Wasserspiegelschwankungen eine vertretbare Größe darstellt. Bemerkenswert ist der Peak am 09.04.98 welcher sich in keiner Ganglinie der Oberflächengewässer so widerspiegelt. Die Ursache liegt in einer unmittelbaren Reaktion auf ein Niederschlagsereignis, welches bei den im Hochwasserfall gesättigten Verhältnissen im Oberboden, relativ unmittelbar als Drucksprung im Grundwasser registriert werden kann. Solche singulären Ereignisse, als Folge von Makroporeneffekten, können im Grundwassermodell nicht direkt abgebildet werden. Diese Kurzschlußreaktionen sind grundsätzlich wichtig bei der Beurteilung der Verlagerung von Agrochemikalien. Wie bedeutsam diese Prozesse in auenökologischer Hinsicht sind, ist zu klären.

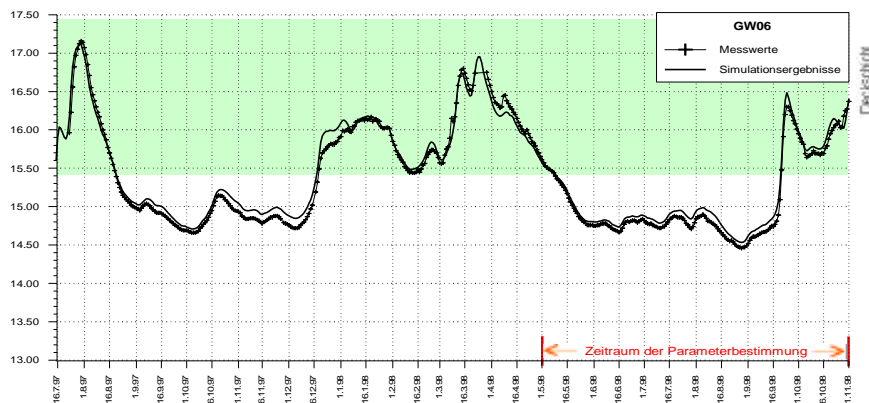


Abbildung 2: gemessene und simulierte Potentialhöhen der Meßstelle GW06

## 4.2 Bewertung der Prognosefähigkeit des Grundwassermodells

Jede Modellierung eines natürlichen Systems beinhaltet grundsätzlich 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. 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 Aquiferparameter konnten die Beobachtungen trotz unterschiedlicher hydrologischer Bedingungen infolge von Hoch- und Niedrigwasserperioden realitätsnah abgebildet werden.

Insgesamt kann die Modellierung der Grundwasserdynamik im Modell Lenzen als ausgezeichnet bewertet werden. Es ist gelungen, innerhalb der Meßphase von ca. 1 ½ Jahren einerseits für eine Modellkalibrierung geeignete hydraulische Bedingungen aufzuzeichnen und andererseits geeignete (große Dynamik infolge der noch erfaßten Hochwasserwelle 1997) Beobachtungszeiträume zur Überprüfung der Prognosefähigkeit zu erfassen. Insbesondere gelang die Abbildung des Überganges von gespannten zu ungespannten Zuständen - eines für Auen typischen Phänomens - außerordentlich gut. Die Erfassung des hydraulischen Systems erlaubt es nun den Wasseraustausch mit dem Flußkörper, den Stoffeintrag sowie Ausbreitungsprozesse im Grundwasser in ihrer Dynamik besser einzuschätzen.

## 5 Statistische Analyse

Auf Grundlage der numerischen Simulation eines Zeitraumes von ca. 500 Tagen wurde eine erste statistische Analyse der Grundwasserdynamik im Untersuchungsgebiet erstellt. Die Dynamik läßt sich am besten über statistische Parameter (z.B. die Quantile sowie Maxima und Minima) beschreiben. Das numerische Modell liefert für jeden Diskretisierungsknoten eine Zeitreihe der Wasserstände die statistisch ausgewertet wurde. In Abbildung 3 ist die Differenz zwischen dem 25% und 75% Quartilen dargestellt, welche ein Maß für den Schwankungsbereich des Grundwasserstandes und somit den Einflußbe-

reich der Flüsse Elbe und Löcknitz auf die Grundwasserdynamik darstellt.

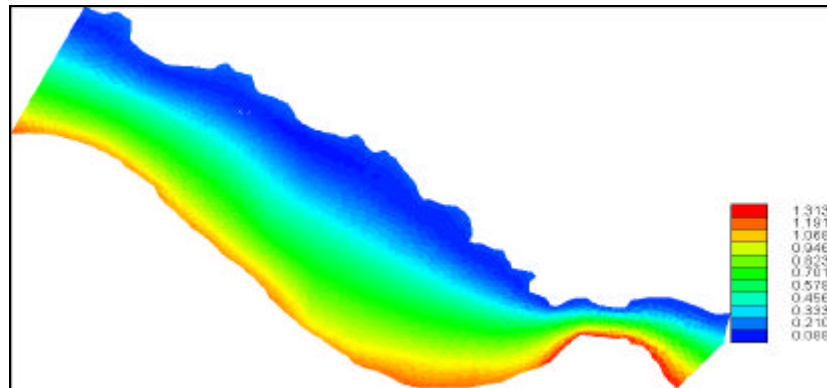


Abbildung 3: Räumliche Verteilung der Differenz zwischen 1. und 3. Quartile des Grundwasserstandes für den Zeitraum vom 22.07.97 – 31.01.98

Diese Auswertung enthält sowohl räumliche als auch zeitliche Aspekte und ist von besonderem Interesse für die Bewertung der Standortbedingungen für die Vegetation. Die Schwankungsbreite der Flurabstände ergeben sich aus einer Verschneidung dieser Modellergebnisse mit der Topographie des Geländes. Erwartungsgemäß sind die Amplituden der Grundwasserschwankungen in Elbnähe größer als an der staugeregelten Löcknitz. Die Reichweite des Bereiches mit vergleichsweise großen Schwankungen, der für auenökologische Fragestellungen besondere Relevanz aufweist, hängt zudem von der Geometrie und dem Abstand der Fließgewässer zueinander ab. Obwohl der Zeitraum nicht lang genug ist, um im statistischen Sinne repräsentativ zu sein, so weist er durchaus plausible räumliche Muster auf.

## Literatur

- BGR, 1994. Projekt Gorleben. Hydrogeologische Grundlagen für Moellrechnungen -Kenntnisstand 1994 - Bericht zum Arbeitspaket 9G 2666 1100 000. Unveröffentlichter Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- 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. 1999: Untersuchung der Auswirkungen Wasserbaulicher Eingriffe auf die Grundwasserdynamik in Flußauen; Sachstandsbericht für 1998 zum Verbundvorhaben „Auenregeneration durch Deichrückverlegung“
- 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.
- Whiting, P.J., Pomeranets, M., 1997. A numerical study of bank storage and its contribution to streamflow. *Journal of Hydrology* 202.
- Wegner, M. A., 1997. Transient groundwater and surface-water interactions at Fort Wainwright, Alaska. Master Thesis, University of Alaska Fairbanks.