

Modellierung von Grundwasser- Oberflächenwasserinteraktion in Fließgewässern mit FEMME

CHRISTIAN ANIBAS¹, Kerstin Buisson², KERST BUIS², OKKE BATELAAN^{1,4}, RONNY VERHOEVEN³ & PATRICK MEIRE²

¹ Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel (VUB); 1050 Brussels, Pleinlaan 2, Belgium
² Department of Biology, Ecosystem Management Research Group (ECORE) University of Antwerp; 2010 Antwerp, Universiteitsplein 1, Belgium
³ Civil Engineering Department, Hydraulics Laboratory, University of Ghent; 9000 Ghent, Sint-Pieternieuwstraat 41, Belgium
⁴ Department of Earth and Environmental Sciences, K.U.Leuven; 3001 Leuven, Celestijnenlaan 200E, Belgium

1. Motivation

Die realistische Quantifizierung von Austauschprozessen zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser stellt einen wichtigen Baustein der Ökosystemmodellierung dar.

Bei Fließgewässern ist besonders die zeitliche Dynamik und räumliche Verteilung der Wechselwirkung zwischen

- Wasser,
- Gelösten Stoffen,
- Geschiebe und anderen Feststoffen und
- der Biosphäre

wichtig.

Wasser als Lösungsmittel und Transportvektor spielt in diesem System die dominante Rolle.

Ökosystemmodelle stellen darüber hinaus hohe Ansprüche an die räumliche und Zeitliche Auflösung der Austauschprozesse um Heterogenitäten, Rückkopplungs- und Kaskadeneffekte beschreiben zu können.

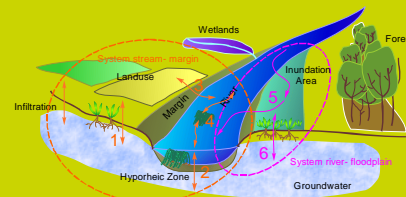


Abb. 1.1 Wichtige Interaktionsprozesse in Fließgewässern sind:

- 1) Grundwasser mit Feuchtgebieten oder anderen terrestrischen Systemen;
- 2) Grundwasser mit dem Oberflächengewässer;
- 3) Fließgewässer mit der Uferzone;
- 4) Fließgewässer mit Makrophyten;
- 5) Fließgewässer mit dem Überschwemmungsgebiet (Au);
- 6) Oberflächen- und Grundwasser mit dem Boden- Pflanzen Komplex

2. Methodologie

Eine von vielen Möglichkeiten um die Austauschrate zwischen der hyporheischen Zone mit dem Oberflächengewässer zu quantifizieren ist die sog. Temperaturmethode.

Dabei wird die Wärmeverteilung im Untergrund als Summe von Wärmeleitung und advektiver Strömung von Wasser betrachtet. Diese Wärmeverteilung wird durch im Boden strömendes Wasser beeinflusst.

Die Temperaturmethode ist eine indirekte Methode, die ein Wärmetransportmodell benötigt um Resultate liefern.

Advektion

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + v_z c_w \rho_w \frac{\partial T}{\partial z} = c \rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1, \text{Suzuki, 1960; Stallmann, 1965})$$

Wärmeleitung

Für den stationären Fall gilt,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{v_z c_w \rho_w}{k} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) = 0 \quad (2, \text{Arriaga et al. 2006})$$

k : Thermische Leitfähigkeit der Gesteins- Fluid Matrix; [K]= $Wm^{-1}K^{-1}$
 T : Temperatur des Bodens an einem Punkt z zur Zeit t ; [T]= K
 c_w : Spezifische Wärmekapazität des Fluids; [c_w]= $Jkg^{-1}K^{-1}$
 ρ_w : Dichte des Fluids; [ρ_w]= kgm^{-3}
 v_z : Komponente der Filtergeschwindigkeit im Boden in z (vertikaler) Richtung; [v_z]= ms^{-1}
 c : Spezifische Wärmekapazität der Gesteins- Fluid Matrix; [c]= $Jkg^{-1}K^{-1}$
 ρ : Dichte der Gesteins- Fluid matrix; [ρ]= kgm^{-3}

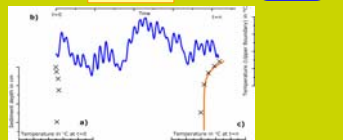


Abb. 2.1 Schema einer instationären Wärmetransport Simulation; a) Temperaturprofil Beginnssituation; b) Obere Randbedingung Oberflächenwassertemperatur (Untere Randbedingung als konstant angenommen); c) Temperaturprofil Endsituation auf die das Modell durch Anpassung von v_z kalibriert wird

3. Modell

FEMME (Soetaert et al. 2002) ist eine „open source“- Modellumgebung die speziell zur Ökosystemmodellierung entwickelt wurde.

FEMME steht für „Flexible Environment for Mathematically Modeling of the Environment“.

Die Modellumgebung basiert auf FORTRAN, das Interface arbeitet mittels ASCII- Files.

FEMME verfügt über einen hierarchischen, modularen Aufbau und erlaubt die dynamische Modellierung mehrdimensionaler Problemstellungen.

Diverse Solver- und Kalibrierroutinen stehen zur Verfügung um etwa Monte Carlo Analysen, „Twin Experiments“, etc. durchzuführen.

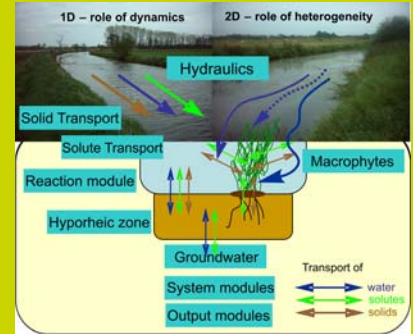


Abb. 3.1 Das hier präsentierte Wärmetransportmodell ist ein Teil eines weitergespannten Ökosystemmodells, das verschiedene Prozesse in Fließgewässern systemmäßig verknüpft.

Programmabläufe voneinander unabhängige Routinen sind in Module unterteilt die miteinander interagieren können. Diese Module betreffen insb. die Hydraulik des Oberflächengewässers, die vertikale (durch die Wärmetransportroutine) und laterale Grundwasserströmung, sowie verschiedene Transport- und Reaktionsroutinen von Nährstoffen, sowie suspendierten Feststoffen.

4. Aa (Belgien)

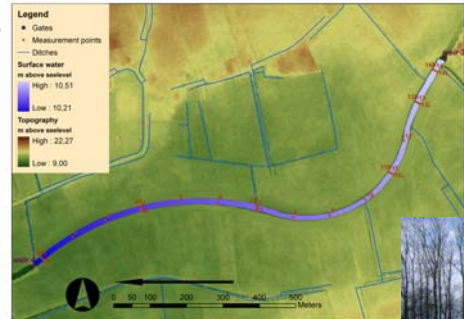


Abb. 4.1 Messstandort Aa in Belgien; die Aa gehört zum Einzugsgebiet der Schelde und liegt a) zwischen Antwerpen und Eindhoven.

Die Aa ist ein kanalisiertes Fließgewässer mit geringem Gefälle und relativ hoher organischer Belastung (b));

Entlang eines Abschnittes von rd. 1425m Messreihen zur Bestimmung der räumlichen und zeitlichen Temperaturverteilung vorgenommen; die hier präsentierte Daten beziehen sich auf Messpunkt 13

Wassertiefe	m	1,1
Breite	m	14
Durchfluss	m ³ /s	1,8
Gefälle	‰	0,5
Geologie		Feinsand
Aquifer		80 m mächtig

Tab. 4.1 Typische Parameter des Aa Flusses in Belgien

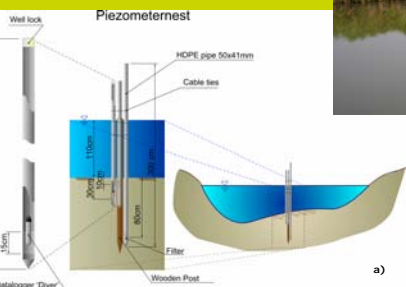


Abb. 4.2. Die gezeigten Ergebnisse beziehen sich auf Datensätze die mit einem Piezometernetz und dann installierten Datenloggern (sog. „Diver“, Schlumberger, Houston, TX, USA) gewonnen wurden; a) drei HDPE Piezometer in verschiedenen Tiefen im Flussbett positioniert und messen kontinuierlich Temperatur und hydraulische Druckhöhe; separate Piezometer bieten auch die Möglichkeit zur Wasserprometnahme; b) zeigt ein datenlogger Piezometernetz installiert in der Flussmitte

5. Resultate

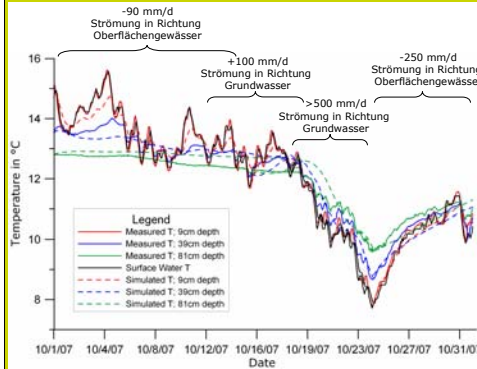


Abb. 4.1 Ergebnis einer instationären Simulation von Oktober 2007; die Daten stammen aus Datenloggern die in 9cm, 39cm und 81cm Tiefe im Gewässerbett platziert waren.

Als untere Randbedingung wurde eine konstante GW Temperatur von 12,2 °C angenommen.

Als thermische Leitfähigkeit wurde 1,8 J/sm² gewählt.

Der Aa Fluss zeigt hier einen mehrfachen Wechsel in der vertikalen Strömungsrichtung. Zu Beginn des Monats gibt es eine Strömung in Richtung Oberflächengewässer, die sich später umkehrt. Die Grundwasseranreicherung erreicht dabei sehr hohe Werte. Zu Monatsende gibt es wieder eine Umkehrung der Strömungsrichtung.

Das Ergebnis kann eventuell durch externe Faktoren wie etwa eine fehlerhafte oder beschädigte Messvorrichtung beeinflusst sein.

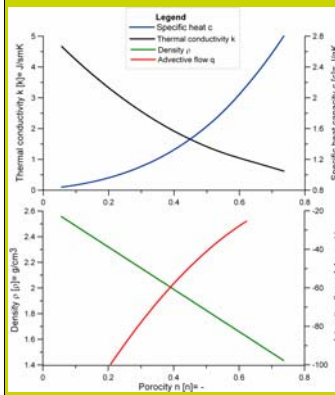


Abb. 4.2 Einfluss der Parameter Porenanteil n , Spezifische Wärmekapazität c und der thermischen Leitfähigkeit k eines vollständig gesättigten, sandigen Bodens auf die Kalibrierung der vertikalen advektiven Strömung; Daten aus einem Piezometernetz platziert in der Aa vom 09 - 31. 07. 2007; das negative Vorzeichen steht für Strömung aus dem Grundwasser in den Fluss

Die physikalischen Eigenschaften von gesättigten porösen Medien wie etwa Sand sind insbesondere durch die Porenanteil (od. der Trockendichte) bestimmt (Lapham 1989).

Werte für die Eingangparameter des Modells wie etwa Thermische Leitfähigkeit k , Dichte ρ oder Wärmekapazität c sind von der Porenanteil n des Mediums abhängig.

Thermische Leitfähigkeit k und spezifische Wärmekapazität c zeigen dabei einen nichtlinearen Verlauf in Abhängigkeit von der Porenanteil.

Durch den gegenläufigen Verlauf wird der Einfluss auf das Ergebnis jedoch gedämpft.

Im realistischen Bereich der Porenanteil n von Sandigen Böden zwischen 0,3 und 0,5 ergibt sich für den advektiven Austauschterm nur eine leichte Nichtlinearität.

Porenanteil	Austauschterm
n	q
-	mm/d
0,51	-39,7
0,42	-55,1
0,30	-77,5

Tab. 4.1 Konkrete Ergebnisse aus der Kalibrierung der vertikalen advektiven Strömung unter Verwendung verschiedener Porenanteile; Daten aus einem Piezometernetz platziert in der Aa vom 01 - 31. 07. 2007; negatives Vorzeichen steht für Strömung aus dem Grundwasser in den Fluss