

Einführung

Mit Hilfe von numerischen Grundwassermodellen können komplexe hydraulische und chemische Interaktionen im Grundwasserleiter simuliert werden, deren Berechnung die Möglichkeiten einer analytischen Lösung übersteigen. Eine Vielzahl von Fragestellungen wie z.B. die Bestimmung von Strömungspfadlinien und -geschwindigkeiten, horizontalem und vertikalem Stoff- und Wärmetransport oder Wasserstandsberechnungen mit variablen Randbedingungen können damit beantwortet werden.

Unser Ingenieurbüro verwendet hierfür die in der Wasserwirtschaftsverwaltung als Standardprogramm eingesetzte Modellierungssoftware Feflow (Version 5.3) der Fa. Wasy.

Diese Software basiert auf der Methode der Finiten Elemente und ermöglicht die Erstellung von 2-D- und 3-D-Grundwassermodellen mit stationären und instationären Berechnungen sowie Strömungs-, Wärme- und Massentransportmodellen im gesättigten und ungesättigten Bereich. Chemische Sorptions- und Abbauprozesse können ebenfalls simuliert werden.

Die Eingangsdaten werden in einem relationalen Datenbankmanagementsystem erfasst (Oracle, MS SQL-Server, MySQL) und in einem angebundenem GI-System (ArcGIS) vor- und nachbereitet.

2-D-Strömungsmodell, instationär

Im 2-dimensionalen Strömungsmodell werden einzelne Grundwasserleiter ohne Interaktion mit über- oder unterlagernden Schichten simuliert. Es können jedoch konstante oder variable Zu- oder Abflüsse an der Modellunter- und -oberkante zugewiesen werden.

Die Lage des Wasserspiegels im Modell wird durch vorgegebene Randbedingungen am Modellrand (Wasserstand oder Zufluss), im Modellgebiet selbst (z.B. Entnahme/Einspeisung durch Pumpen) und weitere Parameter wie z.B. Grundwasserneubildung bestimmt. Werden diese Parameter zeitlich variabel definiert, so kann ein instationäres Modell über einen gewissen Betrachtungszeitraum simuliert werden.

Beispiel: Überschwemmung eines Kellers in Wolfratshausen während des Pfingsthochwassers 1999

Im Zusammenhang mit dem Pfingsthochwasser 1999 kam es zu einem Schadensfall durch die Überschwemmung eines Kellers im Stadtgebiet Wolfratshausens. Mit Hilfe eines instationären Strömungsmodells sollte die Frage geklärt werden, welche Hochwasserwelle der beiden nahe liegenden Flüsse Loisach und Isar für die Überschwemmung ursächlich war. Dazu wurden die Modellränder *Isar* und *Loisach* mit zeitlich variablen, tatsächlich gemessenen Wasserständen belegt und die Auswirkung der durchlaufenden Hochwasserwellen auf den Grundwasserstand am Schadensobjekt berechnet. Durch das abwechselnde konstant Halten eines Flusswasserstandes konnte die Wasserstandsveränderung am Schadensobjekt der Hochwasserwelle des jeweils anderen Flusses zugeordnet und quantifiziert werden.

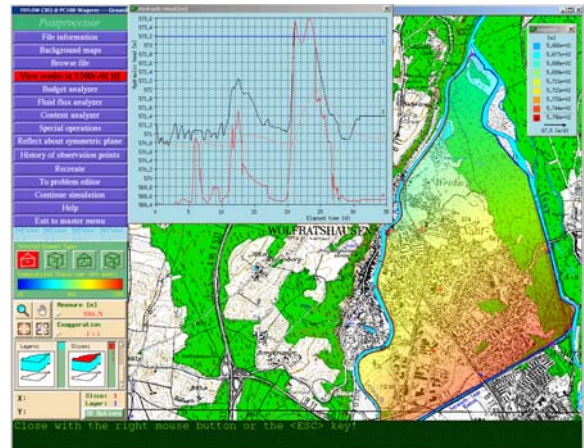


Abbildung 1: Berechneter Wasserstand im Modellgebiet Wolfratshausen mit Darstellung des Wasserstandsverlaufes an verschiedenen Beobachtungspunkten (Diagramm).

2-D-Transportmodell, instationär

Ein 2-D-Strömungsmodell kann um die Möglichkeit einer **Massentransport**-Berechnung erweitert werden. Zusätzlich zu den o.g. hydraulischen Randbedingungen müssen dazu Randbedingungen für den Stoffeintrag und die Stoffausbreitung definiert werden. Chemische Abbaureaktionen können dabei ebenfalls simuliert werden.

Dabei können sowohl die hydraulischen als auch die Transportparameter getrennt voneinander variabel (instationär) definiert werden.

In vergleichbarer Weise kann **Wärmetransport**, etwa zur Berechnung der Einsatzmöglichkeiten von Wärmepumpen, simuliert werden.

Beispiel: Prognose von Nitratgehalten im Trinkwasser bei unterschiedlicher Bewirtschaftung der Brunnen

Das geförderte Trinkwasser der Wasserversorgung Fürstenfeldbruck weist Nitratkonzentrationen nahe am EU-Richtwert von 25 mg/l auf. Dabei zeigen die vier Brunnen der Brunnengruppe unterschiedliche Konzentrationen, die vermutlich durch unterschiedliche Landnutzung in den jeweiligen Einzugsgebieten zu erklären sind.

Ziel eines für die Stadtwerke Fürstenfeldbruck erstellten instationären Transportmodells war die Minimierung der durchschnittlichen Gesamtkonzentration der Brunnen durch eine optimale Brunnenbewirtschaftung bzw. die Auswirkungen eines Brunnenneubaus und der Stilllegung der am stärksten belasteten Brunnen auf die zukünftigen Nitratkonzentrationen zu prognostizieren. Zudem wurden die Auswirkungen einer veränderten Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen auf die Nitratkonzentration im Förderwasser berechnet.

Wegen der im weiteren Einzugsgebiet der Brunnen liegenden Bundesstraße 471 wurde das Szenario

eines Unfalls mit einem punktuellen Schadstoffeintrag simuliert. Abbildung 3 zeigt vier Situationen der Ausbreitung der Schadstofffahne im Grundwasserleiter und - im Diagramm dargestellt - den zeitlichen Verlauf der Schadstoffkonzentration im Brunnenwasser.

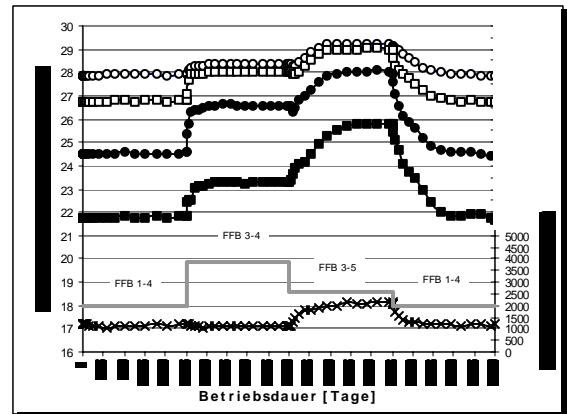


Abbildung 2: Entwicklung des Nitratgehaltes im geförderten Trinkwasser der Wasserversorgung Fürstenfeldbruck bei unterschiedlicher Bewirtschaftung der Brunnen

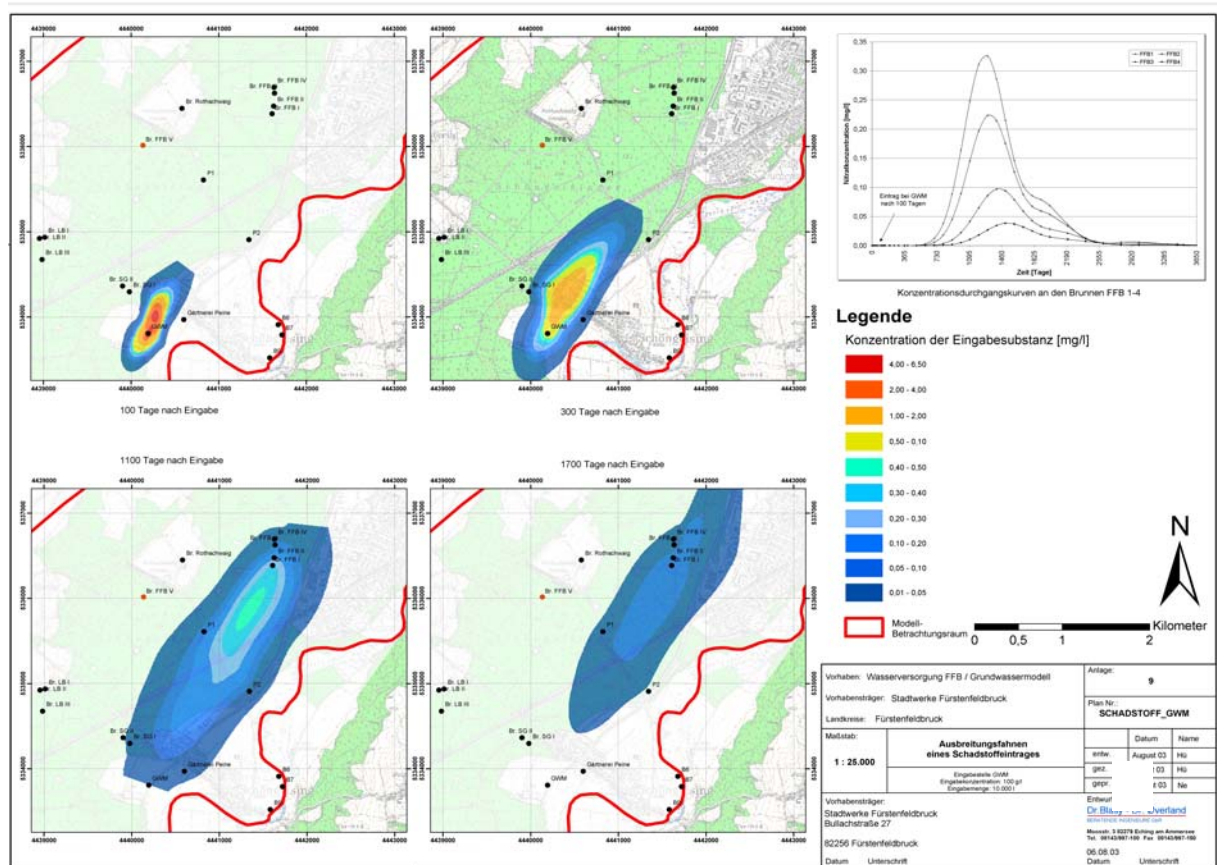


Abbildung 3: Simulation einer Schadstoff-Ausbreitungsfahne im Grundwasser bei einem punktuellen Eintrag (Unfall).

3-D-Strömungsmodell, stationär

Für die Berechnung komplexerer Grundwassersituationen, etwa der Interaktion zwischen mehreren Grundwasserstockwerken, der Auswirkungen einer Grundwasserentnahme aus einem tieferen Grundwasserstockwerk auf oberflächennahes Grundwasser oder vertikaler Strömungskomponenten muss ein 3-D-Mehrschichtmodell erstellt werden. Die Anzahl der Schichten und der Umfang des Modells bzw. die horizontale Auflösung (Diskretisierung) ist dabei nur durch die Rechnerkapazität limitiert.

Beispiel: Einzugsgebietsermittlung der Trinkwasserversorgung des Zweckverbandes Moosrain

Zur Sicherstellung des gestiegenen Trinkwasserbedarfs wurde für die Wasserversorgung des Zweckverbandes Moosrain (größter Abnehmer ist der Flughafen München) ein weiterer Trinkwasserbrunnen errichtet. Die Planung des Brunnens und die Bauleitung wurden von unserem Büro durchgeführt.

Nach Fertigstellung des Brunnens wurde ein Wasserrechtsantrag erstellt, dessen Grundlage die Ergebnisse eines 3-D-Strömungsmodells des Grundwasserleiters im Einzugsgebiet der Brunnen darstellen.

Im Gewinnungsgebiet wird mit den bestehenden Brunnen bereits aus zwei tertiären Grundwasserleitern gefördert. Ein weiteres Brunnenfeld des Zweckverbandes befindet sich in ca. 3 km Entfernung von diesem. Mit dem 3-D-Grundwasserströmungsmodell wurden die Einzugsgebiete der bereits in Betrieb befindlichen Brunnen für unterschiedliche Bewirtschaftungskonzepte der beiden tertiären Grundwasserleiter berechnet und entsprechende Vorschläge für die Schutzgebietsausweisung gemacht. Berücksichtigt wurde hierbei auch die Neubildung des Tiefenwassers.

Da mit den bestehenden Brunnen noch keine hinreichende Versorgungssicherheit besteht, ist die Errichtung eines weiteren Brunnens im Gewinnungsgebiet geplant. Mit Hilfe des Grundwassermodells konnte die prognostizierte Grundwasserentnahme aus dem geplanten Brunnen simuliert und in den Schutzgebietsvorschlag mit eingebunden werden.

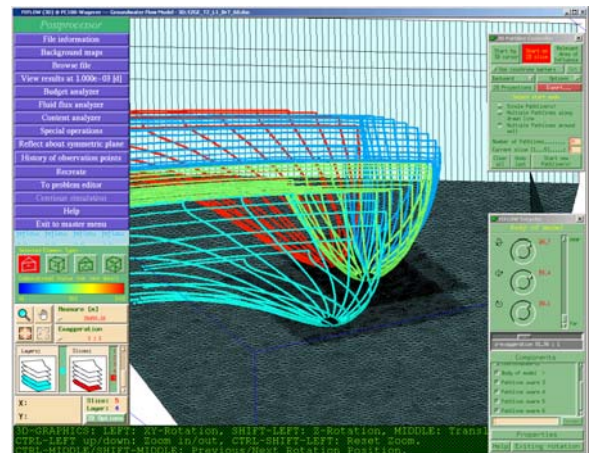


Abbildung 4: 3-D-Pfadlinien des Zustroms zu den einzelnen Brunnen des Zweckverbandes zur Trinkwasserversorgung Moosrain (bei München).

3-D-Transportmodell, instationär

Ebenso wie das 2-D-Modell kann ein 3-D-Strömungsmodell um eine Massen- oder Wärmetransportmodellierung erweitert werden, und es können sowohl die hydraulischen als auch die Transportparameter variabel (instationär) zugewiesen werden. Somit können hydraulische und hydrochemische Veränderungen für komplexe Systeme im zeitlichen Verlauf simuliert werden.

Beispiel: Numerisches Grundwassermodell des Flughafens München

Im Auftrag der Flughafen München GmbH wurde ein umfassendes Hydrogeologisches Informationssystem für den Bereich des Flughafens und ein weites Umgriffgebiet erstellt. Die große Datenmenge von über 2500 Bohrungen, 650 Grundwassermessstellen und über 4 Mio. Messwerten wie z.B. Wasserstands-, Abfluss- und meteorologischen Daten wird über eine Datenbank verwaltet und bearbeitet sowie mit Hilfe von GIS-Software und spezieller Geo-Software (Darstellung von Bohrprofilen) visualisiert. Die Weiterverarbeitung bzw. Vorbereitung der Daten für die Implementierung im numerischen Modell erfolgt ebenfalls im GIS.

Das stationäre Modell besteht aus 6 Schichten mit ca. 1 Mio. Knoten und einer Modellfläche von ca. 330 km². Es können stationäre Zustände seit Beginn der Datenerfassung (ca. 1980) simuliert werden. Für eine instationäre Berechnung wurde aus Gründen der Handhabbarkeit das Modellgebiet auf den Flughafenbereich verkleinert.

Bisher durchgeführte Anwendungen des numerischen Modells *Flughafen München*:

- Prognose der Auswirkungen der (teilweisen) Abschaltung der Versickerungsanlage im Grundwasser-Unterstrom des Flughafens auf den Wasserstand im näheren und weiteren Umfeld unter Einbeziehung der möglichen ökologischen Konsequenzen auf Flora und Fauna.
- Prognose der Auswirkungen des Baus des Magnetbahntunnels im Flughafenbereich auf den oberstromigen Grundwasseraufstau im tertiären und quartären Grundwasserleiter unter Berücksichtigung der bereits vorhandenen Bauwerke im Untergrund (S-Bahntunnel) und Vorschlag für die Positionierung und Dimensionierung von Grundwasserüberleitungen.
- Pfadlinienberechnungen für verschiedene Grundwasserstockwerke zur Bestimmung der Position einer Schadstoffquelle.

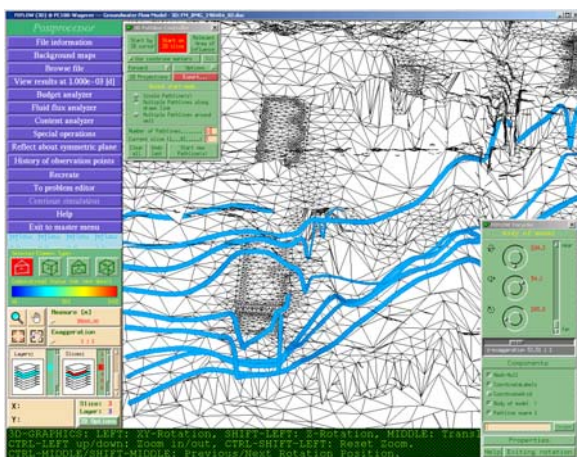


Abbildung 5: 3D-Pfadlinien der Grundwasserströmung im Flughafenbereich; Unterströmung von Gebäuden; Ansicht von unten.

Leistungen des Ingenieurbüros

Die oben dargestellten Beispiele zeigen einen Auszug möglicher Anwendungen von numerischen Grundwassermodellen. Selbstverständlich sind alle weiteren Kombinationen von 2-D- oder 3-D-Modellen mit stationären oder instationären Berechnungen und Strömungs-, Massentransport- und Wärmetransportmodellierungen möglich. Der Umfang und die Komplexität des benötigten Modells ist von der jeweiligen Fragestellung abhängig und muss für jeden Einzelfall geprüft werden.

Nutzen Sie die Erfahrung und das Wissen von Dr. Blasy – Dr. Øverland Beratende Ingenieure bei der Erstellung von numerischen Grundwassermodellen. Wir bieten Ihnen folgende Leistungen an:

- Datenrecherche und Erfassung der für das Modell erforderlichen Daten je nach Umfang mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms oder Erstellung einer Datenbank.
- Weiterverarbeitung der Daten im GI-System zur Implementierung im numerischen Modell.
- Erstellung eines der Fragestellung angepassten numerischen Grundwassermodells mit 2-D- oder 3-D-Berechnungen, stationärer oder instationärer Simulation, mit oder ohne Stoff- bzw. Wärmetransport.
- Auswertung und Darstellung der Ergebnisse mit Hilfe von GIS-Software (ArcGIS) und der üblichen Datenverarbeitungs-Software.
- Erstellung eines detaillierten Berichts mit schriftlicher und grafischer Darstellung der Modellierungsergebnisse.

Dr. Blasy - Dr. Øverland

Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG

Moosstraße 3 82279 Eching am Ammersee

Tel. 08143 / 997-100

Fax 08143 / 997-150

info@blasy-overland.de

www.blasy-overland.de