

Numerische Simulation von Grundwasserströmungen und Schadstofftransport

Der Wasserhaushalt in den Industriestaaten ist heute bis auf das Äußerste belastet. Dies gilt für die oberirdischen Fließgewässer, aber auch das Grundwasser ist inzwischen stark belastet. Leider sind die Auswirkungen dieser Belastungen aber nicht so offensichtlich, so daß die Probleme häufig unterschätzt werden.

Die Probleme im Grundwasserbereich gliedern sich in zwei Themenbereiche: einerseits der quantitative Aspekt des Grundwasserangebotes, andererseits der qualitative Aspekt, besonders mit dem Problem der Wasserinhaltsstoffe.

Diese Probleme sind im Ruhrgebiet seit langer Zeit bekannt. Hier kommt es durch den unterirdischen Abbau der Kohle, den Verbrauch der offengelassenen Abbaubereiche und die hierdurch auftretenden Senkungen des Geländes zu massiven Beeinflussungen des Grundwasserhaushaltes. Der durch die Senkung des Geländes relativ ansteigende Grundwasserpegel führt zur Änderung der Vegetation und der landwirtschaftlichen Nutzung. In der Nähe der Flüsse, z.B. des Rheins steigt das Grundwasser in Hochwassersituationen sogar so stark an, daß immer größere Flächen, besonders hinter dem Deich überflutet werden. Hierdurch ist die landwirtschaftliche Nutzung stark eingeschränkt. Außerdem besitzen diese Gebiete um das Ballungszentrum Ruhrgebiet einen erheblichen Freizeitwert, der natürlich ebenfalls stark eingeschränkt wird.

Um hier bessere Entscheidungsgrundlagen zu erhalten, ist es notwendig die gesamte Grundwassersituation in diesen Gebieten zu erfassen und zu beurteilen. Hierfür wurde an der Ruhr-Universität Bochum in enger Zusammenarbeit mit den Verbänden des Bergbaus im Ruhrgebiet eine Software entwickelt, die es erlaubt, Grundwassersituationen zu erfassen, zu unter-

suchen und zukünftige Entwicklungen des Grundwasserhaushaltes zu prognostizieren.

Die vorgestellte Arbeit beruht auf der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit einer interdisziplinären Arbeitsgruppe innerhalb der letzten 10 Jahre. Diese Arbeitsgruppe Grundwassermodelle wird geleitet von Herrn Prof. Schmid Ph. D. von der Fakultät für Bauwesen, Herrn Prof. Dr. Obermann vom geowissenschaftlichen Institut und Herrn Prof. Dr. Braess von der Fakultät für Mathematik.

Zur Simulation von Grundwasserströmungen und dem Transport von Schadstoffen im Grundwasser wurde das Programmsystem *SICK100*¹ entwickelt. *SICK100* ist ein dreistufiges Finite-Element-Programm. Zunächst unterstützen Preprozessoren die Erfassung und Verifikation der Daten und die Erstellung des Modells. Die Rechenprogramme führen die eigentliche Simulation durch. Hierzu gehört zunächst die Eichung des Modells an einem Sollzustand, anschließend die stationäre oder instationäre Simulation² und die Simulation des Stofftransportes³. Postprozessoren erlauben die Aufbereitung der Ergebnisse. Neben den üblicherweise meterlangen Listen besteht hier die Möglichkeit, alle Daten grafisch darzustellen und z.B. als Zeichnungen auszugeben, die als Planungsunterlagen für zu treffende Entscheidungen dienen.

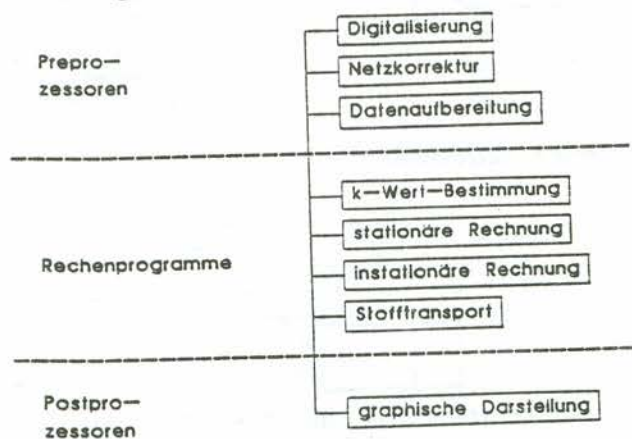


Bild 1: Aufbau des Programmsystems *SICK100*

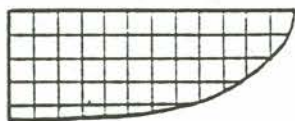
Die Simulation des Grundwassers im Rechner erfordert eine Idealisierung, eine Abbildung der Realität in ein Modell. Dies geschieht durch die Übertragung der unterschiedlichen Eigenschaften z.B. des Bodens auf homogene, in sich abgeschlossene (sogenannte Finite-) Elemente. Diese Elemente werden miteinander zu einem FE-Netz verbunden und repräsentieren in ihrer Gesamtheit das modellierte Problemgebiet.

SICK100 stellt hier folgende Modellierungsmöglichkeiten zur Verfügung:

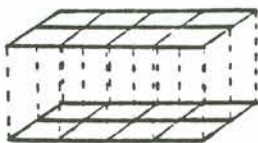
- 2D-Horizontalmodell (flächenhafte Gebiete)
- 2D-Vertikalmodell (hydraulische Schnitte, Dammdurchströmung)
- Mehrstockwerksmodell (Kopplung mehrerer Horizontalmodelle)
- 3D-Modell Horizontalmodell mit 3D-Teilgebiet



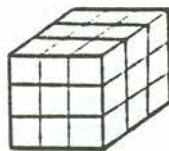
Horizontalmodell



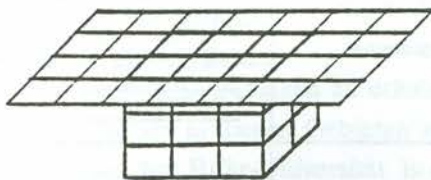
Vertikalmodell



Mehrstockwerksmodell



3D-Modell



Horizontalmodell mit 3D-Teilgebiet

Bild 2: Modellarten

Die Erstellung eines Grundwassermodells und Simulation von zu erwartenden Grundwasserströmungen soll an einem Beispiel am linken Niederrhein gezeigt werden. Hier, im Gebiet der Linksniederrheinischen Entwässerungsgesellschaft (abgekürzt: LINEG) wird unterirdisch Kohle abgebaut. Die hierdurch verursachten Bergsenkungen erfordern schon seit 1910 wasserbauliche Maßnahmen⁴.

Das Grundwassermodell "LINEG-Nordgebiet" liegt südwestlich von Wesel. Hydraulisch wird es begrenzt durch die Vorflut des Rheins im Osten und Norden. Im Süden und Westen liegen Wasserscheiden vor oder der Grundwasserstand ist durch Meßstellen bekannt. Südlich von Xanten befindet sich ein Altrheinarm mit einem Naturschutzgebiet und Erholungsflächen. Im Gebiet werden bis zum Jahre 2004 Bergsenkungen erwartet, deren Auswirkungen auf das Grundwasser durch entsprechende Sumpfungsmaßnahmen auszugleichen sind.

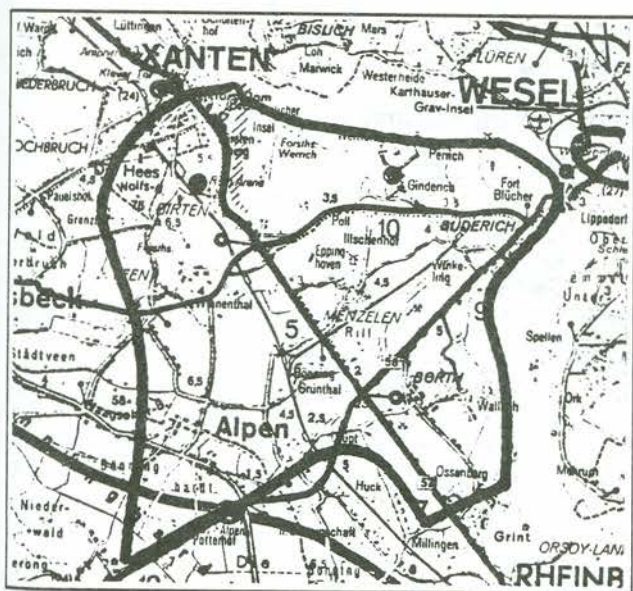


Bild 3: Lage des Grundwassermodells "LINEG-Nordgebiet"

Zur Erstellung des Modells werden zunächst die geometrischen Zwangspunkte des Problemgebietes erfaßt. Hierzu gehören neben dem Gebietsrand auch im Gebiet vorhandene Wasserflächen und Vorfluter, die man im Bild 4 anhand der gestrichpunkteten Linie erkennt. Weiterhin wird die Lage der Brunnen und Grundwassermeßstellen eingegeben.

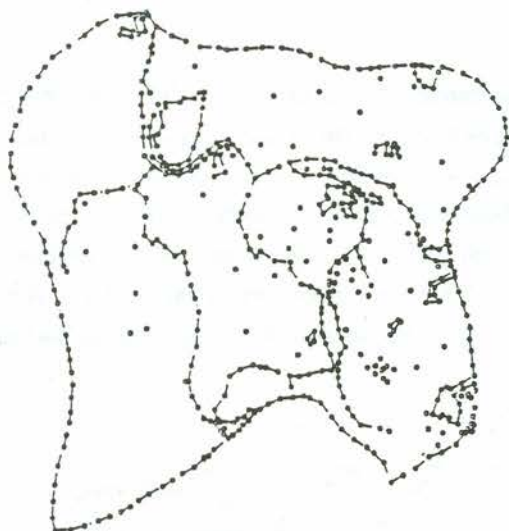


Bild 4: Zwangslinien und -punkte zur Konstruktion des Netzes



Bild 5: Zwangslinien und -punkte und generierte Netzknoten

Mit dieser geometrischen Information generiert das Programm dann eine Punktwolke, in der Verfeinerungsbereiche zur Genauigkeitssteigerung vorgesehen werden können. Die Lage der Punkte kann hierbei recht frei gestaltet werden.

Anschließend werden die Punkte zu einem Netz verbunden. Dies besteht aus Drei- und Viereckelementen, wobei die Polygonzüge der Vorfluter und Wasserflächen erhalten bleiben. Hierin sind nun sämtliche geometrischen Informationen enthalten.

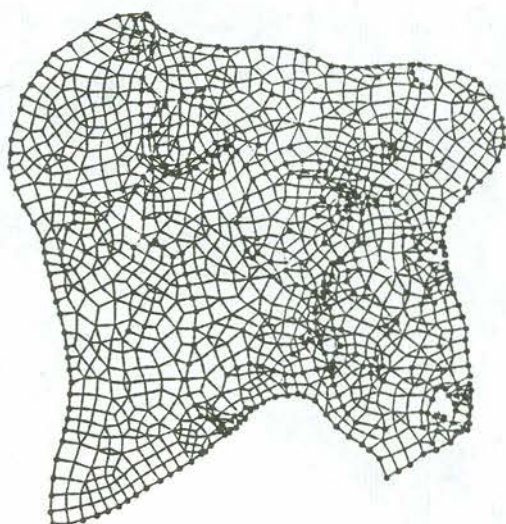


Bild 6: Zwangslinien und -punkte und generierte Elemente

Zusätzlich müssen nun noch die hydraulischen Daten eingegeben werden. Dies kann entweder durch direkte Zuordnung von Kennwerten zu konkreten Knoten und Elementen geschehen, oder durch Interpolation von digitalisierten Datensätzen auf das erstellte Netz.

Die für das Modell wichtigen Bodenparameter, wie z.B. der Durchlässigkeitsbeiwert, Kf-Wert, können im allgemeinen aus Aufwandsgründen nicht

flächendeckend ermittelt werden. Hier bietet das Programmsystem die Möglichkeit durch die Eichung des Modells diese Werte invers zu bestimmen. Bei dieser Eichung wird ein bekannter Grundwassersollzustand mit dem Modell simuliert.

Der Kf-Wert eines jeden Elementes wird solange iterativ verändert, bis die errechneten Grundwasserhöhen mit dem Sollzustand übereinstimmen.

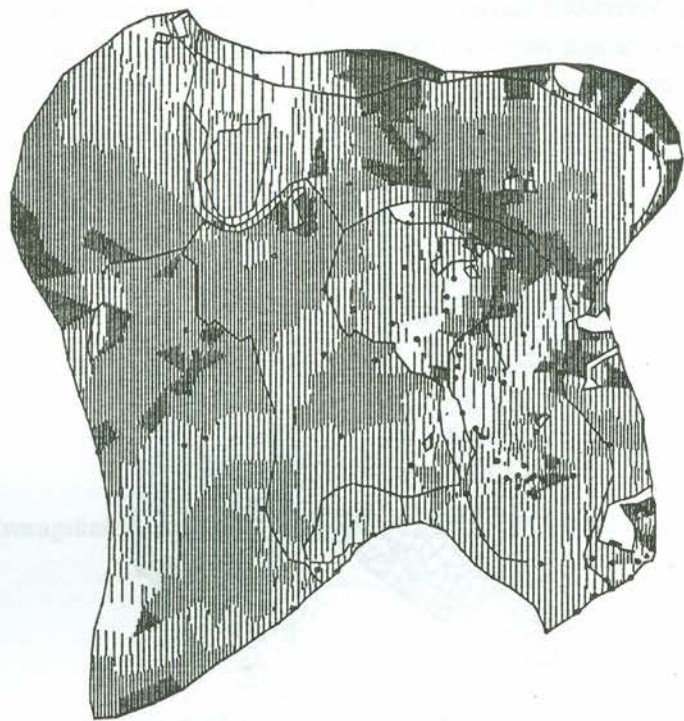


Bild 7: Verteilung der geeichten Kf-Werte

Hiermit ist das Modell geeicht und kann für Simulationen verwendet werden. Für diese Simulationen benötigt man natürlich die veränderten Parameter. Hierzu gehören die zu erwartenden Bergsenkungen. Das durch sie verursachte Absinken der Geländeoberfläche führt zu dem schon erwähnten relativen Anstieg des Grundwassers und zur Veränderung des Flurabstandes zwischen Grundwasser und Gelände.

In einer Simulation wurde nun zusätzlich auch noch ein Hochwasserstand des Rheins simuliert, was zu weiten vernässten Bereichen führt. Diese Bereiche liegen sowohl hinter dem Rheindeich, als auch im Zentrum des Bergsenkungsgebietes.

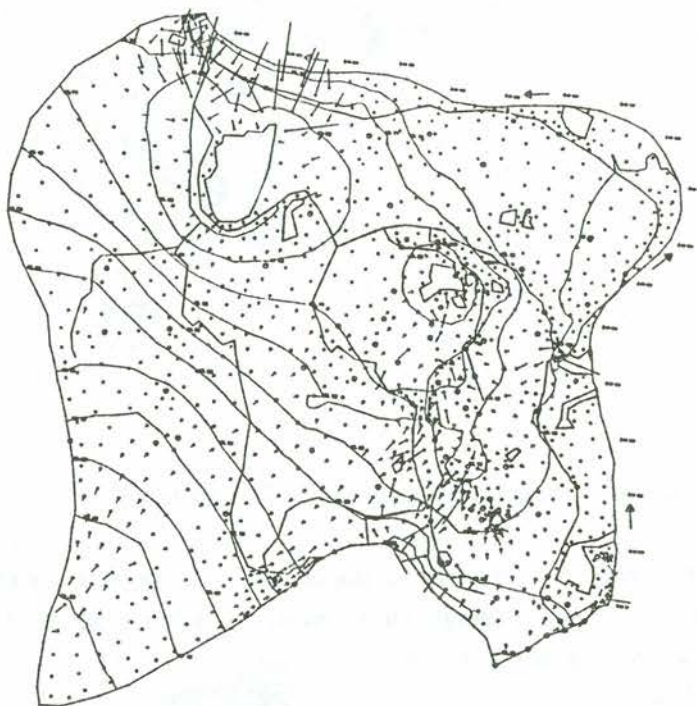


Bild 8: Isolinien der GW-Oberfläche und Geschwindigkeitsvektoren

Bild 8 zeigt die für diesen Zustand berechneten Isolinien der Grundwasseroberfläche und die Geschwindigkeitsvektoren des Grundwasserstromes. Die vernässten Bereiche sind mit Hilfe von Isolinien des negativen Flurabstandes in Bild 9 dargestellt.

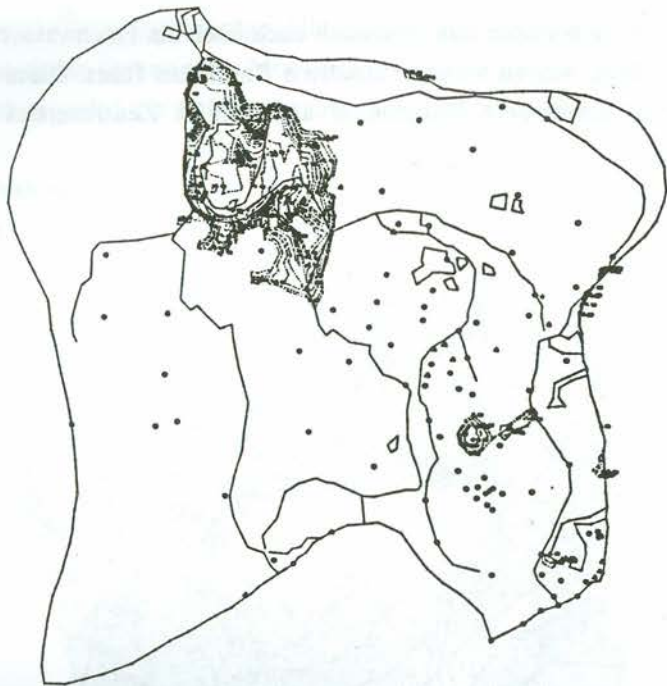


Bild 9: Isolinen der negativen Flurabstände (Überflutung)

Neben dem Stand der Grundwasserhöhen sind auch die Wassermengen und die zugehenden Transportwege von Interesse. Sie können mit einer anschließenden Berechnung der Bahnlinien dargestellt werden.



Bild 10: Bahnlinien des Grundwasserstromes

Jede Bahnlinie repräsentiert hierbei eine bestimmte Menge fließenden Wassers, so daß von der Dichte der Linien auf die fließende Menge geschlossen werden kann. Außer der Mengenbetrachtung erlauben die Bahnlinien auch eine Abgrenzung von Einzugsbereichen von Förderbrunnen.

Mit Hilfe dieser Prognose und des Modells können nun Maßnahmen zum Abpumpen der überflüssigen Wassermenge geplant werden.

Neben den quantitativen Simulationen ist in letzter Zeit auch die Simulation von Schadstoffen im Grundwasser möglich geworden. *SICK100* bietet hier vielfältige Möglichkeiten zur Simulation:

- Konvektion entlang der Bahnlinien,
- Diffusion aufgrund von Konzentrationsunterschieden,
- Dispersion aufgrund der Inhomogenität des Bodens,
- Adsorption durch den Untergrund,
- Abbau konstant oder linear.

Der Vollständigkeit halber seien hier auch noch die Möglichkeiten genannt:

- dichteabhängige Strömungen und
- Strömungen im gesättigten und ungesättigten Bereich zu simulieren.

Die Simulation des Stofftransports soll nun am Beispiel einer Deponie im Süddeutschen Raum gezeigt werden. Sie liegt, wie in Bild 11 dargestellt, oberhalb eines Urstromtales in der gesättigten Zone eines porösen Grundwasserleiters. Es wird vermutet, daß sich innerhalb der Deponie Schadstoffe befinden, die vom Grundwasserstrom transportiert werden. Aufgrund der niedrigen Geschwindigkeiten des Grundwassers im Bereich der Deponie überwiegt hier der dispersive Anteil des Transports.

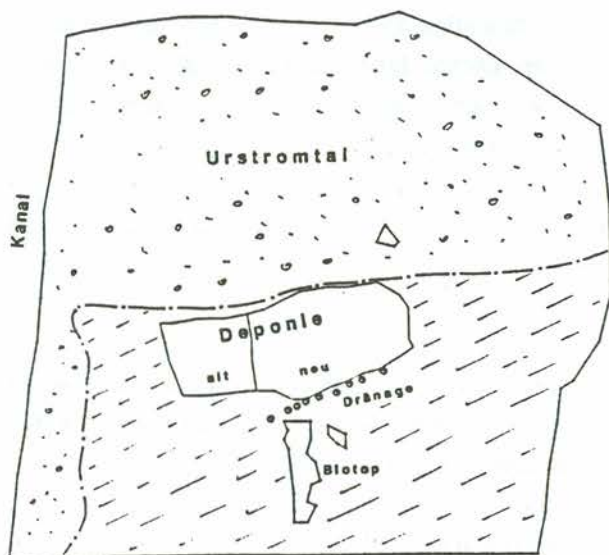


Bild 11: Lage der Deponie

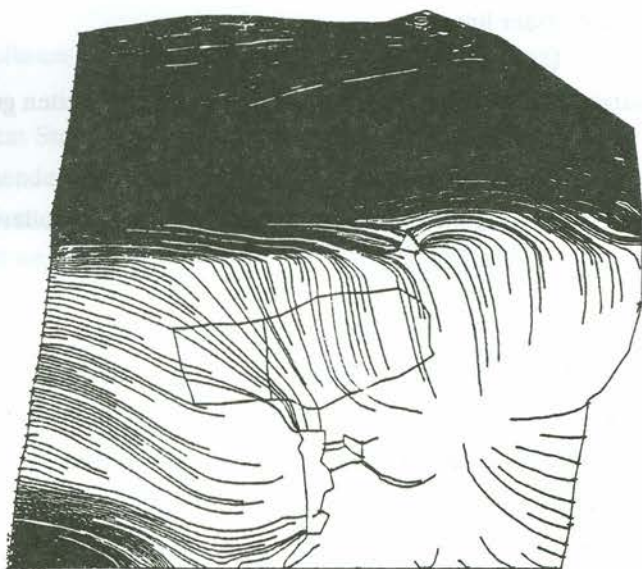


Bild 12: Bahnlinsen

Bild 12 zeigt den Verlauf des Grundwasserstroms. Deutlich zu erkennen sind die geringen Strömungsmengen im Bereich der Deponie und die starke Strömung im Urstromtal. Bild 13 zeigt die Grundwasserhöhenlinien zwischen 313 und 326 Metern und die Verteilung der Schadstoffe mit Konzentrationen zwischen 0.1 und 1 am Westrand der Deponie.

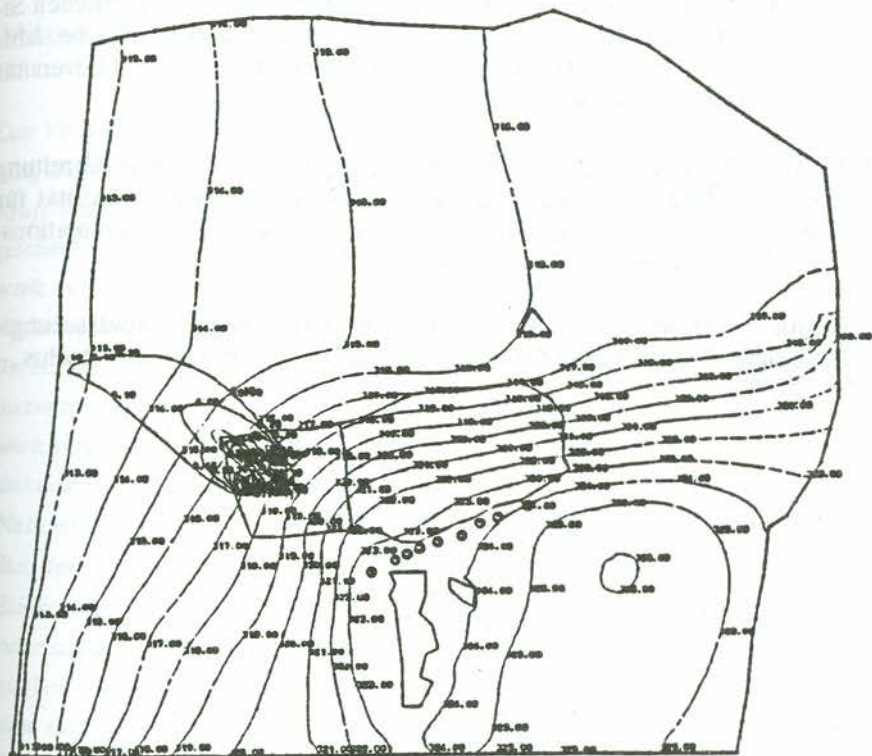


Bild 13: Isolinien der GW-Oberfläche und Konzentrationen

Die Beispiele zeigen wie Grundwassersituationen mit Hilfe von leistungsfähigen EDV-Programmen erfasst werden können. Die Möglichkeiten einer solchen Software, zusätzlich weitere Szenarien zu entwickeln und so Maßnahmen und deren Auswirkungen zu simulieren, bieten ein starkes Werkzeug zur Lösung der immer dringlicher werdenden Probleme im Grundwasserbereich.

Literatur

- ¹ SICK100, Version 17.0, Programmbeschreibung und Benutzerhandbuch, Arbeitsgruppe Grundwassermodelle, Ruhr-Universität Bochum, Bochum 1990
- ² HOFFMANN, C.: Einfluß von Bergsenkungen bei der mathematischen Simulation von Grundwasserströmungen, Technisch-wissenschaftliche Mitteilungen des Institutes für konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität Bochum, Mitteilung Nr. 86-7, Juli 1986
- ³ BRAND, Th.: Ein Vergleich von Berechnungsmethoden zur Ausbreitung von Schadstoffen im porösen Medium, Diplomarbeit bei der Fakultät für Bauingenieurwesen, Fachgebiet Theorie der Tragwerke und Simulationstechnik, Ruhr-Universität Bochum, August 1989
- ⁴ Bauplan Teilentwurf Vorflut 1988, Linksniederrheinische Entwässerungsgesellschaft Moers (LINEG) - Körperschaft des öffentlichen Rechts - Moers 1988

Anschrift des Autors

Dipl.-Ing. V. Bettzieche
Ruhr-Universität Bochum
Fakultät für Bauingenieurwesen
Postfach 10 21 48
4630 Bochum

Telefon: (02 34) 7 00-77 39/61 41