

Grundwassermodellierung

In den 1970er Jahren arrangierten sich die in der DDR in der Grundwasserforschung führenden Institutionen Technische Universität Dresden, Institut für Wasserwirtschaft Berlin, VEB Hydrogeologie Nordhausen und Bergakademie Freiberg mit dem Rechenzentrum des Instituts für Energetik Leipzig, um ihre Kräfte zu bündeln und ihre spezifischen Erfahrungen in die gemeinsame Entwicklung eines Simulationsprogramms einzubringen, dass gleichermaßen leistungsfähig sein sollte für Aufgabenstellungen der hydrogeologischen Erschließung und Grundwasserbewirtschaftung, der Klärung landwirtschaftlicher Wasserprobleme, der Tagebauentwässerung und –wiederauffüllung einschließlich der Modellierung des Stofftransportes mit dem strömenden Grundwasser. Speziell im VEB Hydrogeologie konnte in den 80er Jahren mit der Anschaffung des Rechners AKT 6454 (Arbeitsplatz für Konstrukteure und Technologen) basierend auf dem Mikrorechner K1630 und mehreren PC 1715 die Leistungsfähigkeit erhöht werden. Aufgrund seiner Speichergröße und der grafischen Peripherie erlangte der AKT 6454 zentrale Bedeutung für die hydraulische Datenverarbeitung besonders größerer Projekte. Hinweis: Der folgende Einzelbeitrag ist ein Auszug aus Löffler & Meinert "Ausgewählte Forschungs- und Erkundungsergebnisse auf dem Gebiet der Hydrogeologie in der DDR" in dem 2011 veröffentlichten Teil II der „Geschichte der Geowissenschaften in der DDR“ von M. Guntau, O. Hartmann, W. Pälchen, M. Störr (Schriftenreihe für Geowissenschaften Heft 18/2010).

Grundwassermodellierung (P. NILLERT)

1 Entwicklung der Grundwassermodellierung in der DDR (P. NILLERT)

Die Modellierung der Strömungsprozesse des unterirdischen Wassers basierte in den 1950er und 60er Jahren auf der Analogie der physikalischen Gesetzmäßigkeiten für die Leitung elektrischen Stroms und der Filterströmung von Wasser. Insbesondere durch die ‚Gemeinsame Forschungsgruppe Grundwasser‘ des Instituts für Wasserwirtschaft Berlin und der Technischen Universität Dresden initiierte Modellentwicklungen in der Technik der Anwendung elektrisch leitender Papiere und elektroanaloger Widerstandsnetzwerke sowie die Vermittlung diesbezüglicher Kenntnisse in der studentischen Ausbildung waren auch Grundlage für die praktische Anwendung dieser physikalischen Modellierung von Geofiltrationsvorgängen im VEB Hydrogeologie Nordhausen (VEB HGN). Mithilfe elektroanaloger Einzugsgebietsmodelle, die es erlaubten, beliebige Konturen und Arten hydraulischer Randbedingungen zu gestalten und zu kombinieren sowie verteilte Parameter (ortsdiskret) zu berücksichtigen, war es möglich, Grundwasservorrats- und Fassungs-nachweise auch in komplizierten hydrogeologischen Situationen vorzugsweise in stationärer Betrachtungsweise wissenschaftlich begründet zu erstellen (J. MURGLAT). Ab Mitte der 1960er Jahre entwickelte sich die elektronische Datenverarbeitung schrittweise im kommerziellen Bereich beginnend mit sog. Kleinrechnern der Größe eines 150 L-Kühlschranks und der Leistung eines intelligenten Taschenrechners aus dem Jahr 2008. Gleichwohl wurden Datenverarbeitungsprogramme für viele regelmäßig durchzuführende analytische strömungsmechanische Berechnungen zur Auslegung von Brunnenfassungen gemäß Fachstandard WAPRO 1.42 (EDV-WAPRO 01-20-01 1972, KADEN et al 1975) und Auswertung von Pumpversuchsdaten entsprechend Regelwerk der TGL 23 864 im VEB Hydrogeologie Nordhausen z. B. von U. SCHÄFER und an der Technischen Universität Dresden von U. BEIMS federführend entwickelt sowie den wachsenden Leistungsmerkmalen und verschiedenen Arten der Hardware angepasst. In den 1970er Jahren wurden an der Sektion Wasserwesen der Technischen Universität Dresden zwei Simulationsprogramme für dreidimensionale Grundwasserströmung schrittweise entwickelt. S. KADEN legte 1973 mit seiner Dissertation (KADEN S. 1973) ein in der Praxis anwendbares orts- und zeitdiskretes numerisches Modell auf Basis einer finite-Differenzen-Approximation und Dreiecknetz-Diskretisierung für damalige Großrechner (z. B: BESM6, ESER 1040) vor. Das Programm HOREG (horizontalebene Grundwasserströmung) wurde durch Erweiterung der Diskretisierung in z-Richtung zur 3D-Version weiter entwickelt und zur Modellierung von wasserhaushaltlichen Aufgabenstellungen, Fassungsproblemen und insbesondere Fragen der Sumpfung von Tagebauen und Wiederauffüllung deren Restlöcher an der TU Dresden und im Institut für Wasserwirtschaft sowie direkt in den Betrieben des Braunkohletagebaues eingesetzt. U. BEIMS, L. LUCKNER und P. NILLERT entwickelten an der TU Dresden bis 1975 ein ähnliches 3D-Simulationsprogramm auf Basis beliebiger Orthogonalnetzdiskretisierung (HOREGO: BEIMS 1975) mit gleichen Einsatzgebieten. Die Leistungsmerkmale der Datenverarbeitungstechnik erlaubten in den 1970er Jahren nur eine beschränkte Anzahl von einigen Hundert ortsdiskreten Elementen in einem Modell, die zwangsläufig in Bezug auf die Beschreibung lokaler Brunnenanströmungen viel zu groß waren. Der Lösung dieses Problems widmete sich P. NILLERT 1976 mit der Entwicklung von Verfahren zur Berücksichtigung und Berechnung von Brunnen in beliebigen ortsdiskreten Modellen. Mit der Anwendung des Programms HOREGO ab 1976 im VEB HGN konnte die vergleichsweise sehr arbeitsintensive elektroanaloge Modellierung durch die wesentlich effizientere numerische Modellierung zunächst auf externen Rechenanlagen wie z. B. in der Akademie der Wissenschaften in Berlin-Adlershof abgelöst werden. Im gleichen Zeitraum entwickelte W. HEEG

an der Bergakademie Freiberg in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energetik in Leipzig (D. SAMES) ebenfalls ein dreidimensionales Grundwassermodell (HEEG, W. 1972) auf Basis beliebiger Volumenelemente, das jedoch nicht so breite praktische Anwendung in der Simulation von Grundwasserströmungsprozessen gefunden hat. HOREGO war als FORTRAN-Quellcode verfügbar und wurde im VEB HGN, an der TU Dresden, der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR und nach 1989 auch noch in einigen Ingenieurbüros (z. B. GCI GmbH, Dresdner Grundwasser Consulting GmbH) auf der jeweils verfügbaren Hardware implementiert, teilweise weiter entwickelt und angewandt. In den 1970er Jahren arrangierten sich die in der DDR in der Grundwasserforschung führenden Institutionen Technische Universität Dresden, Institut für Wasserwirtschaft Berlin, VEB Hydrogeologie Nordhausen und Bergakademie Freiberg mit dem Rechenzentrum des Institut für Energetik Leipzig, ihre Kräfte zu bündeln und ihre spezifischen Erfahrungen in die gemeinsame Entwicklung eines Simulationsprogramms einzubringen, das gleichermaßen leistungsfähig sein sollte für Aufgabenstellungen der hydrogeologischen Erschließung und Grundwasserbewirtschaftung, der Klärung landwirtschaftlicher Wasserprobleme, der Tagebauentwässerung und –wiederauffüllung einschließlich der Modellierung des Stofftransportes mit dem strömenden Grundwasser. Wesentlichen Anteil an der Entwicklung der nach 1989 bis 2009 vom Ingenieurbüro für Grundwasser Leipzig weiter gepflegten Software GEOFIM (BOTH et al 1990) hatten insbesondere D. SAMES als Programmcode-Autor sowie J. BOTH, F. HÄFNER, S. KADEN und P. NILLERT. Eine dritte Entwicklungslinie initiierte H.-J. DIERSCH mit dem im Rahmen seiner Dissertation 1976 an der TU Dresden geschaffenen finite-Elemente-Modell FEFLOW, das zunächst für strömungsmechanische Berechnungen an Talsperrenauslässen, Ringkolbenschiebern usw. ausgelegt war und erst später auf die Aufgabenstellungen der Filtrationsströmung auf Grundlage des DARCY-Gesetzes angepasst worden ist. Ab Anfang der 1980er Jahre wurden Entwicklungsarbeiten an FEFLOW von DIERSCH in der Akademie der Wissenschaften in enger Zusammenarbeit mit dem VEB HGN und ab 1986 mit der Applikationsforschungsgruppe für Hydrogeologie und Geothermie des Kombines Geologische Forschung und Erkundung, vertreten durch Nillert, realisiert und aus diesem Bereich kofinanziert. Dabei wurden spezifische Anforderungen aus der Praxis betreffend Süß-/Salzwasserprobleme (z. B. DIERSCH, H.-J. & P. NILLERT 1984) und Wärmetransport im Grundwasser formuliert und auf der Basis von Anwendungserfahrungen Orientierungen für nutzerfreundliche Weiterentwicklung der Software gegeben. Seit 1990 wird FEFLOW® in der WASY GmbH (seit 2008 DHI-WASY GmbH) weiter entwickelt und als in seinem Anwendungsbereich weltweit führendes Produkt vertrieben. Die drei Softwareentwicklungen HOREGO, GEOFIM und FEFLOW® werden bis zur Drucklegung dieser Schrift 2009 in der jeweilig verfügbaren Hardware angepassten Versionen als dreidimensionale Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodelle - teils auch für Wärmetransport und dichteabhängige Strömungen erweitert - in Deutschland bzw. FEFLOW® weltweit angewandt.

2 Entwicklung der Grundwassermodellierung speziell im VEB Hydrogeologie (N. VICTOR)

Ende der 60er Jahre vollzog sich in der Hydrogeologie ein Entwicklungssprung. Die bis dahin üblichen empirischen Methoden zur Bestimmung des Grundwasservorratsnachweises wurden durch mathematisch fundierte Verfahren wie analytische und elektroanaloge Modellierungen schrittweise abgelöst. Zur Einführung dieser Verfahren wurde 1971 im VEB Hydrogeologie das Jugendkollektiv Grundwasserhydraulik gegründet. Erste Aufgabe dieses Kollektives war die Schaffung der gerätetechnischen Voraussetzung für die Anwendung von Kontinuummodellen.

Insbesondere wurde die Analogie des elektrischen Stromflusses mit der Filterströmung genutzt. Infolge der für damalige Verhältnisse vielseitigen Einsetzbarkeit, deren Anschaulichkeit und der Möglichkeit von direkten Messungen sowie den Kostenvorteilen gegenüber anderen Analogiemodellen (z.B. elektrolytischer Troganlagen) fand in größerem Umfang der Einsatz von elektrischen Papiermodellen statt. Die dafür erforderliche Gerätetechnik wurde selbst erstellt und in einen Papiermodellarbeitsplatz integriert.

Am Rechenzentrum der TU Dresden erfolgten 1974 analytische Strömungsberechnungen nach WAPRO 1.42. Auf dem Großrechner BESM 6 des Institutes für Energetik Leipzig wurde das dreidimensionale Strömungsmodell AQARIUM, in den Rechenzentren der TU Dresden und der Akademie der Wissenschaften Berlin das zweidimensionale Modell HOREGO genutzt.

Bei der Bearbeitung von einer zunehmenden Zahl von Modellierungsaufgaben traten organisatorische Probleme bei der Projektbearbeitung durch begrenzte Rechenzeiten und ungenügende Flexibilität an den Rechenzentren auf. 1975 stand dem VEB Hydrogeologie Nordhausen das Kleinrechnersystem KRS 4200 vom VEB Robotron-Elektronik Radeberg zur Verfügung. Die technischen Parameter waren u.a. Wortlänge 16 Bit, Zykluszeit 1,3 µs, Hauptspeicher Ferritkernspeicher mit 16 k Worte und externem Trommelspeicher. Im Rahmen von mehreren Plänen Wissenschaft und Technik (PWT) wurden u.a. die Themen „Einführung des KRS 4200 in die Grundwasserhydraulik“, „Rechnergesteuertes Netzwerk“ und „Digitalisierbare Widerstände“ untersucht. Ein wichtiger Grundsatz der gesamten Entwicklung war es die Forschungsarbeiten und die Bearbeitung von praktischen Aufgaben der hydrogeologischen Erkundung parallel zu betreiben.

Das Komplexprogramm Analytische Grundwasserströmungsberechnung (GSBA nach WAPRO 1.42) und das Komplexprogramm Pumpversuchsauswertung basierend auf analytischen Lösungen in Verbindung mit speziellen Suchstrategien zur Parameteridentifikation (PVA1) wurden für das KRS 4200 erstellt. Sie

ermöglichten sehr rationell die Simulation der Fließvorgänge und Parameteridentifikation in hydrogeologisch einfach aufgebauten Gebieten.

In Auswertung internationaler Entwicklungen wurde 1976 mit der eigenen Erstellung eines Analogteiles für den Aufbau eines Hybridrechners für die Simulation räumlicher Strömungsprozesse am KRS 4200 begonnen.

Kernstück des Analogteiles war eine digital steuerbare Widerstands- und Randbedingungseinheit. Jeweils eine Leiterkarte ermöglichte die Realisierung eines Knotenpunktes mit den digital steuerbaren Ortswiderständen R_x , R_y , R_z , einem steuerbaren Zeitwiderstand R_t und zwei steuerbaren Spannungs- und Stromquellen.

Die gewonnenen Erfahrungen und die weitere nationale und internationale Entwicklung zeigte, dass ortsdiskrete Modellierungsverfahren auch an Kleinrechnern zur Lösung von geohydraulischen Aufgabenstellungen genutzt werden können. Folgerichtig wurden zu Beginn des Jahres 1978 in Nordhausen die ersten Schritte zur

Entwicklung von digitalen Simulationsprogrammen für den KRS 4200 unternommen. Es wurde eine spezielle Version des ortsdiskreten digitalen Simulators HOREGO erstellt. Die Forschungsgruppe Grundwasser des IfW Berlin und der TU Dresden hatte ursprünglich das Rechenprogramm für den Großrechner BESM-6 entwickelt.

Nur durch Umprogrammierung des Programmsystems in die Programmiersprache SYPS und der Realisierung von umfangreichen Auslagerungen während des Programmlaufes in die externen Trommelspeicher bei Auslastung bis zur Leistungsgrenze der Hardware war eine Übernahme auf den KRS 4200 möglich.

Neben der zweidimensionalen instationären Grundwasserströmungsberechnung, den analytischen Berechnungen nach WAPRO 1.42 und der Auswertung von Pumpversuchen wurden noch

Grundwasserneubildungsberechnungen (RASTER), Isolinienberechnungen (ISO 6 und ISO 7) und verschiedene statistische Auswertungen auf dem Kleinrechnersystem bearbeitet. Mittels der im VEB Hydrogeologie vorhandenen Programme konnten die Aufgaben der mathematischen Modellierung weitgehend erfüllt werden.

Durch das begrenzte Leistungsvermögen der Rechentechnik traten jedoch terminliche Probleme bei der Bearbeitung der Aufgaben auf.

Mit der Anschaffung des Rechners AKT 6454 (Arbeitsplatz für Konstrukteure und Technologen) basierend auf dem Mikrorechner K1630 (Hauptspeichergröße 256k Byte, Magnetband, Magnetplatten; Digitaler Zeichentisch) im Jahr 1986 und mehreren PC 1715 sollte die Leistungsfähigkeit beträchtlich erhöht werden. Aufgrund seiner Speichergröße und der grafischen Peripherie erlangte der AKT 6454 zentrale Bedeutung für die hydraulische Datenverarbeitung besonders größerer Projekte. Folgende Berechnungen konnten auf ihm durchgeführt werden.

- instationäres zweidimensionales Strömungsmodell HOREGO
- stationäres zweidimensionales Strömungsmodell STAM
- analytische Grundwasserströmungsberechnung GSBA
- Pumpversuchsauswertung PV
- GW-Neubildungsberechnung RASTER 84
- Programme zur graphischen Darstellung von Stromlinien, Isochronen, Gitternetzen, Potentialdifferenzen, Geschwindigkeitsverteilungen und Fließzeiten.

Mit den erstmalig in größerem Umfang verfügbaren Bürocomputern als arbeitsplatznahe Rechner war die Möglichkeit einer dezentralen rechnergestützten Bearbeitung von geologischen Problemstellungen möglich.

Es wurde ein Geologenarbeitsplatz geschaffen der folgende Möglichkeiten bot:

- Arbeitsplatzbezogene rechnergestützte Auswertung von Feldversuchen zur Parametergewinnung,
- Durchführung von einfachen Modellrechnungen im Prozess der Objektdurchführung mit dem Ziel einer Steuerung des Erkundungsprozesses,
- Rationalisierung von Dokumentationsarbeiten.

Der Geologenarbeitsplatz enthielt in der 1. Ausbaustufe folgende Programme:

RASTER 84	Grundwasserneubildungsberechnung
PVBC	Pumpversuchsauswertung
GSBABC	analytische Grundwasserströmungsberechnung
STAM	ortsdiskrete Simulation stationärer gespannter Verhältnisse
VERFU	Berechnung empirischer Verteilungsfunktionen
REGNL2	Korrelation/Regression
AUTOR	Autokorrelation
REMEFA	Mehrfachregression
STOF2	Eindimensionale Simulation des Stofftransportes
TRIDE	Parameterermittlung für den Stofftransport

Für dreidimensionale Strömungsprobleme wie z.B. mit dem Programmsystem GEOFIM erfolgte weiterhin die Nutzung von außerbetrieblichen Rechenzentren.

Literatur

BEIMS, U., LUCKNER, L. & P. NILLERT: Programmdokumentation zum digitalen rechenprogramm HOREGO.- Forschungsgruppe "Grundwasser" des IfW Berlin und der TU Dresden 1975

BEIMS, U., MURGLAT, J. & ESCHNER, J.: Pumpversuchstypenkatalog zur Pumpversuchsauswertung nach TGL 23864.- VEB Hydrogeologie, Nordhausen 1985

BOTH, J., KADEN, S., NILLERT, P. & SAMES, D.: The program system GEOFIM for the digital simulation of subsurface water movement and transport.- Dresden Symposium, March 1987, IAHS Publ. no. 173, 1990.

DIERSCH, H.-J. & NILLERT, P.: Untersuchungen zur Dynamik geogen bedingter Salzkontaminationen an Vertikalfilterbrunnen.- In: Zeitschrift für angewandte Geologie, Bd. 30, Heft 2, S. 93-104, Berlin 1984

DIERSCH, H.-J.: WASY Software Feflow® 5 Finite Elemente Subsurface Flow Transport Simulation System.- WASY Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung, WASY GmbH, Berlin 2005

HEEG, W.: Instationäre zweidimensionale Strömung einer kompressiblen Flüssigkeit in inhomogenen porösen Stoffen, Grundproblem, numerisches Modell.- unveröff., Forschungsbericht der BA Freiberg für das FIEE Gommern 1972

KADEN, S., BEIMS, U., ELSNER, H. & U. HARTMANN: Praktische Anwendung des FORTRAN-Komplexprogramms "Brunnenbemessung".- WWT, 25(1975) 5, 6, Berlin 1975

KADEN, S.: EDV-gestützte Grundwasserbewirtschaftung in der DDR.- Mitt. Dt. Inst. f. Wasserwirtschaft M. 45; VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1983

SCHÄFER, U.: Abflussspendenkarte