

Inhaltsverzeichnis

0	Vorwort	v
1	Einleitung	1
1.1	Aufgabenstellung und Veranlassung	1
1.1.1	Problematik urbaner Räume	2
1.1.2	Anwendung von Geographischen Informationssystemen (GIS) und computergestützten Verfahren in der Hydrogeologie	2
1.2	Datenlage und Zielsetzung	2
1.3	Gliederung der Arbeit	4
2	Theoretische Grundlagen	5
2.1	Definition und Aufbau eines GEO-Informationssystems	5
2.2	Modellbegriff und Modelltypen	8
2.3	Grundwasserdatenbank und Datenmodell	9
2.3.1	Einteilung und Entwicklung der Datenbanksysteme	9
2.3.2	Datenbankschemen, DBMS und die Benutzersicht auf Daten	12
2.3.3	Anforderungen an das Datenmodell	14
2.3.4	Relationales Datenmodell	14
2.4	Regionalisierte Variable und Geostatistik	17
2.4.1	Methoden der Isolinienkonstruktion	18
2.4.1.1	Inverse-Distanzen-Methode	20
2.4.1.2	Triangulation	22
2.4.1.3	Kriging	23
2.4.2	Variogrammanalyse	24
2.5	Zeitreihenanalyse	26
3	Beschreibung des Untersuchungsgebietes	27
3.1	Geographische Lage, Morphologie und naturräumliche Beschreibung	27
3.2	Hydrologischer Rahmen und Raumnutzung	28
3.3	Geologische Übersicht	32
3.4	Geologischer Aufbau	32
3.4.1	Grundgebirge	32
3.4.2	Deckgebirge / Perm	34
3.4.3	Tertiär	35
3.4.4	Quartär	35
3.5	Tektonik	36
3.6	Klimatische Verhältnisse	39
3.7	Hydrogeologie	42
3.7.1	Hydrogeologische Übersicht	42
3.7.2	Aufbau des Porengrundwasserleiters und Stockwerksgliederung	43
3.7.3	Grundwasserentnahmen	45
3.7.4	Hydrogeologische Kennwerte	47
3.7.4.1	Kluftgrundwasserleiter	48
3.7.4.2	Porengrundwasserleiter	48
3.8	Versiegelung und urbane Hydrogeologie	48
3.8.1	Grundwasserneubildung in urbanen Räumen	51
3.8.2	Natürliche Grundwasserneubildung	53
3.8.3	Randzuflüsse	54
3.8.4	Versickerung von Regenwasser	55
3.8.5	Einzelfallrecherche an einem ins Grundwasser reichenden Bauwerk	55

4	Datengewinnung und Datenbeschreibung	58
4.1	Geländemethoden	58
4.1.1	Probenahme	58
4.1.1.1	Pumpversuche	58
4.1.1.2	Schöpfproben	59
4.1.1.3	Quellen, Oberflächengewässer und Keller	59
4.1.1.4	Niederschlagsproben	59
4.1.2	Feldanalytik und Vor-Ort-Parameter	60
4.1.3	Grundwasserstände	60
4.1.3.1	Grundwasserstandsmessungen	60
4.1.3.2	Digitale Grundwasserstandsaufzeichnung	62
4.1.4	Hydraulische Versuche	63
4.1.5	Geologische Erkundungen und Trennflächenmessungen	63
4.2	Laboranalytik	63
4.3	Sonstige Informationsquellen	64
4.3.1	Meßorte	64
4.3.2	Chemie der Brunnenwässer	64
4.3.3	Gutachten zu Grundwasser- und Bodenverunreinigungen	64
4.3.4	Grundwasserentnahmen und Wasserrechte	64
4.3.5	Hydraulische Kennwerte und Schichtenverzeichnisse	65
4.3.6	Klima	65
4.4	Kartographische Grundlagen	65
4.5	Bilddaten	65
4.6	Datenbestand	66
5	Erstellung des Datenmodells und Grundwasserinformationssystems	67
5.1	Beschreibung der nachzubildenden Verhältnisse	67
5.2	Anforderungen an das Modellsystem	68
5.3	Umstrukturierung der Datenbasis	71
5.4	Das Datenmodell	74
5.5	Das Grundwasserinformationssystem	83
6	Anwendung von GIS und Datenbank	85
6.1	Datenbankabfragen	85
6.1.1	Operationen für relationale Systeme	85
6.1.2	Abfragetypen	87
6.2	Structured Query Language (SQL)	90
6.2.1	Allgemein formulierte SQL-Statements zur Datenbankabfrage	90
6.2.2	Umsetzung der SQL-Anweisungen im Datenmodell auf ACCESS 97	93
6.2.3	Verbindung der Datenbank mit dem GIS ARCVIEW 3.0 mit SQL	94
6.3	Abgeleitete Informationen	95
6.4	Verknüpfungen mit Peripheriemodulen	95
6.4.1	Interpolationsroutinen	95
6.4.2	Mathematische Grundwassermodellssysteme	96
6.5	Nutzen und Einsatzmöglichkeiten	97
6.6	Ergebnisse und Diskussion	98
6.6.1	Vergleiche mit anderen Informations-, Datenbank- und Datenerfassungssystemen	98
6.6.2	Diskussion der Anwendung von Informations- und Datenbanksystemen	103

7	Grundwasserdynamik und Statistik	106
7.1	Zeitreihenanalyse und statistische Untersuchungen an 15 ausgewählten Meßstellen	107
7.1.1	Korrelationsanalyse und Ablaufplan	110
7.1.2	Trendanalyse	112
7.1.3	Periodizitätsanalyse	114
7.1.3.1	Ergebnisse und Diskussion	118
7.1.3.2	Modellgüte und Prognosen	120
7.1.4	Langjähriger mittlerer Jahresgang	121
7.1.5	Autokorrelationsanalyse	128
7.1.6	Kreuzkorrelationsanalyse zwischen verschiedenen Grundwasserganglinien	131
7.2	Beschreibung der Grundwasserganglinien mit Polynomen	132
7.3	Bestimmung der Grundwasserneubildung aus den Grundwasserganglinien	135
7.3.1	Ergebnisse	138
7.4	Einfache Abschätzung der Grundwasserbilanz	141
8	Isolinienkonstruktion und statistische Untersuchung von regionalisierten Variablen	144
8.1	Methodischer Ablaufplan und Parameterdeklaration	144
8.2	Visualisierung und Bewertung der Ergebnisse	148
9	Grundwasserbeschaffenheit	154
9.1	Natürliche Hintergrundbelastung	155
9.2	Physikalische Parameter	155
9.2.1	Temperatur	155
9.2.2	Elektrische Leitfähigkeit	156
9.2.3	pH-Wert	156
9.2.4	O ₂ -Gehalt	157
9.2.5	Redoxpotential	157
9.2.6	Spektraler Absorptionskoeffizient bei 436 nm (SAK 436)	157
9.2.7	Spektraler Absorptionskoeffizient bei 254 nm (SAK 254)	158
9.3	Kationen	161
9.4	Anionen	168
9.5	Beschreibung der Grundwässer	175
9.5.1	Klassifikation mit PIPER-Diagrammen	175
9.5.2	Deskriptive Statistik der hydrochemischen Daten	178
9.5.3	Ionenverhältnisse und -korrelationen	180
9.5.4	Datenerkundung mit Liniendiagrammen der formalen Begriffsanalyse	182
9.6	Schwermetalle	186
9.7	Organische Grundwasserinhaltsstoffe	189
9.7.1	Total Organic Carbon (TOC)	189
9.7.2	Organohalogenverbindungen (CKWs)	190
9.7.3	Aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Xylol) und MTBE	191
9.7.4	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs)	192
9.8	Tritium und Grundwasseralter	194
9.9	Ergebnisse und Diskussion zur Hydrochemie	196
10	Zusammenfassung und Ausblick	198

Literaturverzeichnis	201
Abbildungsverzeichnis	212
Tabellenverzeichnis	216
Abkürzungen und Symbole	217

Anlagen:

- F Lagepläne und thematische Karten (GIS-Anwendung)

- G 1 Ganglinien
- G 2 Aufzeichnungen der Datenlogger (stündliches Intervall)

- H 1 Parameterliste
- H 2 Isolinien: Hydrochemie, lokale Basis des Grundwasserleiters (GWL 1, 2 u. 3)
- H 3 Flurabstand
- H 4 Residuen (Abb. 3.13, 8.2 u. 8.3)

- I 1 Übersicht der chemischen Datenbasis
- I 2 Räumliche Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit
- I 3 Temperaturprofile der Notbrunnen
- I 4 Grundwasserganglinien der Notbrunnen

- J 1 Stammdaten der Meßorte
- J 2 Stammdaten der Aufschlüsse (Auswahl)

0 Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand am Geologisch - Paläontologischen Institut der Technischen Universität Darmstadt.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. G. Ehardt für die Vergabe und Betreuung dieser interessanten Arbeit, für sein aufgeschlossenes Engagement, für zahlreiche Diskussionen im Rahmen der Treffen der Arbeitsgruppe "Hydrogeologie" sowie Korrekturhilfen und für die Beschaffung von EDV-Sachmitteln.

Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Zipfel gilt hier mein Dank für die Fachgespräche und wertvollen Hinweise in bezug auf angewandte Fragestellungen zur Grundwasserhydraulik. Herrn Dr.-Ing. C. Schöpfer danke ich für Gespräche und fachbezogene Diskussionen zur Grundwassermodellierung. Den Mitarbeitern der Technologieberatung Grundwasser und Umwelt (TGU) möchte ich für wichtige Hinweise und Anregungen zur Anwendung von Geographischen Informationssystemen, Datenbanken und der Grundwassermodellierung danken.

Das Forschungsvorhaben wurde durch ein Graduiertenstipendium des Landes Hessen gefördert. Für diese Unterstützung möchte ich mich herzlich bedanken.

Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe "Hydrogeologie" unter Leitung von Herrn Prof. Dr. G. Ehardt - Dr. T. Schiedek, Dr. P. Vrbka, Dr. B. Leßmann, Dr. T. Müller, Dr. B. Eccarius, Dipl.-Geol. J. Richter, Dipl.-Geol. A. Helbling und Dipl.-Geol. U. Steinbauer - gilt mein besonderer Dank für die Diskussionen zu diesem Thema in fachlicher Runde. Herr Dipl.-Geol. M. Heckwolf stellte mir hydrochemische Daten aus seiner Diplomarbeit zur Verfügung und Frau Dipl.-Geol. N. Justen modellierte ein Teilgebiet im Norden Darmstadts mit einem mathematischen Strömungsmodell. Frau Dr. A. Götz möchte ich für ihre Informationen zur Geologie Darmstadts danken, Frau P. Kraft vom Geologisch - Paläontologischen Institut danke ich für die Hilfe bei Literaturrecherchen und Herrn R. Branolte für die Hilfe bei den chemischen Analysen und den technischen Rat zur Bedienung der Gelände- und Laborgeräte. Herrn Dipl.-Geol. D. Wellhausen, Herrn J. Strassenburg, Frau S. Belzer und Herrn S. Schadt danke ich für Fachgespräche, Hinweise und Informationen.

Für die Bereitstellung von Daten und Informationen danke ich den Mitarbeitern folgender Ämter, Behörden und Institutionen:

- Vom Stadtvermessungsamt erhielt ich Daten zu den Grundwasserständen, Stammdaten der Grundwassermeßstellen und digitale Kartendaten zum Stadtgebiet sowie Informationen über das GIS der Stadt Darmstadt.
- Das ehem. Wasserwirtschaftsamt (heute Regierungspräsidium Darmstadt) stellte Gutachten und Informationsmaterial zu Grundwasser- und Bodenverunreinigungen, Altlasten, Altablagerungen zur Verfügung.
- Im RP Darmstadt konnte das Wasserbuch mit Entnahmedaten eingesehen werden.
- Das städtische Tiefbauamt stellte Gutachten (Baugrund und Kanalisation), Bohrungen und weitere hydrogeologischen Daten sowie Kartenmaterial zur Verfügung. Hierbei danke ich insbesondere Herrn Dr. Metzler.
- Dem städtischen Umweltamt unter Leitung von Herrn Dr. Höllwarth schulde ich Dank für die Erlaubnis zur Probennahme im Stadtgebiet sowie für Diskussionen und Informationen.
- Dem Hochbau- und Maschinenamt der Stadt Darmstadt danke ich für die Erlaubnis Datenmaterial der Stadt zu verwenden.

- Der Südhessischen Gas und Wasser AG gilt mein Dank für die Bereitstellung von Informationen zu den Darmstädter Notversorgungsbrunnen, Informationen zur Grundwasserchemie der Notbrunnen und für die Möglichkeit, an den vierteljährlich durchgeführten Pumpversuchen teilzunehmen. Hierbei danke ich Herrn Dr. H. Mikat für Diskussionen und Anregungen.
- Die Mitarbeiter des Umweltforschungszentrums Leipzig-Halle (UFZ) nahmen die Bestimmungen der Tritiumkonzentrationen in den Grundwasserproben vor.
- Die Analysen der org. Parameter erfolgte am Geologischen Institut der Universität Tübingen.
- Dem ehem. Hessischen Landesamt für Bodenforschung (heute Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) in Wiesbaden danke ich für Archivmaterial (Bohrdaten).

Für die Bereitstellung von Daten und Informationen danke ich des weiteren folgenden Unternehmen:

- Dem Ingenieurbüro für Geotechnik Dipl.-Ing. N. Gündling in Darmstadt danke ich für Informationen zu den Baugrundverhältnissen, Diskussionen zur Problematik von Vernässungsschäden sowie für die Überlassung eines Bohrgerätes.
- Das Ingenieurbüro Dipl.-Ing. M. Wacker in Darmstadt half bei der Datenaufbereitung und realisierte die Softwarelösung für die Stadt (Umweltamt). Ich danke hierbei Herrn Dipl.-Ing. M. Wacker für Informationen und Diskussionen zum Thema Geoinformationssysteme, Umwelt-Datenbanken und Umweltinformatik.
- Das Unternehmen Terra Consult - Beratende Ingenieure für Geo- und Umwelttechnik in Darmstadt stellte mir Daten zur Hydrogeologie im Bereich der Weststadt zur Verfügung. Herrn Dipl.-Ing. F. Fels danke ich für die umfassenden fachbezogenen Diskussionen im Bereich des Wechselspiels zwischen Geotechnik und Hydrogeologie.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern für ihre Unterstützung und insbesondere meiner Mutter für das Korrekturlesen. Abschließend danke ich meiner Partnerin Frau Dipl.-Geol. K. Schäfer für Korrekturhilfen und fachliche Ratschläge sowie insbesondere für den moralischen Beistand während der vergangenen Jahre.

Vielen Dank !

Griesheim, im Juni 2000

Götz Greifenhagen