



C. Meyer de Stadelhofen

Anwendung geophysikalischer Methoden in der Hydrogeologie

Übersetzung durch:
Dr. Christian Bückler · Stefan Wendt

Mit 213 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona
Budapest

Prof. Camille Meyer de Stadelhofen
Institut de Géophysique
Université de Lausanne
BFSH2
1015 Lausanne
Schweiz

Titel der französischen Ausgabe: C. Meyer de Stadelhofen,
Applications de la géophysique aux recherches d'eau,
© Technique et Documentation – Lavoisier, 1991

ISBN-13: 978-3-642-77866-7 e-ISBN-13: 978-3-642-77865-0
DOI: 10.1007/ 978-3-642-77865-0

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1994

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Herstellung: Renate Münzenmayer
30/3130-5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort

Zur Aufgabe des Hydrogeologen gehört es, unterirdische Wasserreservoir und deren Charakteristika zu erforschen, um sie wirtschaftlich nutzen zu können und um sie gegen eventuelle Verschmutzungen zu schützen. Insbesondere muß er sowohl Porosität, Permeabilität, Sättigungsgrad als auch die räumliche Ausdehnung des Aquifers bestimmen.

Um sein Ziel zu erreichen, greift der Hydrogeologe heutzutage systematisch auf verschiedene geologische Methoden zurück. Dies ist nicht erstaunlich, da die Ergebnisse dieser verschiedenen Methoden direkt durch die hydrologischen Eigenschaften der unterirdischen Aquifere bestimmt werden. Zum Beispiel:

Die Methode der *elektrischen Widerstandsmessung* und die *elektromagnetischen Methoden* können angewendet werden, um von der Oberfläche aus die elektrische Leitfähigkeit des Untergrundes zu messen. Die Leitfähigkeit variiert nämlich mit der Porosität des Gesteins, seinem Wassersättigungsgrad und der Salinität des Wassers.

Die *Gravimetrie* ermöglicht es, die laterale Dichteverteilung von tiefgelegenen Gesteinen abzuschätzen: diese verschiedenen Dichten hängen zu einem bedeutenden Teil von der Porosität des Gesteins ab.

Die *Refraktionsseismik* liefert ein Bild über die Verteilung der unterschiedlichen Geschwindigkeiten der elastischen Wellen im Untergrund. Diese Geschwindigkeiten hängen insbesondere ab von der Porosität, der Zerklüftung und dem Sättigungsgrad des Gesteins.

Die *Geomagnetik* ist nicht direkt mit den hydrogeologischen Eigenschaften des Gesteins gekoppelt; sie spielt eine zweitrangige Rolle bei der Suche nach Wasser und hilft manchmal, günstige Strukturen zu lokalisieren.

Die *Bohrlochmessungen* werden in der Endphase der Untersuchungen eingesetzt. Die durch Bohrungen ermittelten Meßwerte ermöglichen eine detaillierte Untersuchung der Verteilung von porösen und undurchlässigen Schichten im Untergrund und bestimmter chemischer Eigenschaften des in der Tiefe gefundenen Wassers.

Inhaltsverzeichnis

1	Geoelektrik	1
1.1	Einführung	1
1.2	Charakteristische elektrische Leitfähigkeiten einiger geologischer Formationen	1
1.3	Eindringen des Stromes in den Untergrund	3
1.4	Messung der von Heterogenitäten im Untergrund erzeugten Störungen an der Oberfläche	5
1.5	Prinzipielle Meßanordnungen	7
1.6	Die Kartierung	7
1.7	Die elektrische Sondierung	11
1.8	Interpretation der elektrischen Sondierungen	12
1.8.1	Sondierungen beim Zweischichtfall	12
1.8.2	Elektrische Sondierungen bei n Schichten	16
1.9	Prinzipielle Fehlerquellen bei der Interpretation elektrischer Sondierungen	35
1.10	Zusätzliche elektrische Sondierungen und parametrische Sondierungen	39
1.11	Die Durchführung der Messungen	41
1.11.1	Die Verwendung des Kartierungsverfahrens	41
1.11.2	Die Verwendung der elektrischen Sondierung	44
1.12	Anwendungsbeispiele	47
1.12.1	Reservoire mit intergranularer Porosität	48
1.12.2	Reservoire mit klufartiger Porosität	53
1.12.3	Karstreservoire	61
1.13	Die Mise-à-la-Masse-Methode	62
2	Elektromagnetische Methoden	63
2.1	Einführung	63
2.2	Charakteristischer spezifischer Widerstand unterirdischer Formationen	66
2.3	Eindringen des Primärfeldes H_p in den Erdboden	67
2.4	Das Sekundärfeld H_s an der Erdoberfläche	68
2.5	Die bedeutendsten elektromagnetischen Anordnungen für die Wassersuche	70

VIII

2.5.1	Grundtypen von Sendern	71
2.6	Verschiedene Empfänger-Meßanordnungen	73
2.7	Die Hauptklassen elektromagnetischer Messungen: Sondierungen und Profile	77
2.7.1	Elektromagnetische Sondierungen	77
2.7.2	Elektromagnetische Profile: Charakterisierung und Erstellung	85
2.8	Anwendungsbeispiele	96
2.8.1	Reservoire mit intergranularer Porosität	97
2.8.2	Reservoire mit kluftartiger Porosität	101
2.8.3	Karstreservoire	104
2.9	Die Mise-à-la-Masse-Methode im Bereich von Klüften und karstartigen Aquiferen	105
3	Gravimetrie	109
3.1	Einführung	109
3.2	Grundlagen	109
3.3	Nichtgeologische Ursachen für Variationen von g	110
3.4	Geologische Ursachen für Variationen von g	114
3.4.1	Modell und Realität	114
3.4.2	Die Dichte der Gesteine	116
3.5	Durchführung und Korrektur der Messungen	118
3.5.1	Die Vorbereitungsphase	118
3.5.2	Die Durchführung der Messungen	125
3.5.3	Korrektur und Filterung der Meßergebnisse	130
3.6	Interpretation der Ergebnisse	136
3.7	Die vereinfachte gravimetrische Prospektion geringmächtiger Aquifere	139
3.8	Anwendungsbeispiele	140
4	Anwendung seismischer Methoden in der Hydrogeologie	145
4.1	Einführung	145
4.2	Allgemeine Anmerkungen	146
4.2.1	Ausbreitungsgeschwindigkeiten der seismischen Wellen in verschiedenen Gesteinen	147
4.2.2	Reflexionen und Refraktionen	150
4.3	Die Messungen	155
4.3.1	Die Vorbereitung einer refraktionsseismischen Untersuchung	155
4.3.2	Die Durchführung der Messungen	158
4.3.3	Die Auswertung und Korrektur der Messungen	160
4.4	Interpretation der Ergebnisse	161
4.4.1	Eine einzige Grenzschicht parallel zur Erdoberfläche mit $V_1 < V_2$	161
4.4.2	Mehrere Grenzflächen parallel zur Erdoberfläche mit $V_1 < V_2 < V_3 \dots$	164

4.4.3	Eine oder mehrere geneigte Grenzschichten	166
4.4.4	Mehrere Schichten: Sonderfälle	170
4.5	Anwendung der Refraktionsseismik bei der Untersuchung lateraler Variationen innerhalb von Aquiferen	173
4.5.1	Schematische Beispiele für laterale Variationen, die in der Hydrogeologie von großer Bedeutung sind	174
4.6	Die Reflexionsseismik in der Hydrogeologie	176
5	Magnetik	179
5.1	Einführung	179
5.2	Magnetische Eigenschaften der Gesteine	182
5.3	Deformation des Feldes um einen Störkörper	183
5.4	Durchführung, Korrektur und Filterung der Messungen	189
5.4.1	Vorbereitung	189
5.4.2	Durchführung der Messungen	191
5.4.3	Korrektur und Filterung der Meßergebnisse	193
5.5	Interpretation	194
5.6	Anwendungsbeispiele	199
6	Bohrlochmessungen in der Hydrogeologie	203
6.1	Einführung	203
6.2	Anwendung der klassischen Bohrlochmessungen in der Hydrogeologie	204
6.3	Vereinfachte Bohrlochmessungen in der hydrogeologischen Forschung	206
6.4	Erforderliche Meßgeräte	206
6.5	Arten möglicher Messungen	206
6.5.1	Die Eigenpotentialmethode	207
6.5.2	Die Monoelektroden-sonde	209
6.5.3	Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Spülung	212
6.5.4	Potential- und Lateralsonden	214
6.6	Schlußfolgerungen	220
	Literatur	223
	Sachverzeichnis	227