

Vorwort

Die Erschließung von Grundwasser aus Festgesteinen zählt in Baden-Württemberg zu einer außerordentlich wichtigen Aufgabe, da auf 83 % der Landesfläche Festgesteine anstehen. Aufgrund der geologischen Situation treten auf engstem Raum die unterschiedlichsten Festgesteinsgrundwasserleiter auf.

Bei der Erschließung und dem Schutz der Grundwasservorkommen werden daher besondere Anforderungen an die hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Bearbeitung gestellt. Daraus resultiert eine große Vielfalt von Erkundungs- und Untersuchungsverfahren, die den Bereichen der Geowissenschaften und der Ingenieurwissenschaften gleichermaßen angehören.

Wirtschafts- und Umweltministerium beauftragten daher einen Arbeitskreis von Fachleuten unter maßgeblicher Beteiligung des Geologischen Landesamts, um die bewährten Untersuchungs- und Auswertungsverfahren in Festgesteinsaquiferen für die Praxis zusammenfassend darzustellen. Anhand von Beispielen aus Baden-Württemberg werden diese Verfahren erläutert, wobei auf eine ausführliche Diskussion des theoretischen Hintergrundes weitgehend verzichtet wurde. Der ressortübergreifende Arbeitskreis legt nun die Ergebnisse in dieser Schrift vor. Sie wendet sich in erster Linie an die staatlichen und kommunalen Fachbehörden und Dienststellen, an Fachbüros sowie an geowissenschaftliche und wasserwirtschaftliche Sachverständige.

Mein Dank gilt allen, die am Entstehen dieses Berichts mitgewirkt haben, sowie dem Wirtschafts- und dem Umweltministerium, durch deren finanzielle Unterstützung dieses Vorhaben realisiert werden konnte.

A handwritten signature in blue ink that reads 'Horst Schneider'.

Prof. Dr. Horst Schneider
Präsident des Geologischen Landesamts
Baden-Württemberg

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	7
1 Festgesteinsgrundwasserleiter in Baden-Württemberg	9
2 Wasserwegsamkeit und Grundwasserbewegung im Festgestein	13
2.1 Geologische Grundlagen	13
2.1.1 Klüftung	13
2.1.2 Verkarstung	14
2.1.3 Störungszonen	14
2.2 Geohydraulische Grundlagen	14
2.2.1 Grundannahmen	14
2.2.2 Grundgleichungen	16
2.2.3 Geohydraulische Parameter	17
3 Untersuchungsmethoden	22
3.1 Allgemeines	22
3.2 Bestandsaufnahme	22
3.3 Felduntersuchungen	22
3.3.1 Kartierungen	22
3.3.2 Erhebung hydrologischer und meteorologischer Daten	23
3.3.3 Spezialuntersuchungen im Gelände	23
3.4 Untersuchungen im Bohrloch oder Brunnen	25
3.4.1 Hydraulische Verfahren	25
3.4.2 Geophysikalische Verfahren	25
3.5 Chemische und isopenphysikalische Wasseruntersuchungen	27
3.6 Erstellung von Grundwassermodellen	27
4 Grundwasserneubildung	29
4.1 Allgemeines	29
4.2 Ermittlung der Grundwasserneubildung aus der Wasserhaushaltsbilanz	29
4.3 Auswertung von Quellschüttungen	29
4.4 Ermittlung des unterirdischen Abflusses an Quellen und Vorflutern	31
4.4.1 Allgemeines	31
4.4.2 Ermittlung und Auswertung der Trockenwetterfalllinie (TWL)	32
4.4.3 Auswertung von Niedrigwasserabflüssen	36
5 Grundwassermarkierungsversuche	37
5.1 Allgemeines	37
5.2 Planung und Durchführung von Markierungsversuchen	37
5.3 Analytische Lösungen für den Tracertransport	38
5.3.1 Physikalische Grundlagen	38
5.3.2 Differentialgleichungen des Massentransports	38
5.3.3 Lösungen der Differentialgleichungen	39
5.3.4 Sorption und Zerfall eines Tracers	39
5.4 Auswertung der Durchgangskurven	40
5.4.1 Vergleich der Fließgeschwindigkeiten	40
5.4.2 Anwendung der Summenkurve	40
5.4.3 Auswertung mit Typkurven	41
5.5 Vergleich von Labor- und Feldwerten	45

6	Pumpversuche	46
6.1	Definition und Betriebsplan	46
6.2	Planung und Durchführung von Pumpversuchen	46
6.3	Besonderheiten bei Pumpversuchen im Festgestein	47
6.4	Auswertung des Brunnentests	48
6.5	Auswerteverfahren für Aquifertests	50
6.5.1	Allgemeines	50
6.5.1.1	Identifikation des Aquifermodells	52
6.5.1.2	Parameterermittlung	52
6.5.2	Auswerteverfahren nach THEIS (1935) und JACOB (1946)	54
6.5.3	Einfluß hydraulisch wirksamer Ränder	56
6.5.4	Brunnenspezifische Einflüsse	56
6.5.5	Aquiferspezifische Einflüsse auf den Absenkungs- und Wiederanstiegsverlauf	61
6.5.5.1	Allgemeines	61
6.5.5.2	Statistisch zufällig und gleichmäßig verteilte Klüfte	61
6.5.5.3	Leit- und Speicherschichten	61
6.5.5.4	Zwei-Porositäts-Systeme	66
6.5.5.5	Endlich dimensionierte Klüfte	71
7	Weitere hydraulische Untersuchungsverfahren	76
7.1	Allgemeines	76
7.2	Wasserdurchlässigkeitstests	76
7.3	Schöpf- und Auffüllversuche (Slug-Tests)	77
7.4	Einschwing- und Gezeitenverfahren	77
7.5	Zyklische Pumpversuche	79
7.6	Abschätzung von Parametern	82
7.7	Stimulation von Bohrungen	82
7.7.1	Schocken	82
7.7.2	Fracen	82
7.7.3	Bohrlochsäuerung	83
7.7.4	Erfahrungen	84
8	Beurteilung von Dauerergiebigkeiten	85
8.1	Allgemeine Hinweise	85
8.2	Untersuchungen	87
8.2.1	Technische Ergiebigkeit des Brunnens	87
8.2.2	Regionale Ergiebigkeit des genutzten Aquifers	87
8.2.3	Regionale Wasserhaushaltsdaten	87
8.2.4	Verknüpfung von Aquifer- und Wasserhaushaltsdaten	88
8.2.5	Berücksichtigung einschränkender Randbedingungen	88
9	Hinweise zu thermalem, mineralisiertem und gasführendem Grundwasser	89
9.1	Allgemeines	89
9.2	Physikalische Eigenschaften	89
9.2.1	Wasser	89
9.2.2	Gestein	91
9.3	Grundlagen der Wärmeleitung	92
9.4	Konsequenzen für Ergiebigkeitsuntersuchungen in tiefen Aquiferen	92
9.4.1	Hydraulische Parameter	92
9.4.2	Auswirkungen auf die Durchführung von Pumpversuchen	93
10	Bohrverfahren und Brunnenbau	97
10.1	Bohrverfahren	97
10.1.1	Schlagbohrverfahren	97
10.1.2	Drehschlagbohrverfahren	98
10.1.3	Drehbohrverfahren	98

10.2	Spülverfahren beim Drehbohren	99
10.2.1	Direktes Spülbohrverfahren (Druckspülbohren, Rechtsspülen, Rotarybohren)	99
10.2.2	Indirektes Spülbohrverfahren (inverse Spülung, Umkehrspülung, Linksspülung)	99
10.3	Aufgaben der Bohrspülung	100
10.4	Brunnenbohrung	101
11	Rechtliche Grundlagen	103
11.1	Allgemeines	103
11.2	Bohrungen	103
11.3	Bohrspülungen und Spülungszusätze	104
11.4	Pumpversuche	104
11.5	Markierungsversuche	104
12	Formelsammlung	105
13	Literatur	108
14	Stichwortverzeichnis	113

Einleitung

Die zunehmende Nutzung der Grundwasservorkommen erfordert genauere Kenntnis über die Grundwasserleiter. Dies war der Anlaß, im Jahre 1976 das Arbeitsblatt 'Pumpversuche in Porengrundwasserleitern' herauszugeben. Dem Lockergesteinsbereich sind nur rd. 17 % der Landesfläche von Baden-Württemberg zuzuordnen. Der restliche Teil des Landes, in dem rd. 70 % der Bevölkerung wohnen, zählt hydrogeologisch zum Festgesteinsbereich.

Die Erschließung von Grundwasser im Festgestein ist ungleich schwieriger und aufwendiger als im Lockergestein. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, auch für diesen Bereich aus dem verfügbaren Unterlagen eine Arbeitsgrundlage zu schaffen, die dem Anwender helfen soll, die Ergiebigkeit eines Grundwasservorkommens im Festgestein zu untersuchen und zu beurteilen.

Ursprünglich war die vorliegende Zusammenstellung hydrogeologischer Methoden und Beispiele als Arbeitsblatt konzipiert, das von Angehörigen des Geologischen Landesamts und der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Baden-Württemberg bearbeitet wurde.

Mitglieder und Mitarbeiter dieser Arbeitsgruppe waren: E. BEUTINGER (Baudirektor, Regierungspräsidium Stuttgart), R. KREMSLER (Oberbaurat, Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz (WBA) Heilbronn, früher LfU), Dr. W. LILLICH (Regierungsdirektor, Umweltministerium Stuttgart, früher LfU), C. MEZ (Baudirektor a. D., Regierungspräsidium Freiburg i. Br.), A. NUSSBAUM (Baudirektor, WBA Ulm, Außenstelle Riedlingen), E.

PEZINA (Baudirektor, Regierungspräsidium Tübingen), Dr. W. SCHLOZ (Geologiedirektor, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg), R. SCHMIDT (Baudirektor, WBA Ellwangen), K. SPRAUER (Ltd. Baudirektor, WBA Waldshut), Dr. I. STÖBER (Geologierätin, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg), Dr. G. STRAYLE (Abteilungsleiter, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg), Dr. O. WENDT (Ltd. Geologiedirektor, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).

Umfang und Inhalt dieser Publikation sind maßgeblich bestimmt durch die langjährigen Tätigkeiten im Geologischen Landesamt. Dementsprechend entstammen – von wenigen Ausnahmen abgesehen – alle angeführten Beispiele aus dessen Archiv oder aus Veröffentlichungen von Mitarbeitern des Amtes.

Das umfangreiche Spektrum hydrogeologischer Methoden, das mit zahlreichen Anwendungsbeispielen dargelegt wird, die ausschließlich aus hydrogeologischen Projekten innerhalb des Landesgebietes stammen, sprengt den Rahmen üblicher Arbeitsblätter. Andererseits sollte sich eine wissenschaftliche Publikation nicht allein auf die Darstellung von Methoden und deren Anwendung beschränken.

Nachdem eine wesentliche Texterweiterung vorgenommen worden war und da eine fachlich interessierte Öffentlichkeit erreicht werden soll, bot sich die Schriftenreihe "Informationen" des GLA an, mit dem Ziel, die Zusammenarbeit über die Ressortgrenzen hinaus zu unterstreichen.

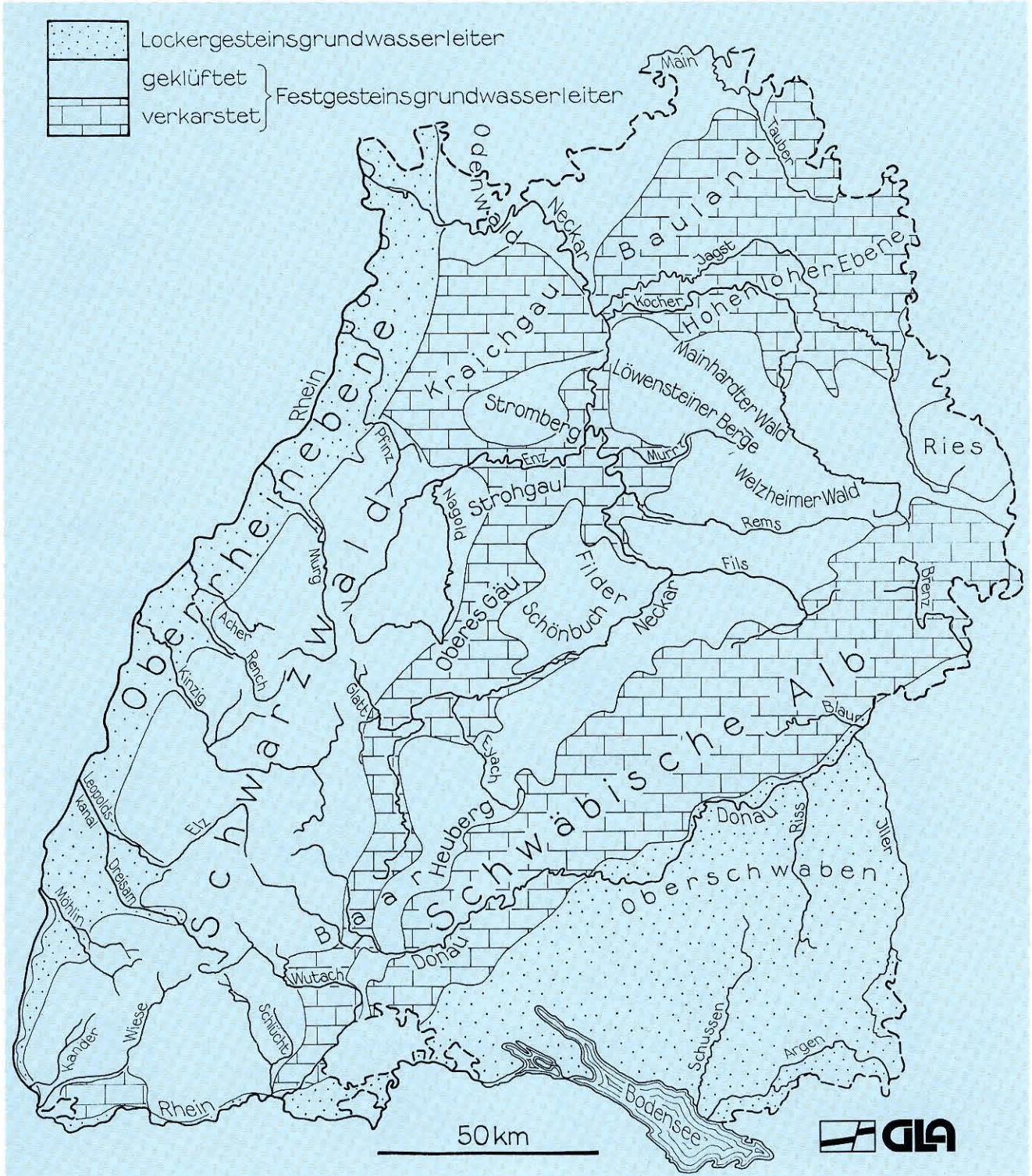


Abb. 1: Vereinfachte hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg