

Schlüsselwörter

Salzburg
Hydrogeologie
Hydrologie
Porengrundwasser
Grundwassererkundung
Grundwassererschließung
Grundwasserschutzgebiet
Grundwassermodell

Hydrogeologische und hydrologische Methoden bei der Erkundung und Erschließung von Porengrundwasser am Beispiel der Wasserversorgungsanlage Unken (Salzburg)

MANFRED NAGL*)

9 Abbildungen, 1 Tabelle

Inhalt

| | |
|---|----|
| Zusammenfassung | 65 |
| Abstract | 65 |
| 1. Einleitung | 66 |
| 2. Hydrogeologische und hydrologische Methoden bei der Erkundung von Porengrundwasser | 66 |
| 3.1. Standortauswahl | 67 |
| 3.2. Geologischer Aufbau | 67 |
| 3.3. Grundwasserströmung, Kontakt mit Oberflächengewässer | 67 |
| 3.4. Aquifer- und Grundwasserkennwerte | 68 |
| 3.5. Wasserbeschaffenheit | 70 |
| 3.6. Grundwassermodell | 70 |
| 3.7. Grundwasserschutz | 72 |
| Literatur | 73 |

Zusammenfassung

Am Beispiel der Erkundung und Erschließung einer Grundwassermenge von 15 l/s in der Mörtelau an der Saalach für die Trinkwasserversorgung der Gemeinde Unken im Bundesland Salzburg wird gezeigt, welche hydrologischen und hydrogeologischen Methoden heute zur Verfügung stehen und bei der Bearbeitung derartiger Problemstellungen rationell einsetzbar sind.

Nach genereller Festlegung des Erschließungsgebietes entsprechend den vorgegebenen Randbedingungen (gewünschte Wassermenge, Trinkwasserqualität, ausreichender Grundwasserschutz, Nähe zum Versorgungsgebiet) auf Grundlage allgemeiner geologischer Bearbeitung wurde zur Erkundung des geologischen Aufbaues eine 25 m tiefe Rotationskernbohrung abgeteuft und zu einem Versuchsbrunnen ausgebaut. Die Bohrung zeigte einen rund 14 m mächtigen Aquifer aus gut wasserwegigen Kies-Sand-Gemischen, welche Schluff-Feinsande sowie eine Grundmoräne überlagerten. Das Grundwasserfeld wird seitlich durch anstehende Neokom-Mergel begrenzt und maßgeblich durch Alimentation aus der Saalach gespeist.

Die Bedeutung der maßgeblichen Aquiferkennwerte Transmissivität und Durchlässigkeitsbeiwert und die Variationsbreite der Ergebnisse je nach angewandten Verfahren werden diskutiert. Für die Grundwassererschließung Unken wurden diese Werte aus einem Markierungsversuch, kombiniert mit einem Pumpversuch, ermittelt, da dies den tatsächlichen naturräumlichen Verhältnissen am nächsten kommt.

Die Erstellung eines numerischen Grundwassermodells und die damit durchgeführten grundwasserhydraulischen Berechnungen ermöglichen eine genaue Ermittlung der Grundwasserströmungsverhältnisse, -einzugsgrenzen und -absenkungen für unterschiedliche Entnahmemengen. Das Modell wurde nach jedem Schritt hydrogeologisch auf die Plausibilität der Rechenergebnisse geprüft.

Auf Basis der Ergebnisse der Modellrechnungen konnten die von der Wasserrechtsbehörde vorgeschriebenen Schutz- und Schongebiete exakt dimensioniert werden. Bei dieser Vorgangsweise können Wirtschaftsbeschränkungen in den Schutzzonen genauer und besser begründet vorgeschlagen werden. Allgemeine Hinweise auf die günstigen Anwendungsbereiche und Grenzen der verwendeten Methoden sowie deren Erfolg lassen diese Erkundung und Erschließung als exemplarisch für Porengrundwasser in quartären Lockerablagerungen alpiner Flußtäler erscheinen.

Hydrogeological and Hydrological Methods in Exploration and Development of Ground Water for the Drinking Water Supply of Unken (Salzburg)

Abstract

The exploration and development of ground water with a quantity of 15 l/s for the drinking water supply of the village of Unken in the Bundesland Salzburg (location: Mörtelau at the river Saalach) is used as example to show which hydrological and hydrogeological methods there are and which are rationally applicable to solve of these problems.

First, the development area was established according to the given conditions, such as requested water quantity, drinking water quality, sufficient ground water protection and distance to the area of supply. Finally a rotation core drill of 25 m depth was executed and then

*) Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. MANFRED NAGL, Hydrologische Untersuchungsstelle Salzburg, Lindhofstraße 5, A-5020 Salzburg.

extended to a testing well, the drill being used for the exploration of the geological structure. The drilling showed an aquifer of approximately 14 m, consisting of water-permeable mixtures of pebble and sand which overlay coarse clay as well as a base moraine. The ground water area is enclosed by Neokom marl and fed mainly by alimентация from the Saalach river. The importance of the decisive parameters of the aquifer, such as transmissivity and permeability coefficient and the amount of variation of the results according to different methods are discussed. In the ground water development for Unken these values were gained by a tracer experiment combined with a pumping experiment, as this is most suitable to describe the actual natural relations.

The exact determination of the ground water flow conditions, its capture zone and lowerings for different extraction quantities was made possible by using a numerical ground water model and ground water hydraulic calculations. The model was tested after every step in relation to the plausibility of the calculation results.

On the basis of the results of these model calculations the protection areas as prescribed by the government office could be defined exactly and therefore the restrictions in those territories could be suggested more accurately and with good reasons. General references to a wide range of application and the limitations of the methods used as well as their success make this exploration and development seem a good example for ground water in porous quarternary deposits in alpine river valleys.

1. Einleitung

Die Anknüpfungspunkte zwischen Hydrogeologie und Wasserwirtschaft sind naturgemäß sehr vielfältig und betreffen alle jene Bereiche, in denen das Wasser im Wasserkreislauf mit dem Boden/Untergrund in Kontakt kommt. Von zunehmender Bedeutung ist dabei der Schutz der für die Trinkwasserversorgung genutzten bzw. zu sichernden Wasserressourcen. Dies betrifft im einzelnen den Bereich der Erkundung und Erschließung von Grund- und Quellwasser, den Schadstoffeintrag und -transport und letztlich den präventiven Schutz von Wasserreserven (Trinkwasserschutzgebiete). Die Hydrogeologie ist damit im Vorfeld bzw. in Begleitung zahlreicher wasserwirtschaftlicher Planungen tätig.

Zur Definition der Hydrogeologie (ZETINIGG, 1996, dieser Band) wird auf die ÖNORM B 2400 verwiesen, in welcher eine Differenzierung zwischen Hydrogeologie und Geohydrologie mit dem jeweiligen Betrachtungsschwerpunkt des Bodens bzw. des Wassers vorgenommen wurde. Dem allgemeinen Sprachgebrauch folgend wird im weiteren jedoch der Begriff Hydrogeologie für den Gesamtbereich verwendet. Es ist jedoch anzumerken, daß das Ziel der Betrachtungen letztlich das Wasser ist. Maßgeblich ist auch hier eine Gesamtschau des Problembereiches, welche in der Regel in Zusammenarbeit einzelner Fachdisziplinen zu behandeln sein wird.

Im folgenden soll die praktische Vorgangsweise bei der Erkundung und Erschließung von Porengrundwasser exemplarisch am Beispiel der Wasserversorgungsanlage der Gemeinde Unken im Bundesland Salzburg dargestellt werden,

wobei der Schwerpunkt der Ausführungen im Bereich der (Geo-)Hydrologie liegt. Das konkrete Beispiel betrifft die Erschließung einer Grundwassermenge von 15 l/s, im einzelnen die Feststellung des geologischen Aufbaus, der gewinnbaren Grundwassermenge, der Grundwasserströmungsverhältnisse sowie die darauf abgestimmte Dimensionierung von Schutzgebieten und Schongebieten.

2. Hydrogeologische und hydrologische Methoden bei der Erkundung von Porengrundwasser

In diesem Abschnitt werden grundlegende Methoden, welche in der Praxis am häufigsten angewendet werden und für gegenständliche Fragestellung am bedeutendsten erscheinen, überblicksmäßig in tabellarischer Form (Tab. 1) dargelegt.

Vorhandene Unterlagen (geologische Karten, allgemeine und spezielle geologische Literatur, bereits durchgeführte Arbeiten im Untersuchungsgebiet, Unterlagen aus dem Baugrunderkundungskataster) bieten einen ersten Überblick über Untersuchungsgebiet und allgemeine geologische Verhältnisse. Mit den Methoden der Geophysik (Seismik, Geoelektrik) ist eine flächenhafte Erkundung des Untergrundes möglich (Schichtgrenzen, Aquiferbereiche, Grundwasserstauer). Aufschlußbohrungen lassen punktuell den konkreten Untergrundaufbau erkennen.

Zur Bestimmung der Grundwasserströmungsverhältnisse sind Grundwasserspiegelmessungen in geeigneten Meßstellen und deren Auswertung in Form von Ganglinien und Isohypsenplänen erforderlich. Pumpversuche in zu provisorischen Brunnen ausgebauten Aufschlußbohrungen, häufig kombiniert mit Grundwassermarkierungsversuchen, ermöglichen eine Bestimmung der maßgeblichen Aquiferkennwerte, insbesondere Transmissivität und Durchlässigkeitsbeiwert.

Mit grundwasserhydraulischen Berechnungen können die Auswirkungen der geplanten Grundwasserentnahme (Absenkungsbereich), Einzugs Grenzen und Fließzeiten, welche insbesondere als Grundlage für die Schutzgebieten-

| | | |
|-----------------------|---|--|
| Unterlagen | Geologische Karten Literatur Baugrunderkundungskataster | → allgemeiner Überblick |
| Geologie | Bohrungen Geophysik | → geologischer Aufbau |
| Hydrographie | Isophypsenplan Ganglinie | → Grundwasserströmung Zusammenhang mit Oberflächengewässer |
| Pumpversuch | | → Aquiferkennwerte |
| Markierungsversuch | | → Aquiferkennwerte |
| Grundwasser-Hydraulik | | → Einzugs Grenzen, Schutzgebieten dimensionierung |
| Grundwasser-Modell | | → grundwasserhydraulische Berechnungen, Prognosen, Optimierungen |
| Wasseranalysen | | → Trinkwasserqualität, Geohydrochemie |

Tabelle 1. Übersicht maßgeblicher hydrogeologischer und hydrologischer Methoden.

und Schongebietsausweisung dienen, ermittelt werden. Die bestmögliche Methode dazu stellt die Anwendung eines numerischen Grundwassermodells dar (Strömungsmodell, meist auf Basis der Differenzen- oder Finite-Elemente-Methode).

Wasseranalysen zeigen die allgemeine chemisch-physikalische sowie bakteriologische Beschaffenheit des Grundwassers und damit die Eignung als Trinkwasser auf. Geochemische Auswertungen der Analysen geben wertvolle Hinweise auf die Herkunft des Wassers.

3. Praktische Vorgangsweise bei der Erkundung von Porengrundwasser

3.1. Standortauswahl

Eine generelle Standortauswahl für die gewünschte Grundwassererschließung wird aufgrund einer allgemeinen Vorerkundung auf Basis vorhandener geologischer und sonstiger Unterlagen (Ortsbegehungen, etc.) erfolgen. Dabei sind insbesondere zu berücksichtigen: gewünschte Wassermenge und -qualität, voraussichtliche Einzugsbereiche, Gefährdungspotential und Schutzziele, technische Gesichtspunkte (Versorgungsnetz, Hochbehälterstandorte, etc.). Die Standortauswahl wird in der Praxis sehr häufig durch Vorgaben des Auftraggebers (Grundbesitzverhältnisse, etc.) maßgeblich eingeschränkt.

Im Beispiel Unken wurde die Erschließung einer Grundwassermenge mit mindestens 15 l/s mit Trinkwasserqualität und ausreichender Schutzmöglichkeit des Einzugsgebietes in einer Lage möglichst nahe zum Versorgungsgebiet gefordert.

Aufgrund einer umfangreichen geologischen Bearbeitung, welche hier im Detail nicht näher behandelt wird, wurde der Grundwasserstandort Mörtelau im Bereich eines Auwaldes in einem Saalachnie, für welchen ein die Saalach begleitender Talgrundwasserstrom angenommen wurde, gewählt (Abb. 1).

3.2. Geologischer Aufbau

Nach genereller Festlegung des Standortes für die Grundwassererschließung wird in der Regel der Untergrund durch eine Aufschlußbohrung (ÖWAV, 1993) erkundet. Daraus ergeben sich Angaben über den potentiellen Aquifer, dessen Mächtigkeit und Zusammensetzung (Kornverteilung), den Grundwasserstauhorizont sowie

die Lage des Grundwasserspiegels. Eine flächenhafte Erkundung bzw. eine Optimierung des Bohrpunktes ist mit den Methoden der Geophysik zweckmäßig.

In Unken wurde eine ca. 25 m tiefe Rotationskernbohrung in einem als Standort günstig erscheinenden Bereich des Grundwasserfeldes abgeteufelt und zu einem Versuchsbrunnen ausgebaut (DN 150).

Wie aus der Abb. 2 ersichtlich ist, wurde ein rund 14 m mächtiger, gut durchlässiger Aquifer aus Kiesen und Sanden („Saalachschotter“) mit relativ gleichmäßigem Aufbau über die gesamte Profilmächtigkeit festgestellt, welche geringmächtige Schluff-Sande sowie eine den Grundwasserstauhorizont bildende Grundmoräne überlagern. Seitlich wird das Grundwasserfeld durch die anstehenden und sehr gering wasserwegigen Neokom-Mergel („Schrambachschichten“) begrenzt.

3.3. Grundwasserströmung, Kontakt mit Oberflächengewässer

Zur genaueren Erkundung des vermuteten Grundwasserfeldes bzw. generell der Grundwasserströmung wurden in Unken insgesamt 9 Grundwassersonden (Rammsonden) sowie insgesamt 4 Hilfspegel an der Saalach errichtet. Die Grundwasserstände sowie Saalachwasserstände wurden

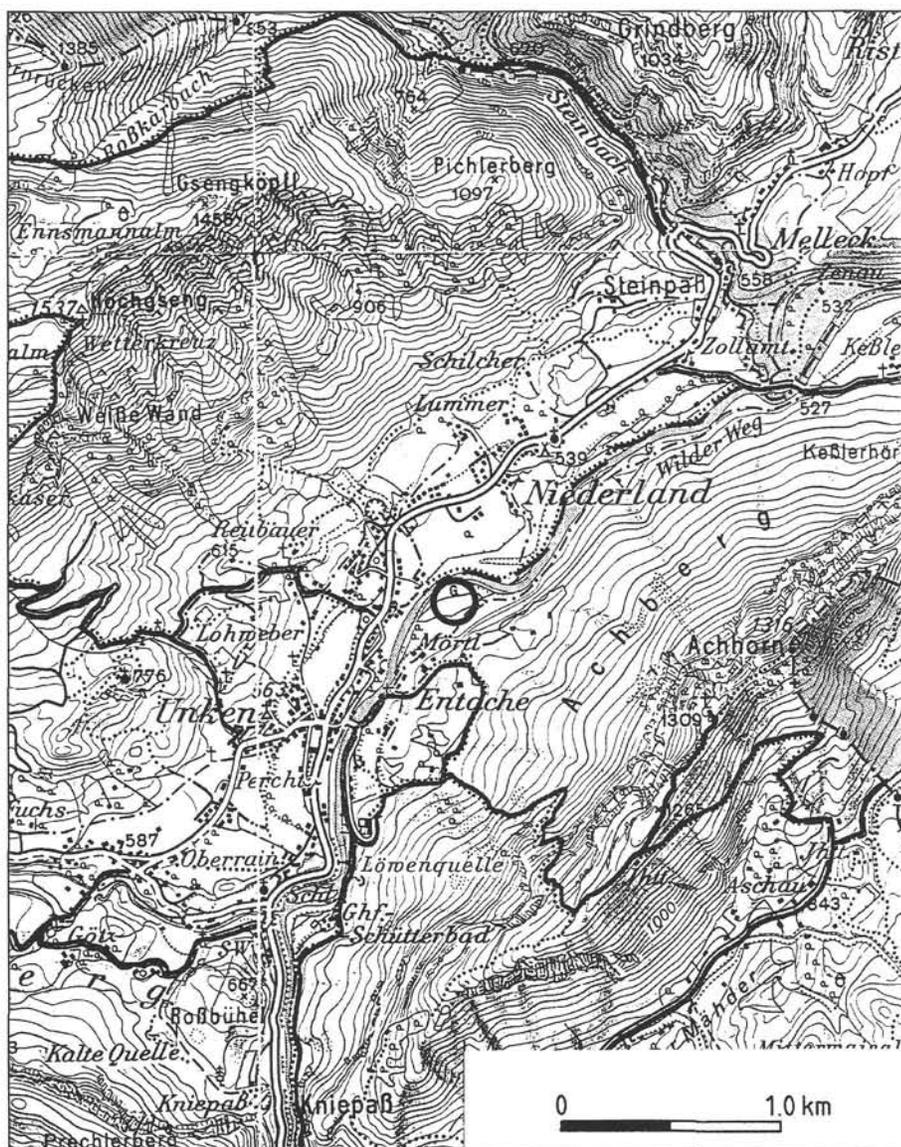
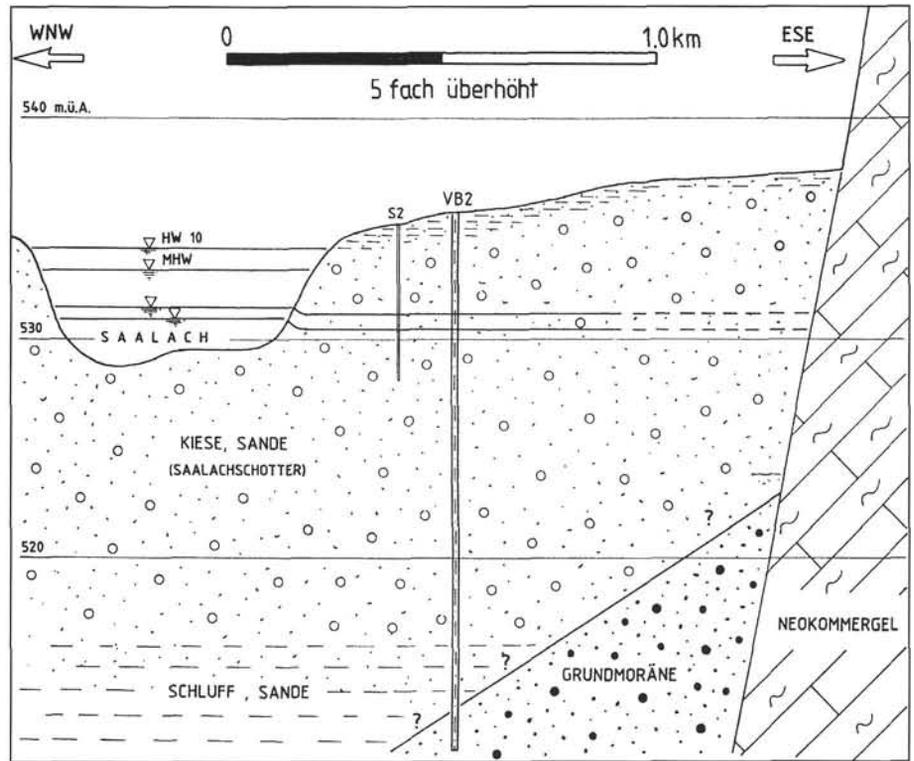


Abb. 1.
Standort der Grundwassererschließung Unken.
Ausschnitt aus ÖK 25V, Blatt 92 Lofer.

Abb. 2. Hydrogeologisches Querprofil im Bereich des Brunnens Unken.



über einen längeren Zeitraum laufend gemessen und in Form von Grundwasserganglinien ausgewertet.

Die Ergebnisse zeigten einen gleichlaufenden Gang der Grundwasserstände sowie des Saalach-Wasserspiegels, was auf den Zusammenhang zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer hinweist (Abb. 3).

Die Auswertung der Grundwasserspiegelhöhen in Form von Grundwasser-Isophypsenplänen für charakteristische Wasserstände (Hochwasser, Mittelwasser, Niederwasser) zeigte durchwegs eine zum Oberflächengewässer parallele Durchströmung des Grundwasserfeldes mit Alimentation aus der Saalach (Abb. 4).

somit der Grundlagen für die Festlegung der Grundwasserschutzgebiete ist die Kenntnis der folgenden Aquifer- und Grundwasserkennwerte maßgeblich:

3.4. Aquifer- und Grundwasserkennwerte

Für die im weiteren erforderlichen grundwasserhydraulischen Berechnungen zur Ermittlung der Auswirkungen der Grundwasserentnahme (Absenkungen, etc.), der Einzugs Grenzen, der Grundwasserfließgeschwindigkeiten und

| | | |
|-------------------------|-------|--|
| Mächtigkeit | m | [m] |
| Durchlässigkeit | k_f | [m/s] |
| Transmissivität | T | [m ² /s]; $T = k_f \cdot m$ |
| Nutzbare Porenvolumen | n_o | [%] |
| Grundwassergefälle | l | [‰] |
| Abstandsgeschwindigkeit | v_a | [m/s]; $v_a = k_f \cdot l / n_o$ |

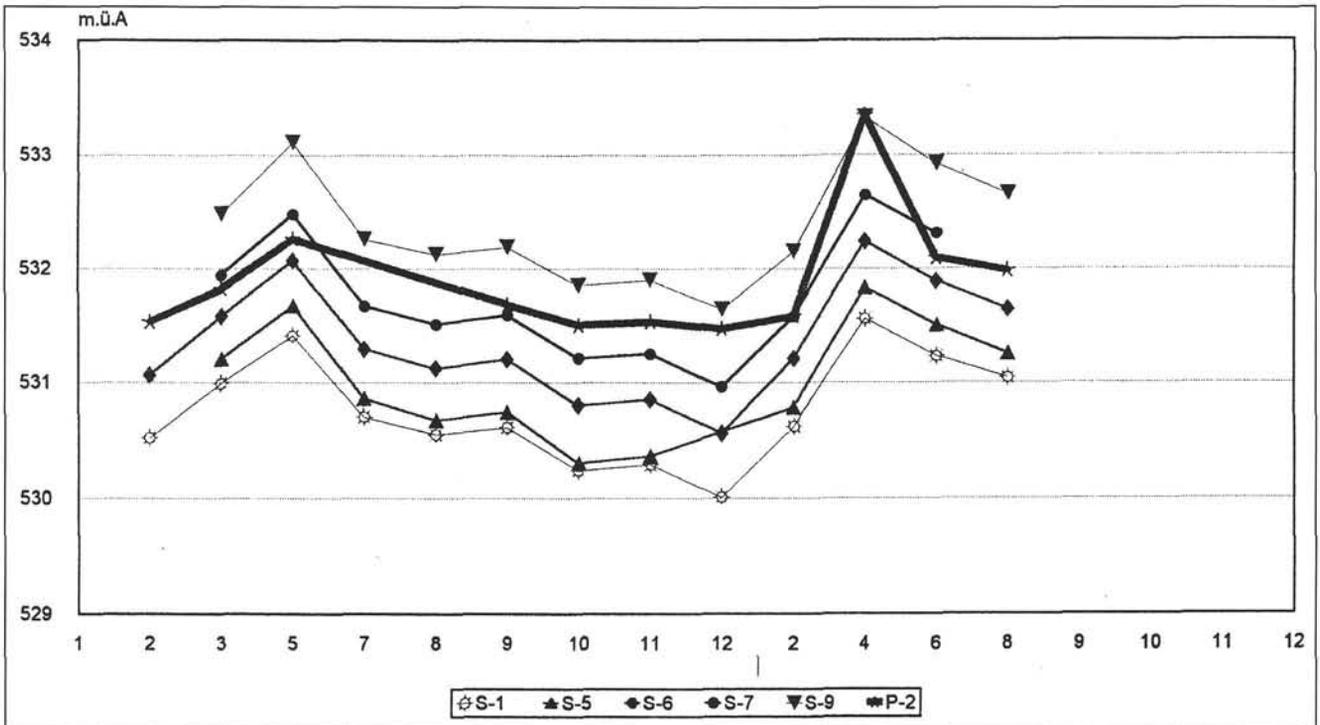
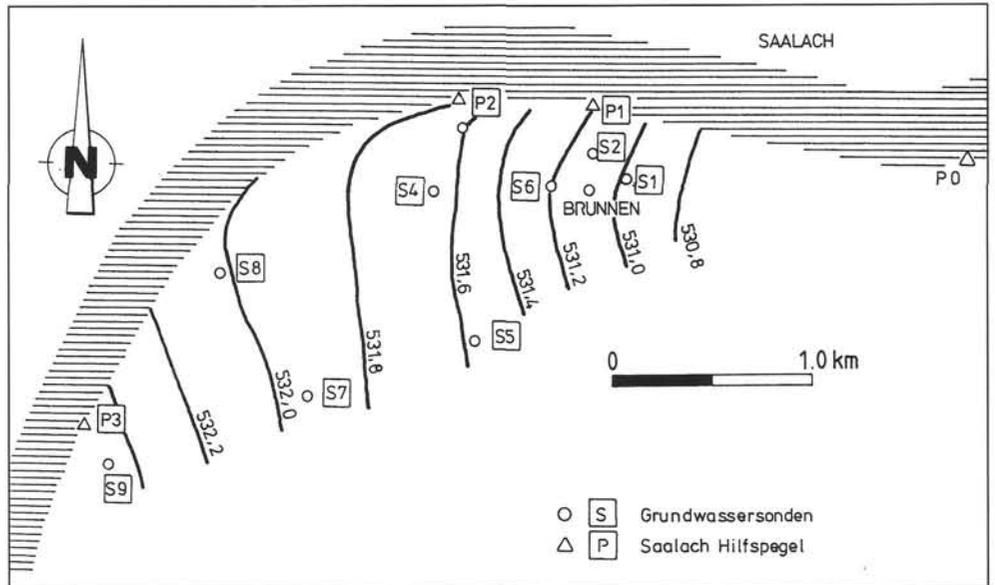


Abb. 3. Grundwasserganglinien. S-1 S-9 = Grundwasser; P-2 = Saalach.

Abb. 4.
Grundwasserisohypsen laut
Messung bei Saalach MW.



Zentraler Punkt ist die Bestimmung des maßgeblichen Kennwertes der Transmissivität bzw. des Durchlässigkeitsbeiwertes. Zur Bestimmung desselben werden in der Regel Pumpversuche durchgeführt, wobei je nach Durchführung folgende Durchlässigkeiten als Ergebnis erhalten werden:

Punkt- k_f

Bohrlochpumpversuch, Sieblinienauswertung, Laborversuch

Profil- k_f

Kleinpumpversuch: Aufschlußbohrung

Gebiets- k_f

Großpumpversuch: Brunnen

Grundsätzlich ist zu beachten, daß die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte auch von den verschiedenen Methoden abhängen. Der Vergleich dieser zeigt, daß Unterschiede bis zu mehreren Zehnerpotenzen zu erwarten sind (BLASCHKE, 1992).

Zur Ausschaltung dieser Probleme wurde bei der Grundwassererschließung Unken ein kombinierter Pumpversuch und Markierungsversuch durchgeführt. Dazu wurden in eine 20 m oberhalb des Versuchsbrunnens gelegene Grundwassersonde 100 g des Fluoreszenzfarbstoffes Eosin eingespeist und am Versuchsbrunnen während einer laufenden Entnahme von 4,0 l/s zweimal täglich Wasserproben gezogen und die Farbstoffgehalte analysiert. Die Ergebnisse sind in der Abb. 5 dargestellt. Bei der Auswertung der Farbstoffganglinie sind die unterschiedlichen Durchlaufzeiten bzw. -geschwindigkeiten zu beachten (maximale, minimale, mittlere, dominante Abstandsgeschwindigkeit). Definitionsgemäß wird die mittlere oder dominante Abstandsgeschwindigkeit der Rückrechnung für den Durchlässigkeitsbeiwert zugrundegelegt. Dies erfolgte im gegenständlichen Fall unter Berücksichtigung des erhöhten Gefälles in Brunnenhöhe durch numerische Berechnung mit Hilfe eines Grundwassermodells gem. Punkt 3.6.

Aus der Farbstoffganglinie selbst können weitere, z. B. für den Schadstofftransport im Grundwasser maßgebliche Aquiferkennwerte ermittelt werden (Dispersivität, Dispersionskoeffizienten).

Die unterschiedlichen Methoden der Durchlässigkeitsbeiwertermittlung des Beispiels Grundwassererschließung Unken/Mörtelau brachten die folgenden Ergebnisse, wobei die weiteren grundwasserhydraulischen Berechnungen die Ergebnisse der Auswertung des Markierungsversuches als die den tatsächlichen Verhältnissen am besten entsprechenden zugrunde gelegt wurden.

Pumpversuchsauswertung

(LANGGUTH, 1980; KRUSEMAN & DE RIDDER, 1973)

- stationär $k_f = 2,2 \cdot 10^{-3}$ m/s
Problematisch wegen geringer Absenkung in den Sonden!
- instationär $k_f = 1,7 \cdot 10^{-3}$ m/s
Aufspiegelung im Brunnen

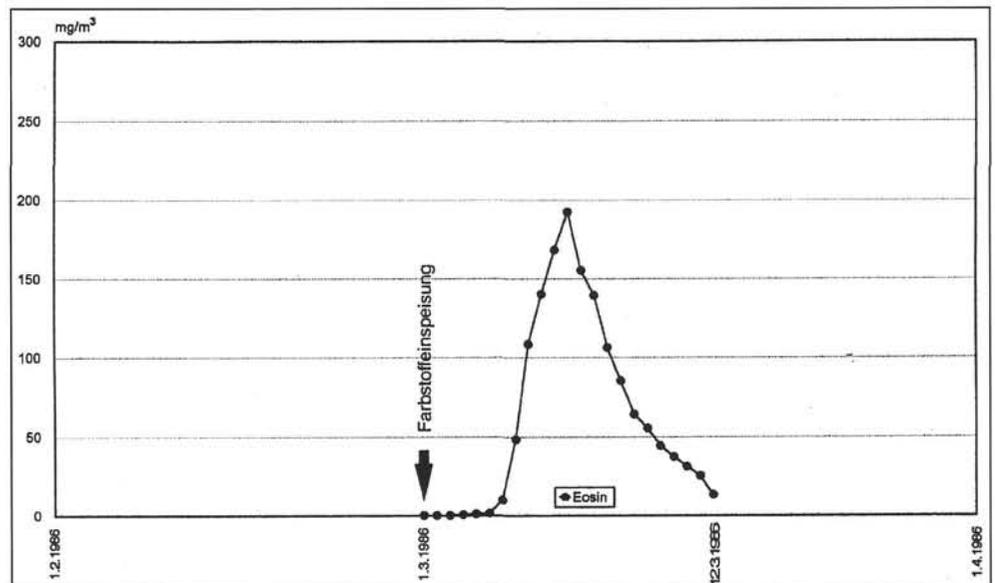
Sieblinienauswertung (LANGGUTH, 1980)

- nach HAZEN und ZIESCHGANG $k_f = 1,3 \cdot 10^{-3}$ m/s
- nach BEYER $k_f = 1,0 \cdot 10^{-3}$ m/s

Markierungsversuch

$k_f = 1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s

Abb. 5.
Ergebnisse des Markierungsversuches (Farbstoffganglinie).
Minimale Fließzeit = 3d; dominante Fließzeit = 5d; mittlere Fließzeit = 6d.



3.5. Wasserbeschaffenheit

Eine primäre Fragestellung bei der Grundwassererschließung ist die Feststellung der Trinkwasserqualität, wozu grundlegend chemisch-physikalische sowie bakteriologische Routineanalysen erforderlich sind (mehrmalige Beprobungen über einen längeren Zeitraum). Darüber hinaus sind in Abhängigkeit vom Grundwassereinzugsgebiet und den darin gegebenen Gefährdungsmöglichkeiten gesonderte Schadstoffuntersuchungen durchzuführen (BMGSK, 1993).

In Unken wurde ein Grundwasser mit einwandfreier chemisch-physikalischer sowie bakteriologischer Wasserbeschaffenheit erschrotet. Aus den durchgeführten Schadstoffanalysen waren keine Hinweise auf anthropogene Beeinträchtigungen des Grundwassers erkennbar.

3.6. Grundwassermodell

Mit grundwasserhydraulischen Berechnungen ist die Frage nach den Auswirkungen (im wesentlichen die Änderung der Grundwasserströmung, die Grundwasserabsenkung sowie die Einzugs Grenzen, jeweils in Abhängigkeit verschiedener Entnahmemengen) zu klären.

Die Einzugs Grenzen (Einzugsbreite $B = Q/T \cdot l$) werden unter Zugrundelegung der Aquiferkennwerte auf Grundlage des Grundwasserisohypsenplanes theoretisch berechnet. Zentrale Bedeutung für die Einzugsbreite und damit für die Einzugs Grenzen besitzt die Transmissivität bzw. die zugrundeliegende Durchlässigkeit, sodaß der möglichst exakten bzw. den tatsächlichen Verhältnissen entsprechenden Bestimmung dieses Kennwertes entscheidende Bedeutung zukommt (sh. Punkt 3.4.).

Die bestmögliche Ermittlung der Einzugs Grenzen sowie des Absenkungsbereiches im Porengrundwasser bietet der Einsatz numerischer Grundwassermodellrechnung (Strömungsmodell). Im folgenden wird der Aufbau und die Erstellung eines numerischen Grundwassermodells erläutert.

Ein Grundwassermodell soll prinzipiell die Eigenschaften eines Grundwasserleiters und die darin ablaufenden Strömungs- und Transportprozesse nachbilden. Dazu ist grundlegend eine genaue Kenntnis des tatsächlichen Grundwassersystems und der Einflußfaktoren auf dieses System erforderlich. Dies sind insbesondere:

- Grundwassermächtigkeit
- Durchlässigkeit
- Grundwassergefälle
- Nutzbares Porenvolumen
- In- und Exfiltration von Oberflächengewässern
- Unterirdische Zu- und Abflüsse
- Niederschläge (Grundwasserneubildung)
- Künstliche Einflüsse (Grundwasserentnahmen, -anreicherungen)
- Zusätzlich für Transportmodelle
 - Dispersionsparameter (Dispersivität)
 - Adsorptionsparameter (Retardierungsfaktor)
 - Abbaufunktionen (chemische und mikrobiologische Reaktionen)
 - Stoffeintrags- und -austragsraten

Die eigentliche Modellbearbeitung beginnt mit der Abgrenzung des Modellgebietes, welches sich in der Regel an den naturräumlichen Gegebenheiten des Grundwasserfeldes orientiert, bzw. einen Ausschnitt daraus aufgrund des durch die Fragestellung betroffenen Teilgebietes bildet.

Entscheidend für die Ergebnisse der Modellrechnungen ist die Festlegung der Systemkomponenten:

- Systemstruktur (Finite-Elemente-Netz)
- Systemparameter (Strömung, Transport)
 - Mächtigkeit, Durchlässigkeit, Nutzbares Porenvolumen, Dispersivität, Retardierungsfaktor, Reaktionskoeffizienten
- Randbedingungen
 - Konstantes Potential (Wasserspiegel von Oberflächengewässern, Grundwasserisohypse)
 - Zu- und Abströmung von Grundwasser (dichte Berandung, Randzuflüsse)
 - Halbdurchlässige Randzone (leakage Konzept)
- Anfangsbedingungen (für instationäre Berechnung)

Mit den so festgelegten Systemkomponenten wird durch das Grundwassermodell mit Hilfe des zugrundeliegenden numerischen Lösungsalgorithmus die Grundwasserströmung theoretisch berechnet und die Ergebnisse in Form von Isohypsen, Stromlinien, Differenzlinien, etc. dargestellt.

Zur Angleichung der so errechneten Grundwasserströmung an die tatsächlichen Verhältnisse laut vorhandenen Messungen ist eine Kalibrierung des Modells („Modell-eichung“) erforderlich. Dabei werden die Systemparameter, gegebenenfalls auch die Randbedingungen solange variiert, bis die Ergebnisse der Modellrechnungen mit den gemessenen Verhältnissen möglichst weit übereinstimmen. Die Variation der Systemparameter betrifft meist die räumliche Verteilung der Transmissivität, als Kontrollfunktion wird in der Regel die Grundwasserspiegelhöhe verwendet, doch ist auch das Gesamtbild der Grundwasserströmung zu beachten.

Mit dem kalibrierten Modell können nun die weiteren grundwasserhydraulischen Berechnungen, Simulationen, Prognostizierungen und Optimierungsaufgaben durchgeführt werden.

Abschließend wird angemerkt, daß mit dem Einsatz von Grundwassermodellen allein, die anstehenden Probleme bzw. Aufgaben im Grundwasser nicht gelöst werden können. Mit Hilfe von Grundwassermodellen steht jedoch ein sehr gutes Instrument zur Verfügung, welches in Ergänzung zu „klassischen“ Methoden eine verbesserte Behandlung und Lösung von Grundwasserproblemen ermöglicht. Die Ergebnisse von Grundwassermodellrechnungen sind jedoch stets auf ihre Plausibilität im Zusammenhang mit der Gesamtkennntnis des Systems zu überprüfen.

Für die Grundwassererschließung Unken wurde ein von der TU Wien, Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, gemeinsam mit der Software-Firma MSB, Wien, entwickeltes zweidimensionales, numerisches Grundwassermodell auf Basis der Finite-Elemente-Methode verwendet (HPP-GMS).

Als Randbedingung wurde eine dichte Berandung des Grundwasserfeldes bei den anstehenden Neokommern sowie ein konstantes Potential entlang der Saalach entsprechend dem Saalach-Wasserspiegel festgelegt. Das Finite-Elemente-Netz wurde mit einer Maschenweite von 14 m und einer mehrmaligen Verdichtung im Bereich der Aufschlußbohrung bzw. des Versuchsbrunnens erstellt (Abb. 6).

Dem Modell wurde vorerst eine Transmissivität von $1800 \text{ m}^2/\text{d}$ (entsprechend dem Durchlässigkeitsbeiwert von $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$) gemäß den Ergebnissen der Vorerkundung sowie eine geringe Durchlässigkeit im Bereich des Saalachufers zugrundegelegt. Die aufgrund der Modellkalibrierung ermittelte räumliche Verteilung der Transmissivität im gesamten Grundwasserfeld ist aus Abb. 6 ersichtlich.

Mit dem kalibrierten Modell wurden für mittlere Saalach Wasserstände die Grundwasserabsenkungen sowie die Einzugs Grenzen (20, 40, 60 Tage Grenzen) für unterschiedlich-

Abb. 6.
 Modellgebiet mit Finite-Elemente-Netz.
 Transmissivitätsgebiet nach Modelleichung.

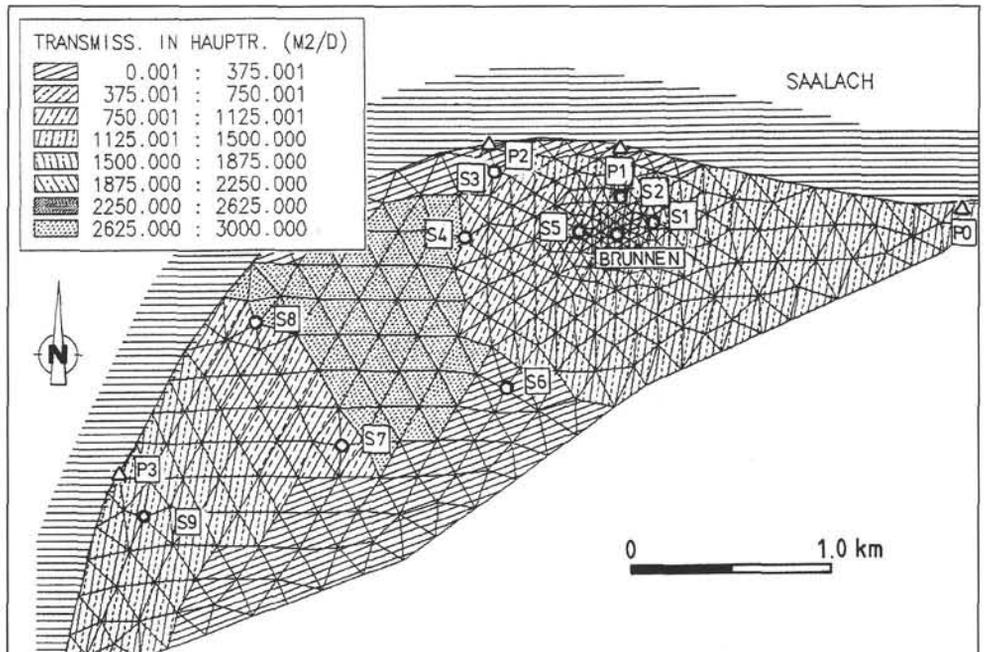


Abb. 7.
 Grundwasserisohypsen, Einzugs-
 grenzen und Fließzeiten für
 Grundwasserentnahme 5,8 l/s
 nach Modelleichung.

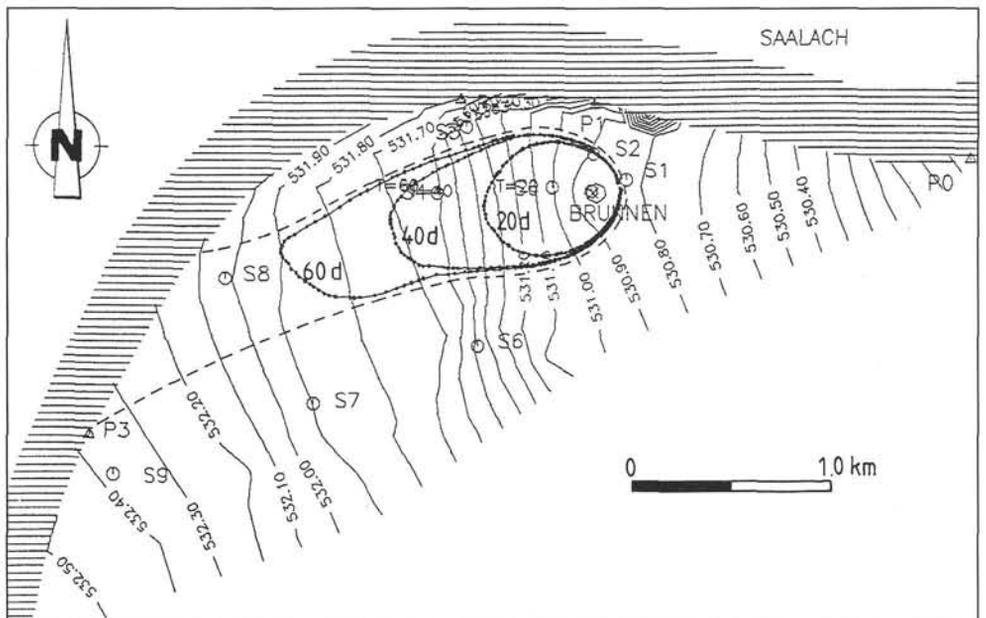
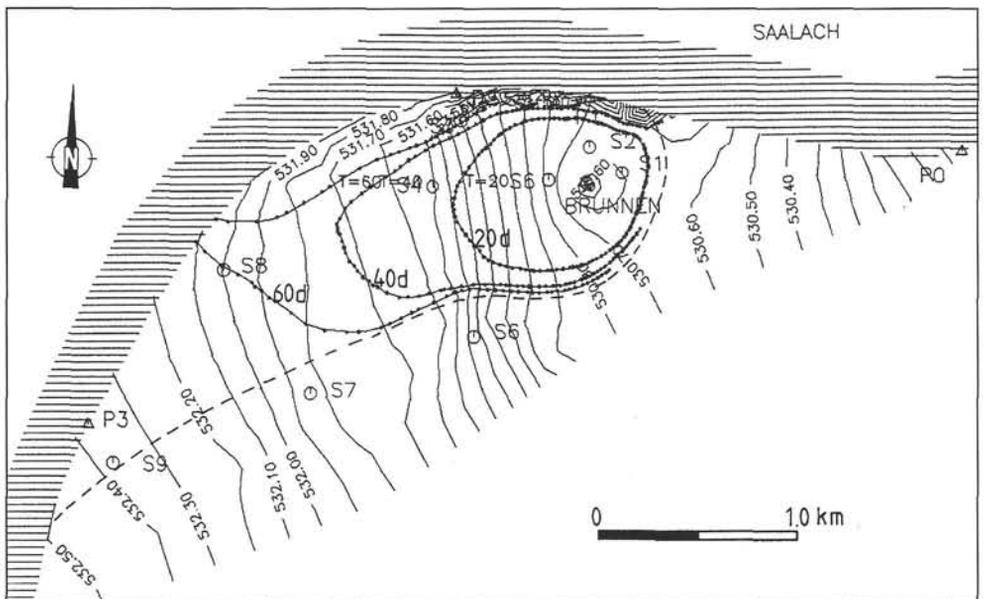


Abb. 8.
 Grundwasserisohypsen, Einzugs-
 grenzen und Fließzeiten für
 Grundwasserentnahme 12 l/s
 nach Modelleichung.



che Entnahmemengen (5,8 l/s entsprechend der mittleren monatlichen Grundwasserentnahme, 12 l/s entsprechend der Konsenswassermenge und 18 l/s entsprechend der Leistungsfähigkeit des Brunnens) berechnet. Die Ergebnisse sind in den Abb. 7 und 8 dargestellt. Weitere Berechnungen wurden analog für Saalachniederwasser und Hochwasserhältnisse durchgeführt.

Die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen zeigen, daß bei Normalbetrieb des geplanten Brunnens mit der Konsenswassermenge die 60-Tage-Grenze gerade bis zur Saalach reicht und eine ausreichende Grundwassernachlieferung durch die Alimentation des Oberflächengewässers gegeben ist.

3.7. Grundwasserschutz

Eine grundsätzliche Voraussetzung für die Nutzung von Porengrundwasser für die Trinkwasserversorgung ist ein ausreichender Schutz dieser Wasservorkommen. Da diese häufig in mehr oder weniger intensiv genutzten Talniederungen liegen, besteht grundsätzlich die Gefahr einer qualitativen und quantitativen Beeinträchtigung. Dieser Gefährdung ist durch Ausweisung von Grundwasserschutzgebieten sowie von Grundwasserschongebieten zu begegnen (ÖVGW, 1995; ÖWAV, 1984).

Die Grundwasserschutzgebiete werden in drei Zonen unterteilt (Zone I umfassend das unmittelbare Fassungsgebiet, Zone II zum Schutz gegen bakteriologische Verunreinigung umfassend im wesentlichen den Bereich der 60-Tage-Grenze, Zone III zum Schutz gegen schwer abbaubare Schadstoffe).

Das Grundwasserschongebiet soll das gesamte Grundwassereinzugsgebiet umfassen und kann in eine Kernzone sowie in eine Randzone geteilt werden.

Aufgrund der zumeist vorhandenen rechtmäßigen Nutzungen der von Schutzgebietsausweisungen betroffenen Flächen (Landwirtschaft, Siedlungstätigkeit, etc.) führt die Ausweisung der Schutzgebiete häufig zu Konflikten mit den betroffenen Grundbesitzern bzw. können hohe Entschädigungen für den Entfall dieser Nutzungen eine Grundwassererschließung aus Kostengründen erschweren oder gar verhindern.

Um einerseits den erforderlichen Grundwasserschutz im ausreichenden Maße zu gewährleisten und andererseits die Beeinträchtigung bestehender Nutzungsrechte und damit die Höhe der vom Versorgungsunternehmen zu zahlenden Entschädigungen so gering als möglich zu halten, kommt der genauen und den tatsächlichen Verhältnissen entsprechenden Bemessung, insbesondere der Schutzzone II große Bedeutung zu.

Die für die Bemessung der Schutzzone II maßgeblichen hydraulischen Parameter sind die Einzugs Grenzen (unter Berücksichti-

gung allfälliger Änderungen der Grundwasserströmungsrichtung und des -gefälles) sowie die Grundwasserabstandsgeschwindigkeit. Beide Parameter beruhen letztlich auf der Transmissivität bzw. der Durchlässigkeit, was wiederum die Bedeutung dieser Kennwerte und damit deren sorgfältiger Ermittlung hervorhebt. Weiters ist zu berücksichtigen, daß in der Regel aus Kostengründen durch konkrete Bohrungen, Pump- und Markierungsversuche die Durchlässigkeit nur für den unmittelbaren Bereich der Grundwassererschließung selbst bekannt sein wird. Im Einzugsbereich der Grundwasserfassung werden jedoch unterschiedliche Durchlässigkeiten und Transmissivitäten vorhanden sein. Diese können im Zuge der Erstellung eines Grundwassermodelles bei der Modellkalibrierung erfaßt werden.

Die Ausweisung der Schutzzone III soll einen Schutz gegen schwer abbaubare im Grundwasser gelöste Schadstoffe bieten und einen weiteren Teil des Einzugsgebietes umfassen (BRD: bis zur Einzugs Grenze). Die Ausweisung einer Schutzzone III könnte bei Verordnung eines Schongebietes, welches in vielen Fällen aus rechtlichen Überlegungen ohnedies notwendig sein wird, entfallen, doch ist zu berücksichtigen, daß eine bescheidgemäße Festlegung von Schutz zonen einen raschen und unmittelbaren Schutz für das Grundwasservorkommen bietet, während eine Schongebietsverordnung in der Verwaltungspraxis oft Jahre, ja Jahrzehnte in Anspruch nehmen kann.

Die Schutzzone III kann allerdings in der Praxis selten soweit ausgedehnt werden, um damit das Vordringen schwer abbaubarer Schadstoffe bis zur Wasserfassung mit Sicherheit zu verhindern. Sie sollte jedoch zumindest so groß bemessen werden, daß im Schadensfall eine ausreichende Reaktionszeit zum Ergreifen von Gegenmaßnahmen gegeben ist.

Für die Grundwassererschließung Unken wurde eine Schutzzone II für den Bereich der 60-Tage-Grenze, eine Schutzzone III für den daran anschließenden unmittelbaren Zuströmbereich von der Saalach bescheidgemäß festgelegt sowie ein Schongebiet für das gesamte Grundwasserfeld verordnet (Abb. 9).

Die konkreten Schutzgebiets- bzw. Schongebietsanordnungen sind den Grundwasserschutzanforderungen entsprechend für die jeweiligen grundsätzlichen Gefährdungsmöglichkeiten im Detail festzulegen.

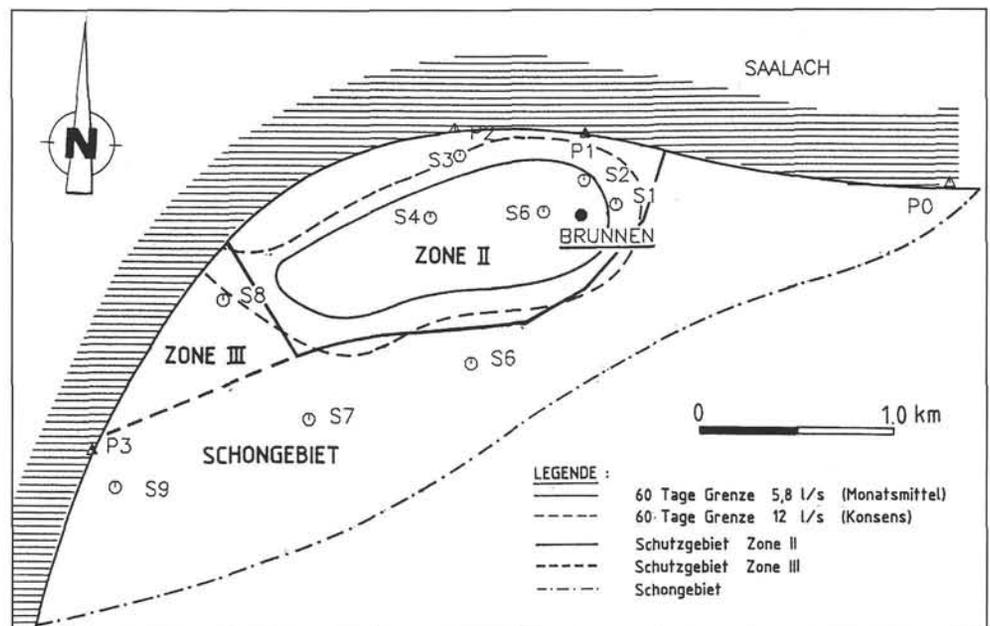


Abb. 9. Schutzgebiete und Schongebiet.

Literatur

- BLASCHKE, A.P., 1992: Dateninterpretation. – In: TU Wien, Institut für Hydraulik und Gewässerkunde: Hochschulkurs Einführung in die Grundwassermodellierung. – Wien.
- BMGSK, 1993: Erlaß des Bundesministers für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz vom 19. April 1993, GZ. 32.001/0 – III/B/1b/93, betreffend den Beschluß der Kommission zur Herausgabe des Österreichischen Lebensmittelbuches (Codex-Kommission) über das Kapitel B 1 „Trinkwasser“; Neufassung.
- LANGGUTH, H.-R. & VOIGT, R., 1980: Hydrogeologische Methoden. – 486 S., Berlin – Heidelberg – New York (Springer).
- KRUSEMAN, G.P. & DE RIDDER, N.A., 1973: Untersuchung und Anwendung von Pumpversuchsdaten – 191 S., Köln (Müller).
- ÖVGW – ÖSTERR. VEREINIGUNG FÜR DAS GAS- und WASSERFACH, 1995: Richtlinie W 72 – Schutz von Wasservorkommen (Eigenverlag).
- ÖWAV – ÖSTERREICHISCHER WASSER- und ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND, 1993: Regelblatt 208 – Bohrungen zur Grundwassererkundung, Wien (Eigenverlag).
- ÖWAV – ÖSTERREICHISCHER WASSER- und ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND; 1984: Arbeitsbehelf Nr. 2 – Grundwasserschongebiete, Wien (Eigenverlag).
- ZETINIGG, H., 1996: Hydrogeologie und Wasserwirtschaft, die Situation in Österreich. – Mitt. Österr. Geol. Ges., 87, Wien.

Manuskript eingegangen am: 1. 2. 1993 ●

Revidierte Version eingegangen am: 17. 2. 1995 ●

Manuskript akzeptiert am: 3. 5. 1995 ●