

Wasserführende Klüfte im
granitischen Festgestein

Hydrogeologische Grundlagen- ermittlung für Wassergewinnungs- brunnen

in kristallinen Mittelgebirgsregionen

Quelle: die Autoren

In kristallinen Mittelgebirgsregionen sind **die hydrogeologischen Voraussetzungen** für den Brunnenbau in vielen Fällen äußerst ungünstig. Dementsprechend entscheidet die fachgerechte Beurteilung der **vor Ort angetroffenen Ausgangsbedingungen** über den Erfolg oder den Misserfolg einer Brunnenbaumaßnahme. Der Beitrag befasst sich in diesem Zusammenhang mit den für die Wassergewinnung aus Brunnen relevanten hydrogeologischen Kenngrößen in kristallinen Mittelgebirgsregionen am Beispiel des Bayerischen Waldes.

von: Dr. Till Rubbert (Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH) & Ralf Dinkelmeyer (Bieske und Partner Süd GmbH)

Jeder Bau eines neuen Brunnens bedarf im Vorfeld einer fachgerechten Grundlagenermittlung, welche insbesondere auch die hydrogeologischen Rahmenbedingungen vor Ort erfasst und bewertet. Diese Anforderung an eine regelwerkskonforme Brunnenplanung nach dem Stand der Technik gilt unabhängig von den geologischen Gegebenheiten. Mit zunehmender hydrogeologischer Komplexität des geplanten Brunnenstandortes steigt jedoch auch die Bedeutung der fachgerechten Ermittlung und Bewertung der gegebenen Bedingungen. In kristallinen Mittelgebirgsregionen beispielsweise sind die hydrogeologischen Voraussetzungen für den Bau von Brunnen vielerorts so ungünstig, dass alternative Wasserversorgungsmöglichkeiten einer Wassergewinnung durch Brunnen vorgezogen werden sollten. In jedem

Fall sind die lokalen hydrogeologischen Verhältnisse aber so komplex, dass eine fachgerechte Beurteilung der standortspezifischen Möglichkeiten zur Grundwassergewinnung nicht nur den Umfang der gewinnbaren Wassermenge maßgeblich bestimmt, sondern sogar entscheidend sein kann für den Erfolg oder gänzlichen Misserfolg des geplanten Brunnenbaus. Eine entsprechend große Bedeutung muss demzufolge in solchen Fällen eine fundierte hydrogeologische Grundlagenermittlung haben.

Geologischer Aufbau des grundwasserführenden Untergrundes

Der Untergrund des Bayerischen Waldes bildet eine komplexe Struktur aus oberflächennahen, umgelagerten Lockergesteinen und mit zunehmender Tiefe folgenden, anstehenden Kristallingesteinen (in erster Linie Granite und Gneise) unterschiedlichen Verwitterungsgrades. Die im Tertiär entstandenen, mehrere 10er-Meter mächtigen Verwitterungsdecken wurden im Regelfall im weiteren Verlauf des Tertiärs oder Quartärs umgelagert.

Die Abfolge vom teilweise umgelagerten Lockergestein über die Klüftungszone bis ins unverwitterte Ausgangsgestein ist hinsichtlich der Tiefenlage lateral sehr heterogen verteilt und erfolgt zudem in fließendem Übergang. Dennoch ist es unter Zuhilfenahme verschiedener

Abstrahierungen möglich, schichtspezifische Homogenbereiche des Untergrundes zu definieren (Abb. 1).

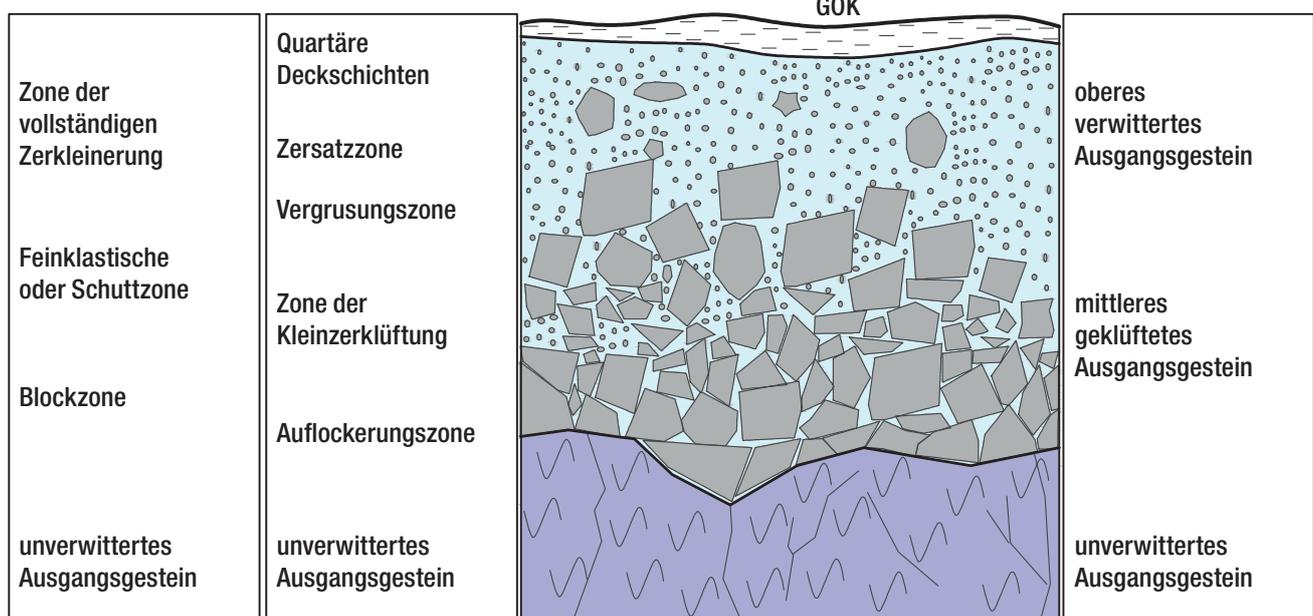
In [1] wurde in Bezug auf den Bayerischen Wald die folgende Definition implementiert:

- Zone 1: verwittertes Grundgebirge (Deckschichten und Verwitterungszone)
- Zone 2: geklüftetes Grundgebirge (Zone der Kleinzerklüftung, oberflächennahe Auflockerungszone)
- Zone 3: unverwittertes Grundgebirge inklusive tiefer Bereiche der Auflockerungszone

Die Zone 1, aufgebaut aus Deckschichten und Verwitterungsresten des kristallinen Grundgebirges, erfüllt eine mit Blick auf die Grundwassergewinnung wichtige Grundwasserschutz- und -speicherfunktion. Für die Grundwasserführung (und damit die Grundwassergewinnung) besonders relevant ist dagegen die Tiefenlage der Oberkante der Zone 2; hier kann mit Gebirgsdurchlässigkeiten bis in Größenordnungen von 4×10^{-4} m/s gerechnet werden. In den darüber liegenden Verwitterungsschichten verringern lokal tonige Verwitterungsprodukte die Durchlässigkeit, darunter nimmt die Durchlässigkeit aufgrund des nachlassenden Zerklüftungsgrades sukzessive bis zur praktisch vollständigen Wasserundurchlässigkeit ab. Der Effekt der präferenziellen Grundwasserführung

nach Saker & Jordan (1977) nach Raum (2002)

nach Krasny (1996)



Quelle: überarbeitet nach [1]

Abb. 1: Zonierungskonzepte zur Definition von Homogenbereichen in oberflächennahen Festgesteinsarealen

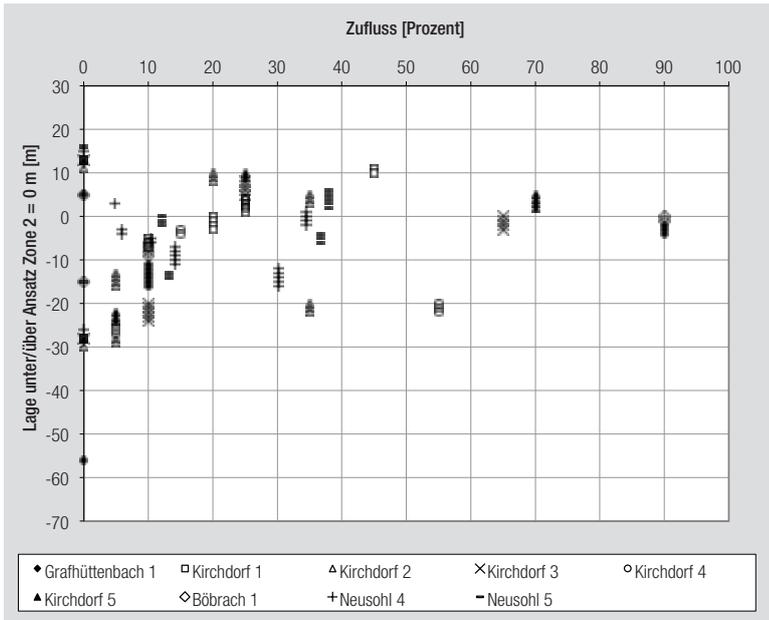


Abb. 2: Flowmeter-Messungen: Lage der prozentualen Zuflüsse bezogen auf die Oberkante der Zone 2

Quelle: [1]

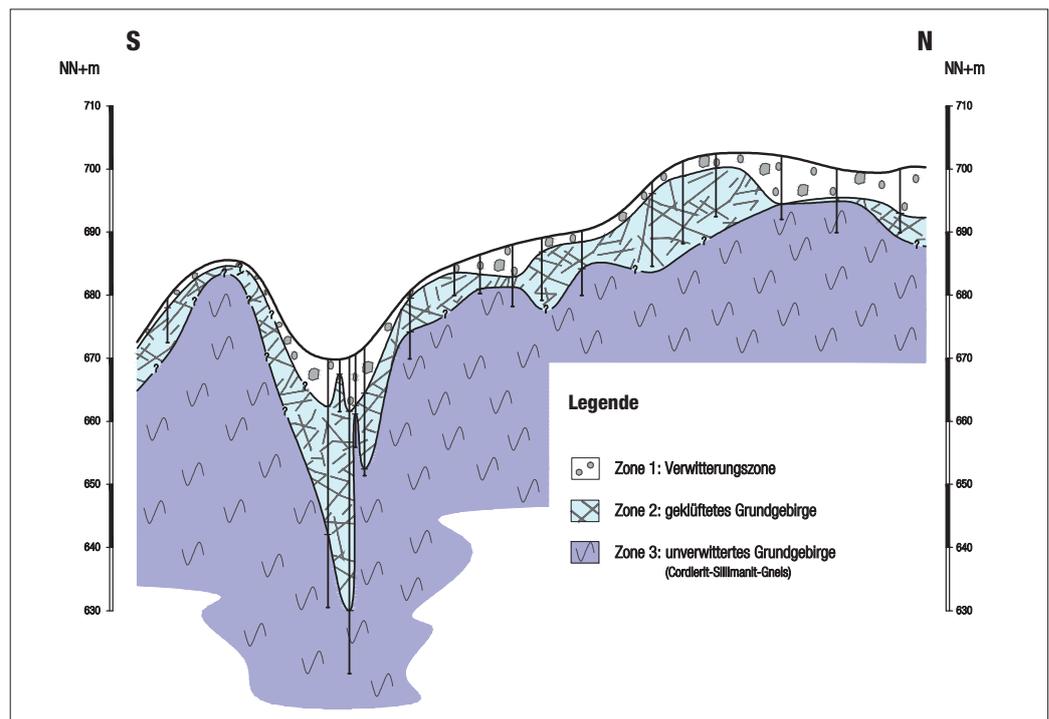
Grundwasserleiters aus einem oberflächennahen porösen und einem unterlagernden klüftigen Medium ausgegangen werden. Im Fall einer gering durchlässigen, stark tonigen oder schluffigen Zone 1 sind die beiden Zonen mehr oder weniger hydraulisch voneinander getrennt. Im Extremfall liegt ein gespannter Grundwasserleiter aus gut durchlässigem, intensiv geklüftetem Kristallin vor, der nach oben durch eine stark tonhaltige, praktisch undurchlässige Lockergesteinsschicht begrenzt wird. In der Realität ist vermutlich meist von einer Situation zwischen den beiden Extremen auszugehen, was einem halbgespannten oder halbfreien Aquifer entspricht. Diese Modellvorstellung wurde in [1] anhand ausgewerteter Pumpversuchsdaten bestätigt. Die dabei ermittelten Transmissivitäten von $6,9 \times 10^{-5}$ bis $6,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ können als integrale Werte des aus Zone 1 und Zone 2 aufgebauten Grundwasserleitersystems betrachtet werden.

im Bereich der Oberkante der Zone 2 konnte anhand von Flowmeter-Messungen in verschiedenen Wassergewinnungsbrunnen im Bayerischen Wald bestätigt werden (Abb. 2).

Die hydraulischen Wechselbeziehungen zwischen Zone 2 und Zone 1 sind abhängig von der Ausbildung und damit der Durchlässigkeit von Zone 1. Solange die Durchlässigkeiten der beiden Zonen vergleichbar sind, kann von einem direkten hydraulischen Zusammenhang und der Ausbildung eines kombinierten, freien

Unterhalb der mittels Flowmeter-Messungen identifizierbaren, tiefsten quantitativ bedeutungsvollen Zuströme erfolgt der Übergang der geklüfteten, wasserwegsamem Zone 2 zur praktisch undurchlässigen Zone 3. Als Grenzbereiche lassen sich Tiefen von ca. 30 m unter Gelände und ca. 20 m unter dem Ansatz der Zone 2 nennen. Unterhalb der genannten Bereiche werden in der Regel nur noch geringe Zuflussmengen registriert. Für die erfolgreiche Standortwahl eines Brunnens ist somit die möglichst

Abb. 3: Geologischer Profilschnitt zwischen Langdorf und Regen



Quelle: Überarbeitet nach [1]

große Mächtigkeit der wasserspeichernden Verwitterungsschichten (Zone 1) einerseits und der präferenziell durchlässigen Klüftungszone (Zone 2) andererseits von entscheidender Bedeutung. Die Verfilterung eines Brunnens sollte die Oberkante der Zone 2 in jedem Fall einschließen.

Mächtigkeitsverteilung der oberflächennahen, porös-geklüfteten Zonen des kristallinen Grundgebirges

In der Literatur existieren Angaben zur ungefähren Mächtigkeit der verschiedenen Zonen des kristallinen Untergrundes im Bayerischen Wald [2, 3]. Diese basieren auf Geländebeobachtungen sowie vereinzelt, punktuellen Bohrdaten. Die Werte werden nur mit verhältnismäßig großen Schwankungsbreiten angegeben. Darin zum Ausdruck kommende Unsicherheiten basieren nicht nur auf der Heterogenität der vorliegenden geologischen und hydrostratigrafischen Einheiten, sondern auch auf der geringen Zahl an direkten Beobachtungspunkten. Die starke Heterogenität des Untergrundes wird durch lokale Untersuchungskampagnen wie z. B. durch [4] deutlich. Im Gelände bestätigt sich diese Beobachtung, die auch in einem beispielhaft erstellten Profilschnitt in Richtung Nord-Süd entlang der Verbindungsstraße zwischen den Städten Regen und Langdorf zum Ausdruck kommt (Abb. 3).

Dabei ist die Kenntnis über die räumliche Verteilung der Deckschichten und der kristallinen Verwitterungsprodukte (Zone 1) sowie der Klüftungszone (Zone 2) sowohl lateral als auch in der Tiefenerstreckung von enormer Bedeutung. Im Fall geringer Durchlässigkeit, ausreichender Mächtigkeit und lateraler Erstreckung erfüllen die quartären Deckschichten eine wichtige Schutzfunktion für den darunter liegenden Grundwasserleiter [5]. Ist diese Schutzfunktion nicht erfüllt, so ist das Belastungsrisiko der Grundwasserressourcen deutlich erhöht. Zudem hängt das Grundwasserdargebot des verwitterten und klüftigen Festgesteins unmittelbar von seiner Mächtigkeit ab, was nicht zuletzt an dem Parameter der Transmissivität als Produkt von Aquifermächtigkeit und -durchlässigkeit zum Ausdruck kommt.

Sowohl für die Verwitterungs- als auch für die Klüftungsbereiche (Zone 1 und Zone 2) sind nach statistischen Bohrdatenauswertungen im Bayerischen Wald in der Regel Mächtigkeiten

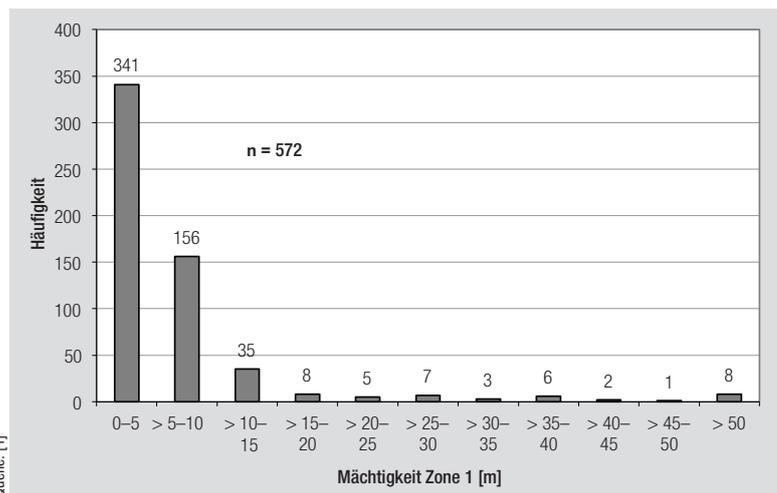


Abb. 4: Histogramm zur erhöhten Mächtigkeit von Zone 1 (gesamt)

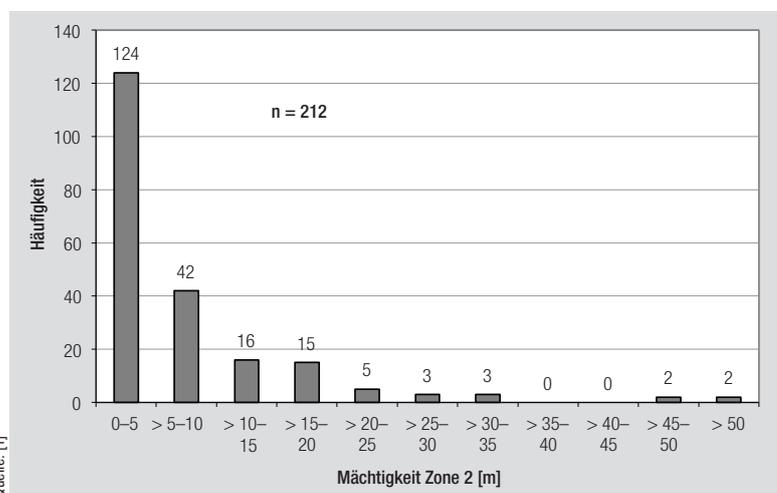


Abb. 5: Histogramm zur erhöhten Mächtigkeit von Zone 2 (gesamt)

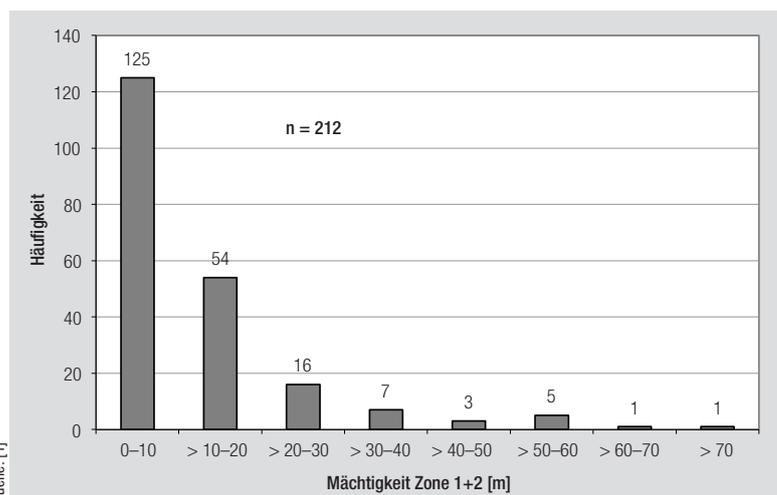
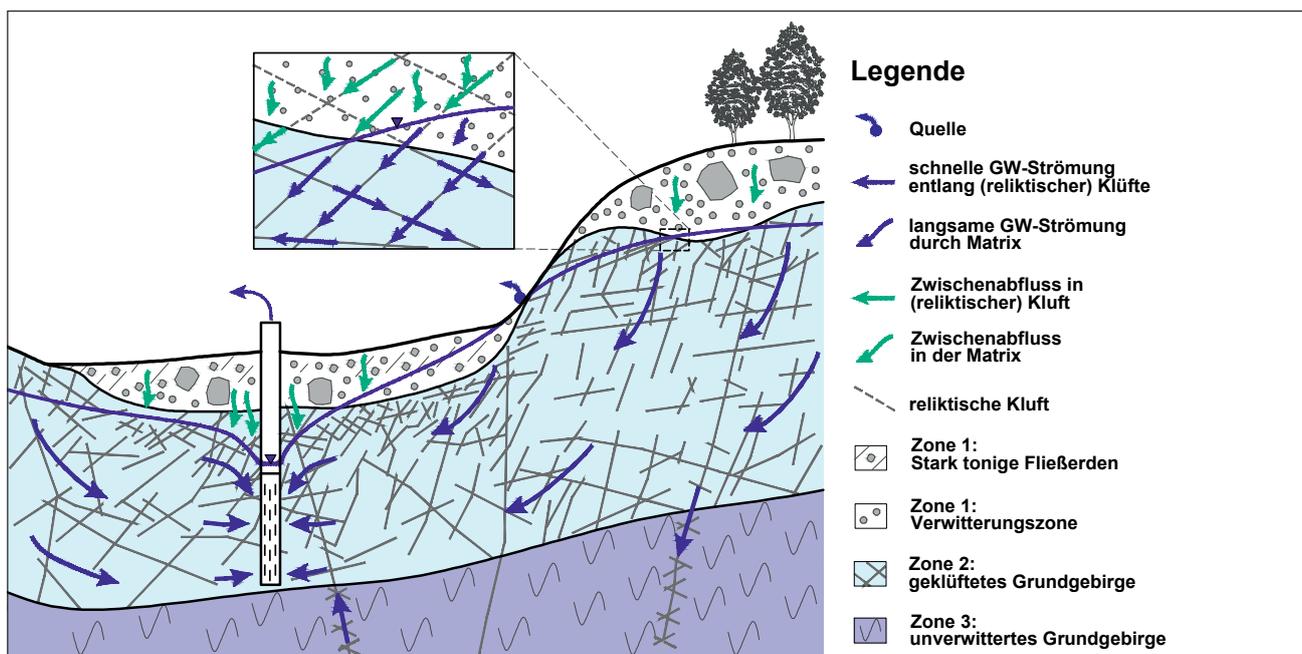


Abb. 6: Histogramm zur erhöhten Mächtigkeit von Zone 1+2 (gesamt)

unter 15 m bei leicht erhöhten Werten von Zone 2 zu erwarten (Abb. 4 & 5). Mit einer Wahrscheinlichkeit von über 90 Prozent beträgt die Summe dieser beiden hydrostratigrafischen Einheiten weniger als 30 m (Abb. 6). Größere Mäch-



Quelle: Überarbeitet nach [1]

Abb. 7: Tiefenzonierung und Anströmung oberflächennaher Grundwasserfassungen in kristallinen Mittelgebirgsregionen

tigkeiten sind vor allem für niedrig gelegene Bereiche zu erwarten, die zudem geringe Gefällewerte aufweisen. Hier kommt es offensichtlich zu einer Akkumulation von abgetragenem und umgelagertem Verwitterungsmaterial. Handelt es sich außerdem um tektonisch bedingte Schwächezonen, ist auch mit einer tiefgreifenden Klüftung des kristallinen Ausgangsgesteins zu rechnen [6]. Aufgrund der somit zu erwartenden maximalen Mächtigkeiten von Zone 1 und Zone 2 liegen hier präferenzielle Standorte zur Wassergewinnung vor, sofern die notwendige Qualität zur Nutzung als Trinkwasser gewährleistet ist, ggfs. nach geeigneter Aufbereitung. In höheren Lagen weisen Verebnungsbereiche mit niedrigem Gefälle das größte Potenzial für erhöhte Mächtigkeiten der Deckschichten und der Verwitterungszone auf [3]. In jedem Fall ist allerdings mit statistisch und empirisch nachgewiesenen, kleinräumigen Heterogenitäten der Tieferstreckung wasserführender Einheiten zu rechnen, welche die Grundwasserexploration in Kristallingebieten generell mit großen Unsicherheiten verbindet. Vor der Durchführung von Probe- und Hauptbohrungen zur Wassergewinnung sollte daher die Möglichkeit flächenhafter geophysikalischer Untersuchungen zur Identifikation von Bereichen erhöhter Grundwasserleitermächtigkeit erwogen werden.

Schlussfolgerung

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich die Schlussfolgerung, dass zur Erreichung einer möglichst hohen spezifischen Brunnenergie-

bigkeit in kristallin geprägten Mittelgebirgsregionen bei der Standortwahl eine möglichst große Mächtigkeit gut durchlässiger, d. h. sandig-kiesiger Verwitterungsprodukte mit ausgeprägter unterlagernder Klüftungszone angestrebt werden sollte. Dabei muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die Filterstrecke auch den Übergangsbereich von Verwitterung zur Klüftungszone erfasst (Zone 1 zu Zone 2), da hier mit den höchsten Durchlässigkeitsbeiwerten des Gesamtsystems und damit einer entsprechend hohen Bedeutung für die spezifische Brunnenergiebigkeit zu rechnen ist. Im Regelfall – ohne das Vorhandensein tiefgreifend wirksamer Einzelklüfte im unverwitterten Grundgebirge – kann dagegen auf eine signifikante Vertiefung der Brunnenbohrung in das anstehende kristalline Gestein unterhalb der oberflächennahen Klüftungszone verzichtet werden, da hier keine nennenswerten Zuflüsse mehr in den Brunnen zu erwarten sind. Im Hinblick auf die spezifische Ergiebigkeit des Brunnenbauwerks spielt das unverwitterte, ungeklüftete kristalline Grundgebirge somit in den meisten Fällen praktisch keine Rolle (Abb. 7).

Eine Bewertung der Erfolgsaussichten von Brunnenbohrungen in kristallinen Mittelgebirgsregionen kann nur für den jeweiligen Einzelfall vorgenommen werden. Durch die Berücksichtigung geeigneter Rahmenbedingungen und die Umsetzung vorbereitender Untersuchungen kann das Risiko einer Fehlbohrung zwar minimiert, aufgrund der überaus komplexen hydrogeologischen Systemzusammenhän-

ge aber niemals komplett ausgeschlossen werden. Die Betrachtung und Bewertung des zur nachhaltigen Grundwasserentnahme zur Verfügung stehenden Dargebotes muss hiervon unabhängig erfolgen. ■

Literatur

- [1] Rubbert, T. (2008): Hydrogeologische Modellbildung eines kombinierten porös-geklüfteten Grundwasserleitersystems des Bayerischen Waldes. – Dissertation am Lehrstuhl Angewandte Geologie, Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum, Bochumer Geowissenschaftliche Arbeiten Heft 14, 396 S.
- [2] Bender, S. (2000): Klassifikation und genetische Entwicklung der Grundwässer im Kristallin der Oberpfalz/Bayern. – Münchner Geologische Hefte, Reihe B: Angewandte Geologie, Heft 10, München, 219 S.
- [3] Raum, K.-D. (2002): Markierungstechnische, bruchtektonisch-gefügekundliche und fotogeologische Untersuchungen zur Ermittlung der Grundwasserfließverhältnisse in der Verwitterungszone kristalliner Gesteine in Quellgebieten des Oberpfälzer Bayerischen Waldes (Ost-Bayern/Deutschland). – Dissertation an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 240 S.
- [4] Bader, K. & Weinelt, W. (1975): Geologisch-geophysikalische Untersuchungen für die geplante Trinkwassertalsperre Frauenau (Bayerischer Wald). – Geologica Bavarica 74; München (Bayer. Geologisches Landesamt), 179-192.
- [5] Bayer. Geologisches Landesamt (Hrsg.) (1996): Grundlagen zum Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Naab-Regen - Hydrogeologie; München, 93 S.
- [6] Stasko, S. & Tarka, R. (1996): Hydraulic Parameters of Hard Rocks Based on Long-term Field Experiment in the Polish Sudetes. - In: Krasny, J. & Mls, J. (Hrsg.) (1996): Proceedings of First Workshop on Hardrock Hydrogeology of the Bohemian Massif, Acta Universitatis Carolinae Geologica, 40, Praha, S. 167-178.

Weiterführende Literatur

- Krasny, J. (1996): Hydrogeological Environment in Hard Rocks: An Attempt at its Schematizing and Terminological Considerations. -
- In: Krasny, J. & Mls, J. (Hrsg.) (1996): Proceedings of First Workshop on Hardrock Hydrogeology of the Bohemian Massif, Acta Universitatis Carolinae Geologica, 40, Praha, 115-122.
- Saker, R. & Jordan, H. (1977): Zu hydrogeologischen Eigenschaften der Verwitterungszonen erzgebirgischer Gneise. - Zeitschrift angewandte Geologie 23, H 12, 606-611.

Die Autoren

Dr. Till Rubbert ist geschäftsführender Gesellschafter der Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH in Lohmar.

Ralf Dinkelmeyer ist geschäftsführender Gesellschafter der Bieske und Partner Süd GmbH – Sachverständigenbüro für Brunnen und Quellen zur Wassergewinnung in Roßtal.

Kontakt:

Dr. Till Rubbert
Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH
Im Pesch 79, 53797 Lohmar
Tel.: 02246 9212-30
E-Mail: t.rubbert@bieske.de
Internet: www.bieske.de

Anzeige 1/2