Nachr. naturwiss. Mus. Aschaffenburg, **106**: 153-173, Aschaffenburg, Mai 2002

ISSN 0518-8512 Manuskript-Eingang: 10.03.2002

Grundwasser aus geklüfteten Gesteinen an Quellen des Büchelberg in Aschaffenburg, Bayern

MICHAEL SINREICH

Zusammenfassung

Der Büchelberg in Aschaffenburg ist aus geklüfteten metamorphen Gesteinen des kristallinen Vorspessart aufgebaut und wird von mehreren Quellen in unterschiedlicher Höhenlage entwässert. Nach einjähriger Beobachtung zweier dieser Quellen können deren Verhaltensweisen hydrogeologisch charakterisiert und ihnen unterschiedliche Grundwasserleiter zugeordnet werden. Die höhergelegene Quelle wird über oberflächennahe Fließwege aus der porösen und sehr speicherfähigen Verwitterungsschicht der Metamorphite gespeist. Die intermittierende Quelle am Fuße des Büchelberg bezieht dagegen Grundwasser aus einem tiefgründigeren Fließsystem entlang der Klüfte des Festgesteins. Der Kluftgrundwasserleiter weist im Bereich dieser Quelle zeitweise gespannte Verhältnisse auf. Mittels einer Jahreswasserbilanz und unter Berücksichtigung der örtlichen Geländemorphologie ist eine Abschätzung der Quelleinzugsgebiete möglich.

Stichworte: Grundwasser, Hydrogeologie, Quelle, Kluftgrundwasserleiter, kristalliner Vorspessart, Aschaffenburg, Bayern

Abstract

The Büchelberg in Aschaffenburg is underlain by pristine and altered fissured metamorphic rocks of the Spessart crystalline complex. The area is drained by several springs at different altitudes. The behaviours of two of these springs, which were monitored over a period of one year, reflect the hydrogeological situation in different aquifer types. Groundwater from a higher altitude spring flows through the uppermost altered zone and has characteristics typical of a shallow porous medium with a high storage capacity. In contrast an intermittent spring at the foot of the Büchelberg is fed by a deeper flow system passing through low storage capacity fissured rocks. This latter spring is characterised by temporally confined conditions within the fissured aquifer. Both spring catchments must be estimated by means of an annual water balance accounting for geomorphological aspects.

Key words: Groundwater, hydrogeology, spring, fissered aquifer, Spessart crystalline complex, Aschaffenburg, Bavaria

Inhaltsübersicht

1.0. Einleitung 150
2.0. Geologisch-tektonischer Rahmen 150
3.0. Hydrogeologische Grundlagen 153
4.0. Hydrologischer Überblick 156
5.0. Untersuchung des Quellverhaltens 158
5.1. Quellschüttungen 158
5.2. Physikalisch-chemische Wasserparameter 160
6.0. Hydrogeologisches Modellkonzept 162
6.1. Grundwasserfluß 162
6.2. Einzugsgebiete 165
7.0. Quellökologische Aspekte 167
8.0. Zitierte Literatur 168

1.0. Einleitung

Für die Ausbildung eines Landschafts- und Lebensraumes stellen die herrschenden Grundwasserverhältnisse einen wichtigen Einflußfaktor dar. So ist etwa die zeitliche Verteilung des Wasserdargebots – die sich z.B. auf die Art des oberirdischen Entwässerungsnetzes, auf Verwitterungsprozesse und auf die Vegetation auswirkt – u.a. als Ergebnis bestimmter hydrogeologischer Eigenschaften des Untergrundes zu verstehen.
Das System Grundwasser basiert auf den örtlichen geologischen und hydrologischen Gegebenheiten und beschreibt das Zusammenwirken zwischen dem Untergrundgestein und dem versickerten Niederschlagswasser. Quellen sind die Austrittspunkte dieses hydrogeologischen Systems. Ihre Eigenschaften und ihre Verhaltensweise sind das Resultat sämtlicher auf das Grundwasser einwirkenden Prozesse innerhalb eines Einzugsgebietes, weshalb sich Quellen gut für die Untersuchung der entsprechenden Grundwasserverhältnisse eignen.
Im vorliegenden Fall wurde die Quellsituation am Büchelberg in Aschaffenburg untersucht und das Verhalten zweier Quellen über einen Zeitraum von einem Jahr beobachtet (April 1999 bis März 2000). Die Messungen an den Quellen lassen – verbunden mit den geologischen bzw. hydrogeologischen Rahmenbedingungen – Aussagen über den Wassertransport in einem lokalen Einzugsgebiet innerhalb der hier anstehenden Kluftgesteine zu.

2.0. Geologisch-tektonischer Rahmen

Das Untersuchungsgebiet liegt am bayerischen Untermain am östlichen Stadtrand von Aschaffenburg. Es befindet sich innerhalb der westlichsten Ausläufer

des Spessart und gehört der geologisch-tektonischen Einheit des kristallinen Vorspessart an (Abb. 1).

Die Gesteine des kristallinen Vorspessart sind paläozoischer Herkunft und weisen damit ein weit höheres Alter als die umgebenden mesozoischen und tertiär-quartären Ablagerungen auf. Die ursprünglich sedimentären und im Zentralteil granitischen Gesteine wurden im Zuge der variszischen Gebirgsbildung tektonisch erfaßt und metamorph überprägt. Durch die Metamorphose wurden die Ausgangsgesteine in Glimmerschiefer, Metaquarzite sowie Para- und Orthogneise umgewandelt (HENNINGSEN & KATZUNG 1998). Die Einheiten des kristallinen Vorspessart streichen in Richtung SW-NE, so daß die Abfolge von NW nach SE aufgeschlossen ist. Im SE werden die Metamorphite noch von postvariszisch aufgedrungenen Dioriten ergänzt. Das Kristallin wird von überlagernden Sedimenten (z.B. Buntsandstein des Hochspessart im Osten, Kiese und Sande der Mainterrassen im Westen) umrandet. Die einzelnen Einheiten und deren örtliche Verbreitung sind in Abb. 1 dargestellt, eine topographische Übersicht des eigentlichen Untersuchungsgebietes liefert Abb. 2.

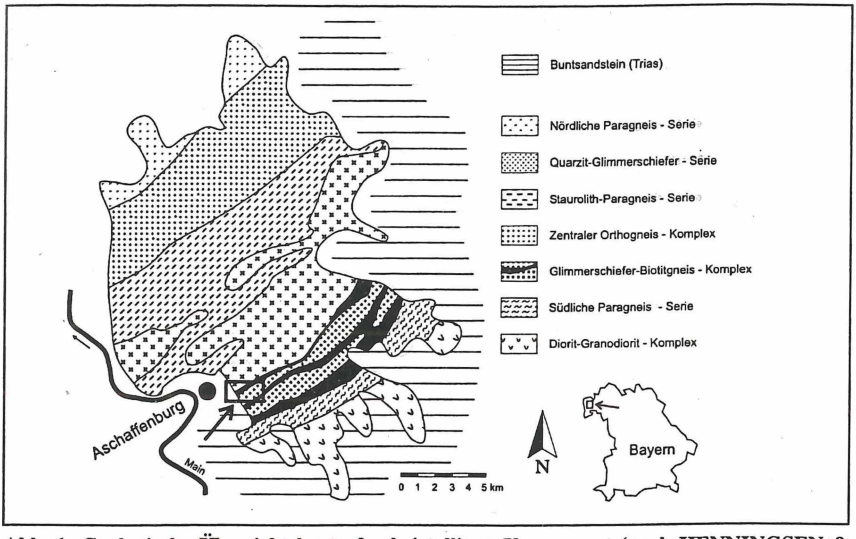

Abb. 1: Geologische Übersichtskarte des kristallinen Vorspessart (nach HENNINGSEN & KATZUNG 1998 und anderen Autoren) mit Lage des Untersuchungsgebietes am östlichen Stadtrand von Aschaffenburg.

Der Büchelberg gehört dem Glimmerschiefer-Biotitgneis-Komplex des kristallinen Vorspessart an. Die Bergkuppe selbst ist aus den kompakten Biotitgneisen aufgebaut, während an den Flanken im NW und SE sowie den angrenzenden

Tälchen der zwischengelagerte, leichter verwitterbare Glimmerschiefer ausstreicht. Nordwestlich des Büchelberg stehen am Godelsberg dann bereits die granitischen Zweiglimmergneise des zentralen Orthogneis-Komplex an. Alle Gesteine enthalten als Hauptgemengteile die Minerale Quarz, Orthoklas und natriumreichen Plagioklas (Feldspäte) sowie Biotit und/oder Muskovit (Glimmer).
Im westlichen Bereich des Büchelberg und entlang des Kühruhgraben werden die Metamorphite von bis zu mehreren Metern mächtigen quartären Ablagerungen überdeckt. Sie bestehen aus Hang- und Terrassensanden mit Kieseinschaltungen und Tonlinsen (WEINELT 1962).

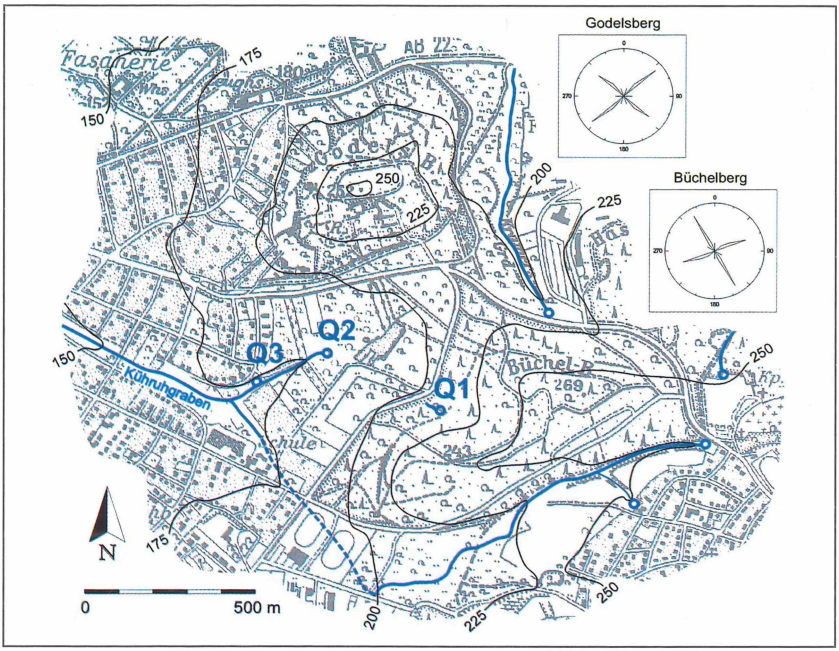

Abb. 2: Topographische Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes. Neben den hydrologischen Gegebenheiten (Quellen, oberirdische Entwässerungswege) ist auch die Häufigkeitsverteilung der tektonischen Trennflächen (Kluftrosen) für Godelsberg und Büchelberg angegeben.

Im Zuge tektonischer Ereignisse wurden die Festgesteine des kristallinen Vorspessart auch nach der variszischen Metamorphose noch mechanisch beansprucht, was die interne Ausbildung einer intensiven Klüftung zur Folge hatte. So existieren heute zwei ausgeprägte Trennflächensysteme senkrecht stehender

Klüfte mit einer Streichrichtung in NW-SE und NE-SW. Diese beiden Systeme sind auch im Untersuchunggebiet mit einer hohen Kluftdichte vorherrschend (siehe Kluftrosen für Messungen am Godelsberg und Büchelberg in Abb. 2). Der geringe Kluftabstand im Dezimeter-Bereich ist mit dem kompetenten Charakter der Metamorphite begründet, der ein äußerst sprödes Bruchverhalten bewirkte.
Beide Trennflächensysteme bestehen aus Extensionsklüften und Abschiebungen, sind also durch eine Dehnung des Gesteinsverbandes entstanden (Weinelt 1962). Ein weiteres Anzeichen für den Extensionscharakter sind basische Gesteine, die in die enlasteten Gneise eingedrungen sind und als NE-SW verlaufende Pegmatitgänge auch den Büchelberg durchziehen. Zusätzlich dazu existieren im Untersuchungsgebiet morphologische Strukturen, welche als tektonische Schwächezonen im Gestein gedeutet werden können.

Neben der tektonischen Beanspruchung und Überprägung sind die Gesteine auch durch Verwitterung v.a. der Feldspäte verändert worden. Diese Alteration des Gesteins vollzieht sich hauptsächlich oberflächennah, kann aber entlang geschwächter Gesteinsbereiche wie etwa an größeren Klüften oder Zerrüttungszonen bis in größere Tiefe angreifen (10er Meter). Übrig bleiben Residualsedimente aus Quarz und Glimmer sowie Tonminerale aus der Feldspatverwitterung. So bestehen weite Teile des kristallinen Vorspessart in den obersten Dezimetern bis Metern aus einer sandigen Verwitterungsdecke und in Hangfußbereichen aus verlehmten Ablagerungen.

3.0. Hydrogeologische Grundlagen

In den Untergrund infiltriertes Niederschlagswasser durchsickert die ungesättigte Bodenzone bis zum wassergesättigten Bereich und trägt damit zur Neubildung des örtlichen Grundwassers bei. Vom Eintritt in die gesättigte Zone führen Fließwege zu topographisch niedriger gelegenen Bereichen. Quellen sind die Austrittsorte der gesättigten Zone, befinden sich also dort, wo der Grundwasserspiegel die Geländeoberfläche schneidet. Je nach Art des Gesteins und der Entfernung zwischen dem Grundwasseraustritt und dem ihn speisenden Einzugsgebiet sind Verweilzeiten des Wassers im Untergrund von wenigen Stunden bis Jahrtausenden möglich. Häufig sind jedoch Fließgeschwindigkeiten von einigen Metern pro Tag zu beobachten.

Die hydrogeologische Wirkungsweise des im Untergrund anstehenden Gesteins hängt stark von dessen Aufbau und Eigenschaften ab. So bestehen die wasser-

wirksamen Hohlräume im Untergrund entweder aus intergranularen Poren (Porengrundwasserleiter) oder aus Klüften (Kluftgrundwasserleiter), welche in karbonatischen Gesteinen noch durch chemische Lösung erweitert sein können (Karstgrundwasserleiter). Während Porengrundwasserleiter an Lockergesteine wie etwa Kiese oder Sande gebunden sind, kommen Kluft- und Karstgrundwasserleiter ausschließlich in Festgesteinen vor.

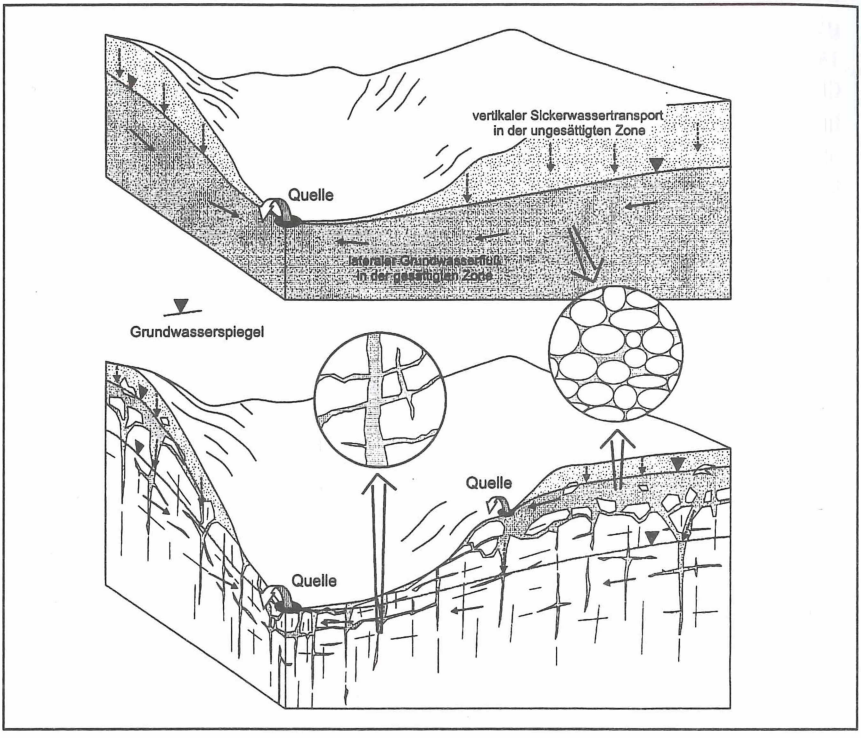

Abb. 3: Schematische Darstellung eines Porengrundwasserleiters mit homogenen Fließverhältnissen (oben) und eines heterogenen Kluftgrundwasslereiters (unten). Im Kluftgestein kann sich durch Verwitterungs- und Auflockerungsprozesse eine poröse Deckschicht ausbilden. Während das Wasser im Porenmedium gleichmäßig zwischen den Einzelnkörnern verteilt ist, fließt es im geklüfteten Medium auf diskreten Bahnen entlang hydraulisch wirksamer Trennflächen (Mitte).

Abb. 3 verdeutlicht den Unterschied zwischen einem Poren- und einem Kluftmedium:
Beim Transport im porösen Medium fließt das Wasser zwischen den Einzelkörnern entlang der zusammenhängenden Poren. Die Durchlässigkeit des Gesteins hängt dann im Wesentlichen von der Größe der Poren und damit der Korn-

größenverteilung des Sediments ab. Wegen der homogenen, relativ engmaschigen Hochraumverteilung verfügen Porengrundwasserleitern oft über vergleichsweise geringe Fließgeschwindigkeiten und ein hohes Wasserspeichervermögen. Die von ihnen gespeisten Quellen zeigen deshalb meist eine recht gleichmäßige Wasserschüttung.
Im Gegensatz dazu werden im Kluftgestein die Hohlräume hauptsächlich durch die Trennflächen im Gestein gebildet. Diese Wasserwegsamkeiten sind ungleichmäßig über das Gestein verteilt. In einem solchen heterogenen System dienen als entwässernde Strukturen vor allem größere Klüfte oder Störungszonen, an denen das Gestein stärker beansprucht und demnach aufgelockerter ist. Kluftgrundwasserleiter können je nach dem Grad der Heterogenität unterschiedliche Eigenschaften aufweisen (POCHON & ZWAHLEN 2002), jedoch sind oft schnelle Fließbewegungen und geringe Speicherfähigkeiten und demnach starke Schüttungsschwankungen an den Kluftquellen zu beobachten.

Da Kluftgrundwasserleiter ihre hydraulische Leitfähigkeit vor allem über die Trennflächen erfahren, kommt deren Ausbildung eine besondere Bedeutung zu. Wichtige Faktoren sind u.a. die räumliche Dichte der Trennflächen, deren Öffnungsweite und die Verbindung zueinander (GLA 1994). Während einzelne Klüfte keine große hydraulische Bedeutung besitzen, stellen Kluftsysteme oder Zonen mit einem erweiterten Zerrüttungsbereich für die hydrogeologische Erkundung wichtige Aufnahmemerkmale dar (KARRENBERG 1981).
In metamorphen Gesteinen ist die Charakteristik des Trennflächengefüges im Wesentlichen von der Tektonik geprägt. Dabei sind klaffende Extensionsklüfte hydraulisch deutlich wirksamer als etwa Verschiebungsklüfte. Außerdem sind die Trennflächen umso bedeutender, je näher sie an der Geländeoberfläche liegen, da dort Entlastungs- und Verwitterungsprozesse am stärksten angreifen. Sedimentäre Trennflächen – wie Schicht- und Bankungsfugen – spielen im metamorphen Gestein keine Rolle.

Grundwasserlandschaften geklüfteter Kristallingesteine verfügen oft über eine deutliche Verwitterungzone, die dann selbst als Porengrundwasserleiter dient, häufig mit dem unzersetzten Gestein als Liegendstauer (vgl. Abb. 3 unten). Auch im Untersuchungsgebiet wurde im obersten Bereich der Gneise eine porösen Verwitterungsdecke vorgefunden. Im kristallinen Vorspessart werden zahlreiche gering ergiebige Quellen (0,1-0,3 l/s) von einer solchen Auflockerungszone gespeist, die an durch Täler eingeschnittenen Bergkuppen kleine Einzugsgebiete entwässern (ANDRES & MATTHESS 1962). Das Festgestein selbst ist nach ANDRES & MATTHESS (1962) allerdings wegen des geringen Speichervolumens trotz verhältnismäßig hoher Niederschläge und einer hohen Quell-

dichte arm an Kluftwasser und der kristalline Vorspessart deshalb ein ausgesprochenes Wassermangelgebiet.

4.0. Hydrologischer Überblick

Der Büchelberg ist größtenteils bewaldet und besteht nur in seinen talwärtigen Bereichen aus Wiesenflächen. Er erstreckt sich über eine Fläche von ca. 1 km2 in einer Höhenlage zwischen etwa 170 m und 270 m ü. NN. Nach Westen fällt das Gelände in Richtung der Mainebene ab, im Osten schließen sich weitere Erhebungen des Vorspessart an.

Am Büchelberg treten sechs verschiedene Quellen aus (Abb. 2), die sich bereits aufgrund ihrer topographischen Lage in zwei Gruppen einteilen lassen. Vier Quellen befinden im höhergelegenen Bereich, die zwei anderen am westlichen Fuße der Bergkuppe. Um die durch die Lage bedingten Unterschiede der Quellen zu erfassen und um damit ein generelles hydrogeologisches Modell des Büchelberg zun erstellen, wurde aus beiden Gruppen je eine Quelle für weiterführende hydrogeologische Untersuchungen ausgewählt (Q1 und Q2). Beide Quellen liegen am Westhang des Büchelberg und sind nur etwa 400 m voneinander enfernt (Abb. 4).

Die Quelle Q1 tritt in bewaldetem Gebiet an einer kleinen Quellnische aus der Verwitterungszone der Biotitgneise aus. Sie führt als perennierende Quelle das ganze Jahr über Wasser, jedoch mit einer durchgehend sehr geringen Schüttung. Das Quellgerinne versickert bereits nach einigen 10er Metern Fließstrecke entlang des Hanges wieder vollständig.
Dagegen erreicht die tieferliegende Quelle Q2 deutlich höhere Schüttungen, fällt jedoch zeitweise trocken und ist somit intermittierend. Sie liegt etwa 30 Höhenmeter unterhalb von Q1 am Ende einer von ESE kommenden morphologischen Rinne. Der Wasseraustritt besteht aus einem Quelltopf von etwa 1,5 m Durchmesser (Abb. 5), dessen sandiger Boden von aus dem Untergrund emporsprudelndem Wasser aufgewirbelt wird. Unterhalb des Sandes steht in ca. 40 cm Tiefe festes Gestein an. Je nach Schüttungsstärke kann sich der konkrete Wasseraustritt innerhalb des Quelltopfes verlagern.
Im Bachbett des von Q2 abrinnenden Wassers kommt es etwa 150 m unterstromig von Q2 noch zu einem perennierenden diffusen Grundwasseraustritt (Q3), der die tiefstgelegene Quelle des Untersuchungsgebietes darstellt. Das Bachbett findet seinen Fortsatz im Kühruhgraben, der hier die oberirdische Entwässerungsbahn – den lokalen Vorfluter – bildet.

Als Untersuchungsgrundlage kann angenommen werden, daß im Bereich dieser drei Quellen die unterirdische Entwässerung des Gebietes insgesamt nach Westen gerichtet ist, da dies der vorherrschenden Morphologie entspricht und sich dort auch die tiefergelegenen Quellen und der Vorfluter befinden. Daß die tieferliegende Quelle Q2 trockenfällt, während die höhergelegene Q1 durchgehend Wasser führt, zeigt bereits, daß beide Quellen auf unterschiedliche Grundwasserspeicher zurückgreifen.

Abb. 4: Lage der Quellen Q1 und Q2 am Westhang des Büchelberg (Blick vom Godelsberg in Richtung Süden). Q2 befindet sich am talwärtigen Ende einer von ESE kommenden morphologischen Rinne.

Abb. 5: Quelltopf des Wasseraustritts Q2 bei erhöhter Schüttung. Durch den Überlauf des Beckens bildet sich der Quellbach (nach W).

5.0. Untersuchung des Quellverhaltens

5.1. Quellschüttungen

Quellschüttungen werden hauptsächlich durch die Eigenschaften des Grundwasserleiters, durch die Größe des Einzugsgebietes, durch die Höhe der Grundwasserneubildung und durch die Art des Quellaustritts bestimmt. Schwankungen in der Schüttung sind auf ein Auffüllen des Grundwasserleiters nach Niederschlägen bzw. auf ein Leerlaufen während niederschlagsarmer Zeiten zurückzuführen und spiegeln dessen Durchlässigkeit und Speichereigenschaften wider. Der Schüttungsgang muß stets im Zusammenhang mit den örtlichen hydrologischen Daten gesehen werden.

Im Untersuchungszeitraum wurden die Quellen Q1 und Q2 regelmäßig beobachtet und mindestens einmal monatlich wurde ihre Wasserschüttung bestimmt. Da eine präzise Messung nicht möglich war, wurden jeweils lediglich Schüttungsbereiche angegeben. Für Q2 entsprechen sie Werten von < 1 l/s, 1-2 l/s und > 2 l/s. Da Q2 auch trockenfallen kann, existiert hier ebenfalls der Wert 0 l/s. Q1 weist eine durchgehend sehr geringe Wasserführung stets im Bereich

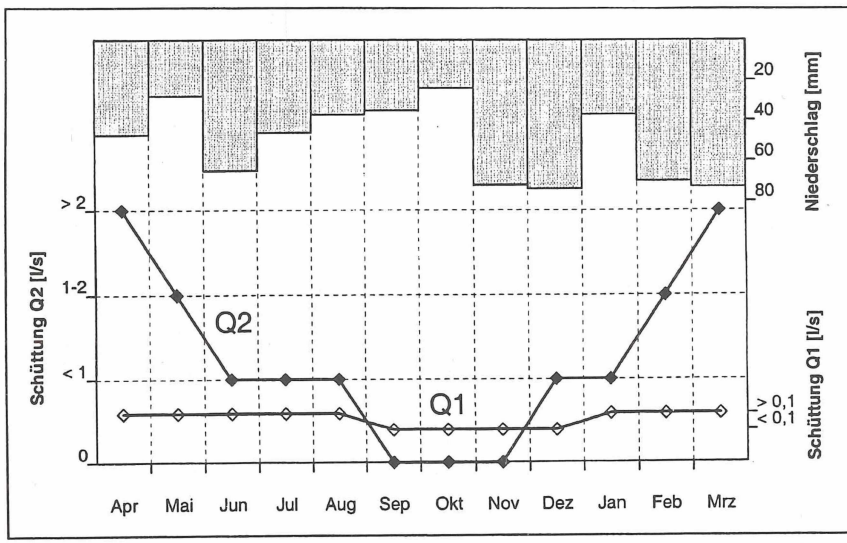

Abb. 6: Zeitlicher Gang der monatlich gemessenen Quellschüttungen Q1 und Q2 von April 1999 bis März 2000 im Vergleich zu den Monatssummen des Niederschlags. Die Niederschlagsdaten wurden außerhalb des Untersuchungsgebietes erhoben (Daten des Wasserwirtschaftsamtes Aschaffenburg, Meßstation Aschaffenburg, 110 m ü. NN) und sind deshalb in diesem Zusammenhang nur qualitativ zu verstehen.

von 0,1 l/s auf. Jedoch wurden geringe saisonale Schwankungen festgestellt, weshalb die Schüttungswerte in < 0,1 l/s und > 0,1 l/s unterteilt wurden.
Die Niederschlagsverteilung ist im Untersuchungsgebiet in der Regel durch ein Sommer- und ein Wintermaximum gekennzeichnet (ANDRES & MATTHESS 1962), mit einer jährlichen Niederschlagshöhe von etwa 750 mm. Jedoch kommt es während der Vegetationszeit aufgrund der hohen Verdunstung kaum zu einer nennenswerten Grundwasserneubildung, die somit auf das Winterhalbjahr mit niedrigeren Temperaturen und einer größeren Niederschlagsmenge beschränkt ist (MATTHESS & UBELL 1983). In Abb. 6 sind die monatlich bestimmten Quellschüttungen und parallel dazu die Monatssummen der Niederschläge dargestellt.

Für die Quelle Q2 sind starke jahreszeitliche Variationen mit einem Schüttungsmaximum im Frühling und einem Minimum im Herbst zu erkennen. Die Schüttungsabnahme führte bis zum Trockenfallen der Wasserstelle in den Monaten September, Oktober und November 1999. Q2 fing erst wieder im Dezember als Folge der einsetzenden Herbst- und Winterniederschläge und der sinkenden Verdunstungsrate an zu schütten, mit einem deutlichen Anstieg bis auf etwa 4 l/s im März 2000. Die hohe Schüttungsvariabilität der Quelle deutet an, daß die Speicherfähigkeit des alimentierenden Gesteins relativ gering und das durch Niederschläge angesammelte Grundwasser relativ schnell wieder aufgebraucht ist. An Q2 wurde im Jahresmittel etwa 1 l/s gefördert, also im Untersuchungsjahr insgesamt ungefähr 30.000 m3.
Q1 weist demgegenüber viel kleinere Schüttungen nicht über 0,2 l/s mit einer geringen Variabilität auf. Dies ist ein Anzeichen für eine bessere Speicherfähigkeit des entsprechenden Grundwasserleiters, welche eine zeitlichen Streckung des Grundwasservorrats ermöglicht. Die mittlere jährliche Schüttung beträgt ca. 0,1 l/s, was einer Jahressumme von etwa 3.000 m3 entspricht. Für Q2 steht folglich trotz des mehrmonatigen Trockenfallens der Quelle ein 10 mal größeres Wasserreservoir als für Q1 zur Verfügung.
Der Schüttungsgang der Quelle Q3 konnte wegen der diffusen Art des Wasseraustritts nicht regelmäßig bestimmt werden. Jedoch war auch hier ein Schüttungsanstieg im Winter erkennbar, wenn auch signifikant später als an Q2. Dabei dehnt sich die Austrittszone umso weiter hangaufwärts aus, je höher die Schüttung ist. Insgesamt zeigt die perennierende Quelle eine weit geringere Variabilität als Q2. Der Jahresmittelwert der Schüttung liegt grob geschätzt bei etwa 1 l/s.

Sichere Angaben zur zeitlichen Verzögerung zwischen einzelnen Niederschlagsereignissen und einem Ansprechen der Quellen und damit Abschätzun-

gen zur mittleren Verweilzeit des Wassers im Untergrund konnten mit den vorliegenden Daten nicht gemacht werden.

5.2. Physikalisch-chemische Wasserparameter

Zeitgleich mit den Schüttungsmessungen wurden an den beiden Quellen Q1 und Q2 auch die physikalisch-chemischen Parameter Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert sowie Sauerstoffgehalt das Wasser aufgenommen. Die Bestimmung erfolgte direkt vor Ort mittels kalibrierter Meßsonden.

Die Quellwassertemperatur kann unter Berücksichtigung der Lufttemperatur die hydrodynamischen Verhältnisse während der Aufnahmezeit repräsentieren. So fallen etwa bei flachgründiger Wasserbewegung Oberflächeneinflüsse stärker ins Gewicht als bei tiefgründigem Grundwasserfluß. Je tiefer der unterirdische Abstrom, desto konstanter verhält sich die Temperatur des Grundwassers. Sie liegt dann ungefähr im Bereich der mittleren jährlichen Lufttemperatur des Untersuchungsgebietes.
Die Quelltemperaturen von Q1 und Q2 korrelieren zeitlich mit den saisonalen, wie auch den täglichen Schwankungen der Lufttemperatur (Maxima im Som-

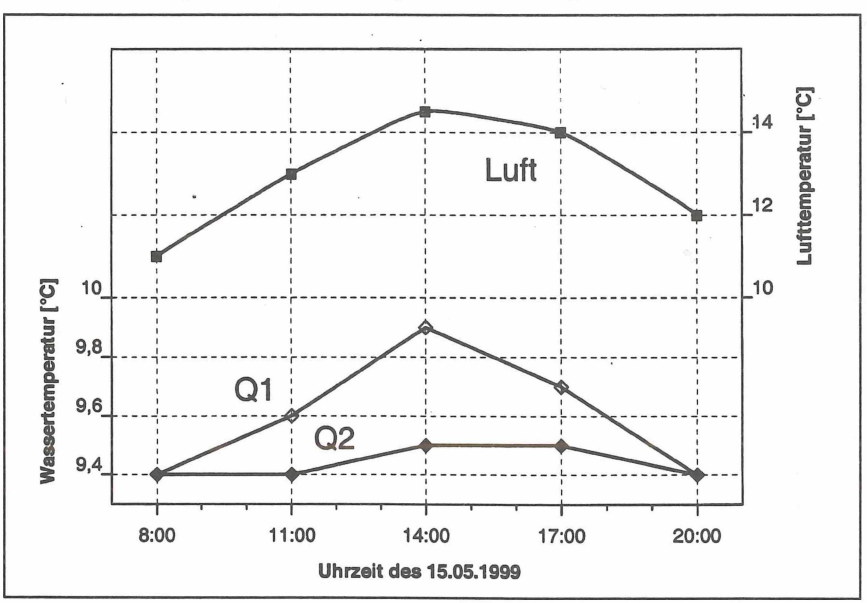

Abb. 7: Tagesgang der Temperatur der Quellwässer Q1 und Q2 am 15.05.1999 im Vergleich zur örtlichen Lufttemperatur.

mer und Mittags). Jedoch zeigt Q1 gegenüber Q2 in beiden Fällen einen weit ausgeprägteren Temperaturgang. Zur Verdeutlichung dieser Sachverhalts wurde am 15.05.1999 der Gang der Tagestemperatur aufgenommen, welcher in Abb. 7 dargestellt ist. Während Q2 vom Temperaturanstieg im Laufe des Tages nur gering beeinflußt wird, ist an Q1 ein mit der Lufttemperatur nahezu synchroner Verlauf der Wassertemperatur zu erkennen, obwohl Q1 im schattigen Wald liegt. Daraus läßt sich ablesen, daß Q1 speisendes Grundwasser recht oberflächennah fließt, während an Q2 Wasser austritt, das tiefer liegende Wasserwegsamkeiten nutzt und somit nur geringe Oberflächeneinflüsse aufweist.

Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit erlaubt eine erste grobe Einstufung von Quellwässern im Gelände. Sie charakterisiert qualitativ die Summe der elektrolytisch gelösten Stoffe des Wassers. Bei Grundwasser entspricht die elektrische Leitfähigkeit in µS/cm in etwa dem Grad der Mineralisierung in mg/l (HÖLTING 1996). Für Gneise und Glimmerschiefer sind aufgrund der nur langsamen Zersetzung laut MATTHESS (1994) in den entsprechenden Wässern nur geringe Lösungsinhalte von meist weniger als 300 mg/l zu erwarten.
Die Wässer von Q1 und Q2 zeigten bei allen Einzelmessungen voneinander abweichende Werte für die elektrische Leitfähigkeit, ebenso wie die sporadisch durchgeführten Messungen an Q3. Dies deutet darauf hin, daß die drei Quellen aus unterschiedlichen Wasserspeichern gespeist werden. Über alle Messungen gemittelt besitzen Q1 und Q2 dagegen eine ähnliche elektrische Leitfähigkeit von etwa 220 µS/cm, mit einer hohen Jahresschwankungsbreite von 190 µS/cm an Q1 bzw. 120 µS/cm an Q2. Aufgrund der großen Beprobungsintervalle ohne Berücksichtigung einzelner Niederschlagsereignisse sind zeitliche Tendenzen in der Mineralisierung der Quellwässer nicht zu erkennen.
In seiner natürlichen chemischen Beschaffenheit wird das Grundwasser hauptsächlich von den Gesteinen bestimmt, die es durchfließt. Wässer aus silikatischen, kalkarmen Gesteinen beinhalten viel freie Kohlensäure und besitzen niedrige pH-Werte (ABKE et al. 1996). So reagierte das Quellwasser von Q2 bei den meisten Messungen leicht sauer mit einem Mittelwert von pH 6,8. Q1 zeigte dagegen stets höhere pH-Werte mit insgesamt leicht basischem Charakter (pH 7,2).
Der Sauerstoffgehalt ist an Q2 generell höher als an Q1 mit einem Mittelwert von 9,3 mg/l an Q2 im Vergleich zu 8,5 mg/l an Q1. Da Sauerstoff dem Grundwasser oft durch Verwirbelungen beim Fließen entlang bevorzugter Wasserwegsamkeiten zugeführt wird, könnte dies ein weiteres Anzeichen für ein heterogenes Gesteinsmedium sein, aus dem die Quelle Q2 ihr Wasser bezieht.
Für die untersuchten Quellen wurden keine hydrochemischen Analysen durchgeführt, jedoch liegen für das Untersuchungsgebiet Wasseranalysen aus dem

Jahr 1939 vor (NOLL 1953), u.a. für eine „Quelle am Fuße des Büchelberges", bei der es sich um Q2 handeln dürfte. Die Analysenergebnisse beschreiben ein gering mineralisiertes, sehr weiches Wasser mit einer Karbonathärte von nur 1,4 °dH und einer Gesamthärte von 1,7 °dH. Es entspricht dem Typus eines erdalkalischen, überwiegend sulphatischen Wassers mit höherem Alkaligehalt. Der verhältnismäßig geringe Gehalt an Hydrogenkarbonat würde zu den an Q2 gemessenen eher niedrigen pH-Werten passen.

6.0. Hydrogeologisches Modellkonzept

6.1. Grundwasserfluß

Durch die regelmäßige Beobachtung des Quellverhaltens von Q1 und Q2 konnte die Annahme bestätigt werden, daß beiden Quellen unterschiedlichen hydrogeologischen Grundbedingungen unterliegen:

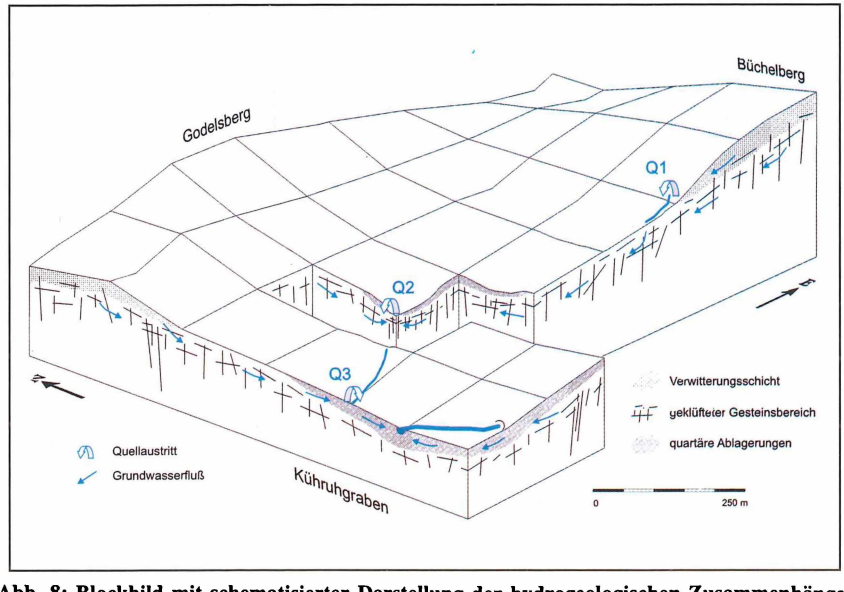

Abb. 8: Blockbild mit schematisierter Darstellung der hydrogeologischen Zusammenhänge im Bereich der Quellen Q1, Q2 und Q3 mit drei unterschiedlichen Fließsystemen: Im oberen Hangbereich (Q1) wird der Untergrund oberflächennah über die poröse Verwitterungsschicht der Metamorphite entwässert, während ein Teil des versickerten Wassers über tiefere Fließwege entlang erweiterter Klüfte die Quelle Q2 erreicht. Im Hangfußbereich stehen dann quartäre Lockersedimente an, welche den Wasseraustritt Q3 speisen und auf das Grundwasser als Drainage entlang des Kühruhgraben wirken. (Geländetopographie 3-fach überhöht).

Die Quelle Q1 wird aus einem flachgründigen Fließsystem gespeist und entwässert nur den obersten, porös ausgebildeten Verwitterungsbereich der Kluftgesteine. Die jährliche Gesamtschüttung von nur 3.000 m3 weist auf ein relativ kleines Einzugsgebiet hin. Trotzdem liefert Q1 auch in niederschlagsarmer Zeit konstant Wasser, was die gute Speicherfähigkeit des Porenmediums belegt. Diese Eigenschaften der Quelle entsprechen ihrer hohen Lage und dürften ebenso auf die drei anderen Quellen im oberen Bereich des Büchelberg (vgl. Abb. 2) zutreffen.
Die Quelle Q2 liegt dagegen an einem sehr tiefen Punkt des Untersuchungsgebietes. Sie erhält hauptsächlich Wasser aus einem Wasserspeicher mit geringeren Temperaturschwankungen und reagiert mit ihrer Schüttung stark auf die jahreszeitlichen Unterschiede in der Grundwasserneubildung. Sie wird demnach größtenteils aus einem tieferliegenden und heterogenen Medium geringer Speicherfähigkeit gespeist, nämlich dem geklüfteten Gesteinsbereich.

Aus den in dieser Untersuchung ermittelten Quelleigenschaften ergibt sich somit unter Einbeziehung der geologisch-morphologischen Rahmenbedingungen folgendes hydrogeologisches Gesamtbild drei ineinander übergehender Fließsysteme (Abb. 8):
Am Büchelberg wird das infiltrierte Niederschlagswasser zunächst in den höher gelegenen Bereichen durch die poröse Verwitterungsschicht der Metamorphite oberflächennah entwässert. Dieses als Zwischenabfluß zu bezeichnende Grundwasser speist die hoch gelegenen Quellen. Ein Teil das Wassers fließt jedoch nicht lateral den Quellen zu, sondern sickert tiefer, wo es an einzelnen aufgeweiteten Klüften und an zerrütteten Gesteinsbereichen als Kluftgrundwasser gesammelt wird. Der Porenkörper ist somit – entsprechend dem Schema in Abb. 3 unten – als schwebender Grundwasserleiter über dem Kluftgrundwasserleiter ausgebildet.
Innerhalb des geklüfteten Gesteinsbereiches existiert dann offenbar ein geeignetes Trennflächennetz miteinander in Verbindung stehender Klüfte, entlang derer das Wasser auf tieferen Fließwegen zirkulieren kann. Dieses Kluftsystem entwässert das Gebiet unterirdisch in Richtung des hydraulischen Gefälles, welches mit der Hangneigung nach Westen gerichtet ist. Der Wassertransport entlang dieser diskreten Fließwege erfolgt schneller als in der porösen Verwitterungsschicht. Im Hangfußbereich wird der Kluftgrundwasserleiter von teilweise gering durchlässigen quartären Ablagerungen bedeckt (örtliche Verbreitung siehe Abb. 10). Nur an Q2 steht hier das Kluftgestein wieder unbedeckt an, so daß hier bei ausreichend hohem Wasserstand der Austritt des Kluftwassers erfolgen kann. Bei einer zu geringen Grundwasserneubildung wird der Wasserspeicher des Kluftgesteins nicht genügend nachgefüllt. Dann kommt es aufgrund der

Heterogenität der Wasserwegsamkeiten und des damit raschen Leerlaufens der Gesteinshohlräume zu einer deutlichen Absenkung des Kluftwasserspiegels mit der Folge, daß Q2 trockenfällt. Zur Schüttung von Q2 trägt – wie die Abschätzung des Quelleinzugsgebietes in Kap. 6.2. nahelegt – wahrscheinlich auch versickertes Wasser vom Südhang des Godelsberg bei.
In Richtung Kühruhgraben nehmen die quartären Lockersedimente an Mächtigkeit zu. Sie sind hier offensichtlich grundwasserführend und können eine Drainagefunktion für das unterirdisch aus dem Untersuchungsgebiet abfließende Wasser übernehmen. In diesem unteren Bereich dürfte das Grundwasser aus den hier weniger erweiterten Klüften gänzlich in die poröse Talfüllung übertreten und dort mit dem Vorfluter in hydraulischem Kontakt stehen. Der Wasseraustritt Q3 – als tiefste Quelle des Untersuchungsgebietes – ist an diesen Porengrundwasserleiter gebunden (Abb. 9).

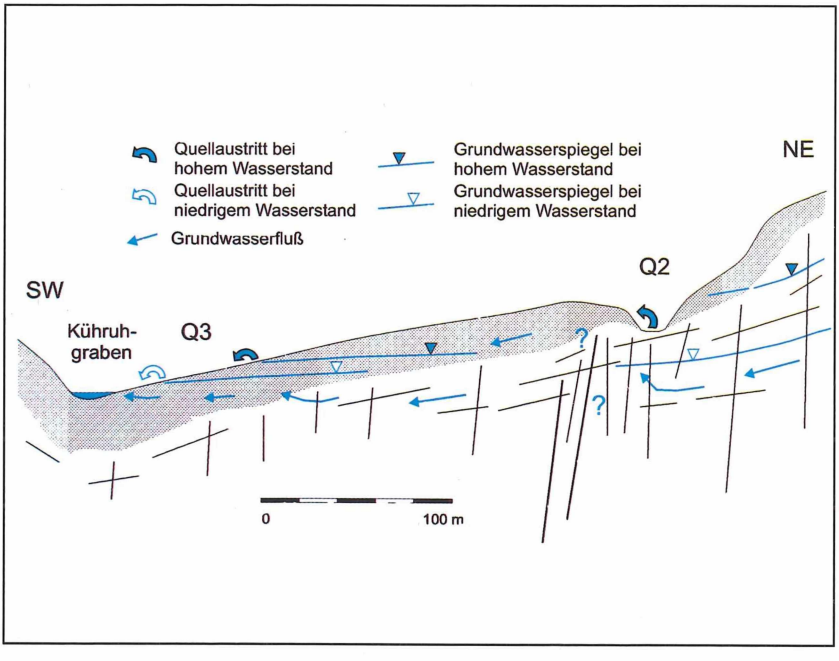

Abb. 9: Stark überhöhter, schematisierter Profilschnitt entlang der Quellen Q2 und Q3 mit Bedeckung des Kluftgrundwasserleiters durch sandig-schluffige Quartärablagerungen. Die genauen Wechselwirkungen zwischen Kluftgrundwasser und dem Lockermaterial sind nicht geklärt, jedoch ist im Bereich des Kühruhgraben eine Drainagefunktion der Talfüllung und eine Anbindung an den Vorfluter wahrscheinlich. Die Detailansicht verdeutlicht außerdem den Aufstieg des Kluftgrundwassers an Q2 und das Zustandekommen gespannter Verhältnisse bei hohem Wasserstand, eventuell begünstigt durch eine tektonische Verwerfung.

Q2 weist im Quellmechanismus die Besonderheit auf, daß das aussprudelnde Quellwasser hier offenbar unter Druck entweicht, der Druckwasserspiegel also über der Obergrenze des Kluftgrundwasserleiters liegt (Abb 9). Dies bedeutet, daß das Grundwasser hier lokal gespannt ist und die Deckschicht in diesem Bereich also wohl eher stauender als wasserführender Charakter besitzen. An Q2, wo diese Bedeckung fehlt, kann das Grundwasser aufsteigen und bei zunehmender Druckhöhe des Wassers nimmt auch die Schüttung der Quelle zu. Fällt Q2 trocken, ist der Druckwasserspiegel dort unter die Geländeoberfläche und damit auch unter die überlagernde Stauschicht gesunken, wodurch dann im Kluftgrundwasserleiter ungespannte Verhältnisse herrschen.
MATTHESS & UBELL (1983) weisen darauf hin, daß aufsteigende Quellen mit gespanntem Grundwasser in Festgesteinen oft an Störungszonen gebunden sind, welche als besser durchlässigere Aufstiegsbahnen dienen. In WEINELT (1962) ist eine NNE-SSW verlaufende tektonische Verwerfung in unmittelbarer Nähe von Q2 verzeichnet, die mit dem Quellaustritt in Zusammenhang stehen könnte. Bei einer Einteilung nach der geologischen Struktur kann man eine solche Quelle dann als Verwerfungsquelle bezeichnen.

Im Gegensatz zu Q2 fließt das Wasser an Q3 frei aus, wobei sich die Schwankungen des Grundwasserspiegels in der Höhe des Wasseraustritts bemerkbar machen (Abb. 9). Die Schüttung dieser Quelle setzt sich vermutlich aus einer Mischung von übertretendem Kluftwasser und dem Wasser zusammen, welches von oben direkt in das Lockermaterial infiltriert. Ob bereits im Bereich von Q2 Grundwasser aus dem Kluftgestein in die überdeckenden Quartärsedimente strömt und damit nur halbgespannte Verhältnisse vorliegen, läßt sich mit den vorhandenen Daten nicht aussagen. Jedoch dürfte der Anteil an Wasser, das im Einzugsgebiet von Q2 versickert, aber unterirdisch weiterfließt ohne an dieser Quelle auszutreten, eher gering sein.

6.2. Einzugsgebiete

Die Quelle Q2 schüttet im Durchschnitt etwa 1 l/s und damit pro Jahr eine Wassermenge von ca. 30.000 m3. Ihr Einzugsgebiet ist also ungefähr 10 mal größer als das der Quelle Q1. Es ist auch plausibel, daß bei tieferer topographischer Lage das Gebiet größer ist, das von der Quelle entwässert werden kann.

Um die Erstreckung der jeweiligen Einzugsgebiete grob abzuschätzen, kann eine Jahreswasserbilanz aufgestellt werden. Dafür ermittelt man auf Basis der jährlichen Niederschlags- und Verdunstungshöhen (N bzw. V) und unter

Berücksichtigung des oberirdischen Abflusses aus dem Einzugsgebiet (A) die Menge des infiltrierten Wasser pro m2 Geländefläche (= Grundwasserneubildung GWN). Damit errechnet man über die Jahresgesamtschüttung (Q) der Quelle die Fläche (F) des Einzugsgebietes ($F = Q / (N - V - A) = Q / GWN$). Insgesamt kann für das Untersuchungsgebiet ein relativ hoher Verdunstungsanteil angenommen werden, da sich das Gebiet durch einen hohen Waldbestand und durch teilweise gering durchlässige Böden auszeichnet. Im vorliegenden Fall werden auf Grundlage des Hydrologischen Atlas von Deutschland (BMU 2000) Werte von N = 750 mm und V = 550 mm angesetzt. Über das gesamte Jahr gesehen wird also ein Großteil des Niederschlagswassers durch Verdunstungsvorgänge aufgebraucht. Der oberirdische Abfluß kann im untersuchten Bereich aufgrund der Hanglage während der Niederschlagsereignisse bedeutend sein, weshalb die so abgeführte Wasserhöhe auf etwa 100 mm geschätzt wird. Dadurch ergibt sich im Untersuchungsgebiet eine jährliche Grundwasserneubildung von etwa 100 mm. Dies sind nur wenig mehr als 10 % des Niederschlags, was unter den herrschenden klimatischen Bedingungen jedoch nicht untypisch für Kristallingesteine ist.

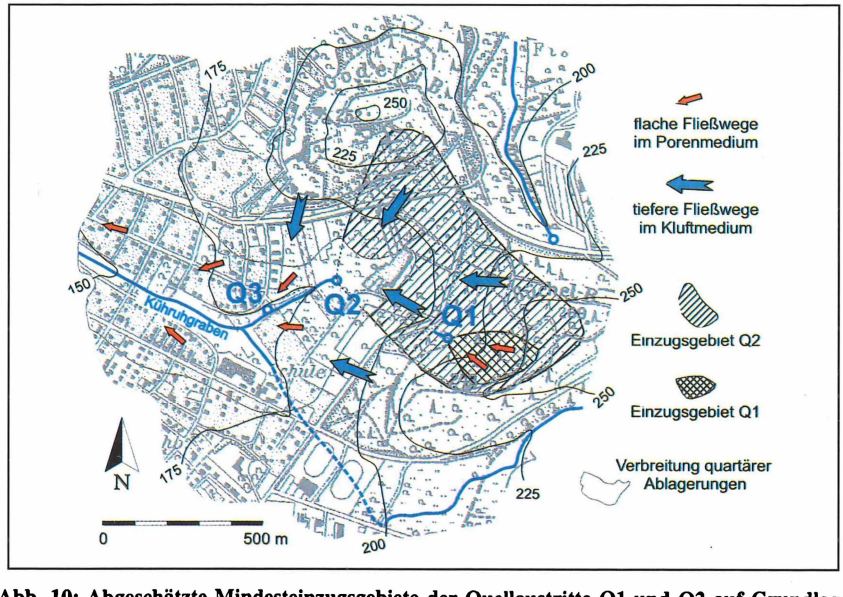

Abb. 10: Abgeschätzte Mindesteinzugsgebiete der Quellaustritte Q1 und Q2 auf Grundlage einer überschlägigen Jahreswasserbilanz und unter Berücksichtigung der örtlichen Geländemorphologie. Im oberen Hangbereich sowie am Hangfuß fließt das Grundwasser eher flachgründig in porösen Gesteinen, während dazwischen ein etwas tieferer Transport im Kluftgrundwasserleiter erfolgt. Der Kühruhgraben mit seiner quartären Talfüllung (Verbreitung entsprechend WEINELT 1962) entwässert das Untersuchungsgebiet ober- und unterirdisch.

Unter Ansetzung dieser Grundwasserneubildungsrate erhält man für Q1 (Q = 3.000 m3) ein Einzugsgebiet mit einer Größe von 0,03 km2. Dies ist ein Mindestwert, der nicht berücksichtigt, daß nicht das gesamte versickerte Wasser des Einzugsgebietes dieser Quelle zufließt, sondern ein Teil tiefer in den Kluftgrundwasserleiter sickert. Für Q2 (Q = 30.000 m3) erstreckt sich das Einzugsgebiet über eine Fläche von 0,3 km2. Unter Einbeziehung der örtlichen morphologischen Gegebenheiten ist die in Abb. 10 dargestellte Anpassung der Einzugsgebiete möglich. Q2 erhält dabei auch teilweise Wasser vom Südhang des Godelsberg, der dort über keine andere Entwässerungsmöglichkeit verfügt. Dagegen zählt der Nahbereich der Quelle nicht zu deren Einzugsgebiet, da das hier auftreffende Niederschlagswasser aufgrund der quartären Bedeckung nicht dem Kluftgrundwasserleiter zugeführt wird.
Das Wasser der Quelle Q2 fließt zusammen mit Q3 dem Bach des Kühruhgraben zu. Dieser übernimmt damit die oberirdische Entwässerung fast des gesamten Büchelberg sowie des südlichen Godelsberg. Der Verlauf des Vorfluters folgt der mit quartärem Material gefüllten Rinne des Kühruhgraben. Diese wirkt vermutlich drainierend auf das Grundwasser des umgebenden Kluftgesteins, nimmt dieses vollständig auf und ist somit auch der einzige Entwässerungsweg für das im Untergrund verbleibende Wasser. Die ober- und unterirdische Entwässerung erfolgt über diese Struktur gemeinsam nach Osten in Richtung der Mainebene.

7.0. Quellökologische Aspekte

Quellaustritte stellen ökologische Sonderstandorte und schützenswerte Biotope dar. Im Vergleich zu anderen Abschnitten eines Fließgewässers gewährleisten sie oft sehr konstante Wasserbedingungen und beheimaten aufgrund des langzeitigen Wasserdargebots vielfach seltene Pflanzen- und Wildtierarten bzw. dienen Letzteren als Laichplätze und Tränken.

Für ökologische Fragestellungen wird eine Einteilung von Quellen in drei Quelltypen vorgenommen (z.B. LfW 2001). An Sturz- oder Fließquellen (Rheokrene) tritt das Wasser am Hang aus dem Gestein aus und fließt mit relativ hoher Strömungsgeschwindigkeit direkt ab. In diese Quellgruppe kann Q1 eingestuft werden. Sumpf- oder Sickerquellen (Helokrene), zu denen Q3 gehört, sind dagegen weitflächiger und bilden eine diffuse, anmoorige Austrittszone, wodurch sie ökologisch sehr wertvolle Lebensräume ausbilden. Die dritte – eher seltene Gruppe – sind die Tümpelquellen oder auch Quelltöpfe (Limnokrene). An ihnen erfolgt der Grundwasseraustritt am Grund eines kleinen

Beckens, in dem sich das Wasser zunächst staut und dann über dessen Rand abfließt. Q2 ist ein Vertreter dieser Quellart (siehe Abb. 5), die durch das am Grund abgelagerte Sediment zahlreichen Kleinstlebewesen Lebensraum bietet. An Quellen des Büchelberg wurde bei biologischen Untersuchungen durch NOLL & STAMMER (1953) sowie BOBBE et al. (1996) eine Besiedlung durch unterschiedliche Lebewesen festgestellt (siehe auch LENK 1997). Jedoch zeigte sich auch, daß die dortige Tierwelt aufgrund mechanischer Zerstörung der natürlichen Quellaustrittsstelle (Rohrfassungen, Trittschäden etc.) oder in Folge von übermäßigem Nährstoffeintrag durch relative Artenarmut und geringe Individuendichte gekennzeichnet ist (BOBBE et al. 1996).

Maßnahmen, die Quellbereiche negativ beeinflussen, sind gemäß Art. 13d des Bayerischen Naturschutzgesetzes (BayNatSchG 1998) verboten. Zu vermeiden sind sowohl direkte Beeinträchtigungen der Quellen, als auch negative Einwirkungen innerhalb deren Einzugsgebiete. Dies geschieht mit dem Ziel, einerseits das ökologische Spektrum des Quellaustritts zu erhalten und andererseits dessen komplexes hydraulisches System nicht zu schädigen. Für die intermittierende Quelle Q2 muß ein solcher Schutz auch in Zeiten fortbestehen, in denen die Quelle vorübergehend kein Wasser führt.

8.0. Zitierte Literatur

ABKE, W., BERHEIDE, E. & POST, B. (1996): Beschaffenheit von Quellwässern im Spessart und im Vogelsberg und deren Beeinflussung durch saure atmosphärische Depositionen. – Vom Wasser, 86, 95-111; Weinheim.

ANDRES, G. & MATTHESS, G. (1962): Hydrogeologie. – In: WEINELT, W. Erläuterungen zur Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000, Blatt Nr. 6020 Aschaffenburg. – 217-230; München (Bayer. Geol. Landesamt).

BayNatSchG (Bayerisches Naturschutzgesetz) (1998): http://www.umweltministerium.bayern.de/bereiche/natur/natrecht/bayern.pdf

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2000): Hydrologischer Atlas von Deutschland. – Berlin.

BOBBE, T., DIRKSEN, M.T., SCHIEBEL, U. & WUNSCH, E. (1996): Quellkartierung des Stadtgebiets Aschaffenburg. – 44 S.; http://wabau.kww.bauing.tu-darmstadt.de/forschu/projekte/Elbe/Buhnen_Material_und_wir/MD/Quelle.pdf

GLA (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg) (1994): Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen. – Informationen 6/94, 114 S.; Freiburg.

HENNINGSEN, D. & KATZUNG, G. (1998): Einführung in die Geologie Deutschlands. – 244 S.; Stuttgart (Enke).

HÖLTING, B. (1996): Hydrogeologie. – 441 S.; Stuttgart (Enke).

KARRENBERG, H. (1981): Hydrogeologie der nichtverkarstungsfähigen Festgesteine. – 284 S.; Wien (Springer).

LENK, P. (1997): Die Gestreifte Quelljungfer (Cordulegaster bidentatus SÉLYS 1843) im Spessart. – Nachr. naturwiss. Mus. Aschaffenburg, 104, 35-38; Aschaffenburg.

LfW (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft) (2001): Grundwasser, der unsichtbare Schatz. – SpektrumWasser 2, 98 S.; München.

MATTHESS, G. (1994): Die Beschaffenheit des Grundwassers. – Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 2, 499 S.; Berlin (Gebr. Bornträger).

MATTHESS, G. & Ubell, K. (1983): Allgemeine Hydrogeologie. – Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 1, 438 S.; Berlin (Gebr. Bornträger).

NOLL, W. & STAMMER, H.J. (1953): Die Grundwasserfauna des Untermaingebietes von Hanau bis Würzburg mit Einschluß des Spessarts. – Mitt. naturwiss. Mus. Aschaffenburg, 6, 77 S.; Aschaffenburg.

POCHON, A. & ZWAHLEN, F. (2002): Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen in Kluftgesteinen. – Praxishilfe des schweizerischen Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL); Bern (in Druck).

WEINELT, W. (1962): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25.000, Blatt Nr. 6021 Haibach. – 246 S.; München (Bayer. Geol. Landesamt).

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Geol. Michael Sinreich
Kettererstraße 6
63739 Aschaffenburg

michael@sinreich.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Nachrichten des Naturwissenschaftlichen Museums der Stadt Aschaffenburg

Jahr/Year: 2002

Band/Volume: 106_2002

Autor(en)/Author(s): Sinreich Michael

Artikel/Article: Grundwasser aus geklüfteten Gesteinen an Quellen des Büchelberg in Aschaffenburg, Bayern 153-173