

Hydrogeologie der Rabensteinschuppe am bayerischen Kalkalpennordrand

Hydrogeology of the Rabensteinschuppe in the Northern Alps of Bavaria

E. WAGENHOFER¹

¹Zusammenfassung der Masterarbeit von Eva-Maria Wagenhofer, erschienen 2017 am Institut für Geographie und Geologie, NAWI Salzburg, 5020 Salzburg; em.wagenhofer@gmail.com

Zusammenfassung

Um die Bedingungen für die Machbarkeit einer Neuerschließung einer Mineralwassernutzung zu beurteilen, wurde ein 6 km² umfassendes Gebiet im Bereich des süddeutschen Kalkalpennordrandes hydrogeologisch untersucht. Im Zuge dessen wurde eine geologisch-hydrogeologische Detailkartierung des Explorationsgebietes im Maßstab 1:10 000 erstellt. Mit Hilfe eines geologischen Profils konnten strukturgeologische Daten in die Tiefe interpretiert und der, für die Wasserführung relevante, Bereich auf einen engständig verschuppten Bereich im östlichen Teil des Arbeitsgebietes reduziert werden. Auch die Trockenwetterfalllinie einer Quelle in diesem Bereich lässt auf einen recht ergiebigen Aquifer, mit gutem Rückhaltevermögen im Einzugsgebiet, schließen. Für die Wasserführung erwies sich der, im Gebiet stark geklüftete und in unverkarsteter Form auftretende, Hauptdolomit als vielversprechende Lithologie. Die hydrochemischen Analysen von 15 ausgewählten Quellen ermöglichten die Wässer nach ihrer Herkunft zu klassifizieren und ihre Trinkwasserqualität zu beurteilen. Zudem ließ sich daraus ein Einfluss kurzfristig in den Aquifer zuströmender Oberflächenwässer nachweisen. Die Tritium-Isotopenanalytik ergab die Durchmischung rezenter Niederschlagswässer mit einer älteren Komponente. Mit Hilfe einer Wasserbilanz wurde die nutzbare Grundwasserneubildung für das potentielle Explorationsgebiet auf 6 l/s quantifiziert. Unter Berücksichtigung der Zugänglichkeit wurden zwei mögliche Brunnenstandorte vorgeschlagen. Für beide gilt es, vor der Brunnenerrichtung die strukturgeologisch-hydrogeologische Interpretation, die diesem Vorschlag zu Grunde liegt, durch den Einsatz geophysikalischer Methoden zu prüfen. Bei der Erschließung sind bestehende Wasserrechte im Einzugsgebiet zu berücksichtigen.

Keywords: Mineralwassererschließung, Kalkalpennordrand, Hauptdolomit

Geographie und Geologie

Das untersuchte Gebiet befindet sich am Kalkalpennordrand im deutschen Bundesland Bayern zwischen den Gemeinden Siegsdorf und Ruhpolding (Abbildung 1). Die ca. 6 km² große, dicht bewaldete Fläche wird durch drei Vorfluter begrenzt. Südlich des Hargaßberges, welcher mit einer Höhe von 1210 m auch den höchsten Punkt des Arbeitsgebietes darstellt, wird der untersuchte Bereich bis zum West – Ost verlaufenden Wundergraben ausgedehnt. Im Westen und Norden bildet der Dießelbach den Abschluss. Im Osten verläuft die Weiße Traun, welche auch als großräumiger Vorfluter anzusehen ist, auf ca. 650 m von Süd nach Nord. Zentral gelegene Erhöhungen sind der

Neustadler Berg (1078 m) und der Rabenstein (924 m). Aufgrund zahlreicher Gräben kann das Gebiet als morphologisch zerfurcht angesehen werden. Nordwestlich des Rabensteins wird das Gebiet auf ca. 800 m einheitlich flacher. Der Großteil des Untersuchungsgebietes liegt in der großtektonischen Einheit Bajuvarikum am Kalkalpennordrand. Deckentektonisch ist der Bereich der tiefgelegenen Allgäudecke zuzuordnen (Tollmann, 1976). Verschuppungen von triassischen Raibler Rauwacken, Hauptdolomit und Kössener Kalken, sowie geringmächtige Einschaltungen der roten Juramergelkalke prägen das Gebiet. Der Übergang zur Flyschzone mit Konglomeraten der Tristelschichten und der bunten Mergelserie folgen im nördlichen Teil des Gebietes.

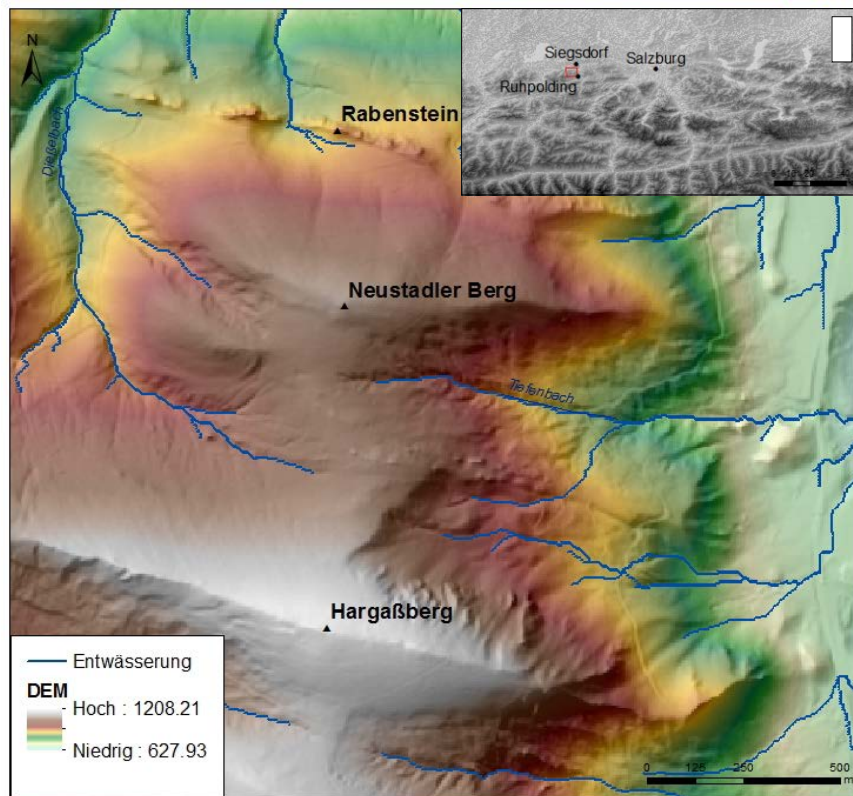


Abbildung 1: Geographischer Überblick des untersuchten Gebietes.

Methodik

Zur Beurteilung der Qualität und Quantität von, zur Mineralwassernutzung, geeigneten Wässern im Gebiet wurden hydrogeologische, struktureologische, hydrochemische und hydrologische Methoden herangezogen. Dies umfasste eine Detailkartierung im Maßstab 1:10 000 mit der Aufnahme lithologischer Einheiten im Gelände, sowie deren hydrogeologische Charakterisierung. Mit Hilfe von im Gelände aufgenommenen Schichtungs- und Klufflächen wurden anhand eines geologischen Profils und der Auswertung mit dem Programm Tectonics FP die Lagerungsverhältnisse der Gesteine geklärt, potentielle Aquifere identifiziert und mögliche Wasserwege rekonstruiert. Für die Auswertung der Trennflächengeometrie standen insgesamt 508 Messdaten zur Verfügung. Der sehr stark verwitterte Hauptdolomit ermöglichte die Ansammlung eines großen Datensatzes von 387 Messungen der Klüfte im Gelände. Um die tektonisch bedingten Großklüfte von den im verwitterungsanfälligen Hauptdolomit häufig sekundär entstandenen Klüften

zu unterscheiden, wurden die, der vergleichsweise verwitterungsresistenten Kössener Kalke und der Raibler Rauwacke separat ausgewertet und miteinander verglichen.

Rund 50 Quellen wurden mit GPS verortet und mit dem Programm ArcGIS auf die geologische Karte übertragen. Die Parameter elektrische Leitfähigkeit und Temperatur der Quellwässer wurden mit dem Feldgerät TechPro der Firma MyronL ermittelt, die Schüttungsmengen mittels Gefäßmessung bestimmt. 15 Quellen mit einer Mindestschüttung von 0,25 l/s und einer elektrischen Leitfähigkeit von mindestens 250 µS/cm wurden für hydrochemische Untersuchungen ausgewählt. Nach einem Starkregenereignis im August 2016 wurde die erste Probenahme durchgeführt. Die zweite Probenahme erfolgte nach einer Trockenperiode im Oktober 2016. Zu diesem Zeitpunkt waren einige Quellen bereits ausgetrocknet, so dass nur noch 8 Quellen beprobt werden konnten. Die Proben wurden am Institut für Hydrochemie der TU München analysiert.

Zur Bestimmung der Verweilzeit der Wässer im Untergrund mittels Tritiumanalytik (Moser & Rauert, 1980) wurden 10 Quellen nach einer Trockenperiode Ende September 2016 beprobt und von der IAF-Radioökologie GmbH in Radeberg (GER) analysiert. Als Referenzwerte wurden jene der 23 km entfernten ANIP (Austrian Network of Isotopes in Precipitation) Messstelle IN50000039 Salzburg Flughafen herangezogen.

Von Mai bis Oktober 2016 wurde ein Datenlogger in einer vorhandenen Quelfassung (Quelle 59) auf Talebene südöstlich des Neustadler Berges installiert. Dieser lieferte Daten zu Pegelstand und elektrischer Leitfähigkeit im 15-Minuten-Intervall. Durch Gefäßmessungen an 12 Stichtagen konnte die Schüttung mit Hilfe einer Abflusskurve (Wechmann, 1964) aus den Pegelständen interpoliert und der zeitliche Zusammenhang zwischen Niederschlagsereignis und Abflussmenge geklärt werden. Durch die Erstellung einer Trockenwetterfalllinie (TWL) und die Bestimmung von Auslaufkoeffizient (Formel 1) und abflussfähigem Grundwasservolumen (Formel 2) wurde die Ergiebigkeit des Aquifers im Teileinzugsgebiet abgeschätzt.

$$\alpha = -\frac{1}{\Delta t} * \ln\left(\frac{V_{At}}{V_{A0}}\right)$$

α	Quellenspezifischer Koeffizient (1/d)
Δt	Zeitspanne zwischen den Messungen
V_{At}	Abflussrate zum Endzeitpunkt
V_{A0}	Abflussrate zum Anfangszeitpunkt

Formel 1: Formel für den quellenspezifischen Auslaufkoeffizienten (HÖLTING & COLDEWEY, 2013).

$$V_{GWA} = \frac{V_{At}}{\alpha}$$

V_{GWA}	Abflussfähiges Grundwasservolumen bzw. effektive Kluftporosität
-----------	--

Formel 2: Formel zur Berechnung des abflussfähigen Grundwasservolumens (HÖLTING & COLDEWEY, 2013).

Auf Grundlage eigens erhobener Daten, wie der Berechnung der Einzugsgebietsgröße auf Basis eines digitalen Höhenmodells des Landesamtes für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern mit ArcGis und der Messung des oberflächen Abflusses mittels Salztracermessung mit dem TQ Tracer-Messsystem der Firma Sommer am Tiefenbach sowie mit Gefäßmessungen an acht weiteren Gerinnen im Einzugsgebiet und unter Einbeziehung meteorologischer Daten, wie Niederschlag und Verdunstung der Klimastation Maderwiese in Siegsdorf (Umweltanalytische Produkte GmbH), wurde

eine Wasserbilanz erstellt. Diese schafft einen Überblick über die Entwässerungscharakteristik im Einzugsgebiet und ermöglicht es, den Bereich der Hauptentwässerung zu identifizieren. In Kombination mit den Ergebnissen der geologisch-hydrogeologischen Kartierung wurde darauf aufbauend eine Wasserbilanz für ein Detailszugsgebiet erstellt, um die dort nutzbare Grundwasserneubildung zu quantifizieren.

Ergebnisse

Geologisch-Hydrogeologische Situation

Die Ergebnisse der geologisch-hydrogeologischen Kartierung sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Raibler Rauwacke, der Hauptdolomit und die Kössener Kalke streichen im Gebiet verschuppt in WNW-ESE Richtung aus. Hydrogeologisch sind die Kössener Mergelkalke sowie die nördlich austreichenden bunten Mergel des Flysches aufgrund ihrer Feinkörnigkeit als Aquitarde einzuordnen. Verwitterungsbedingt bestehen die Raibler Rauwacken oberflächennah aus einem Kalzitgerüst mit Hohlräumen und bilden in dieser Beschaffenheit ein gutes Speichergestein mit geringen Wasserwegigkeiten (Doben, 1970). In tieferen Bereichen handelt es sich jedoch ebenfalls um ein kompaktes, abdichtendes Gestein. Die roten Mergelkalke aus dem Jura zeigen keine Anzeichen von Verkarstung. Im untersuchten Gebiet streichen sie nur sehr geringmächtig und in Form von Linsen aus und haben daher eine aus hydrogeologischer Sicht vernachlässigbare Bedeutung. Der im Gebiet stark geklüftete, unverkarstete Hauptdolomit erwies sich als einzige in nennenswerter Menge wasserführende Lithologie.

An den Übergängen zu den geringleitenden Lithologien zeigen sich Quellaustritte mit einer Maximalschüttung von ca. 0,25 l/s. Stärker schüttende Quellen treten vorwiegend an der Süd-Ost-Flanke des Neustadler Berges auf. Dort sind die durch Mulden vom Hauptkamm morphologisch abgetrennten Erhebungen im Osten des Gebietes, ein auf dem Höhenmodell erkennbarer Rutschhang an der Südostflanke des Neustadler Berges und die von der Hauptstreichrichtung abweichenden Gefügedaten Hinweise auf eine vorangegangene Massenbewegung.

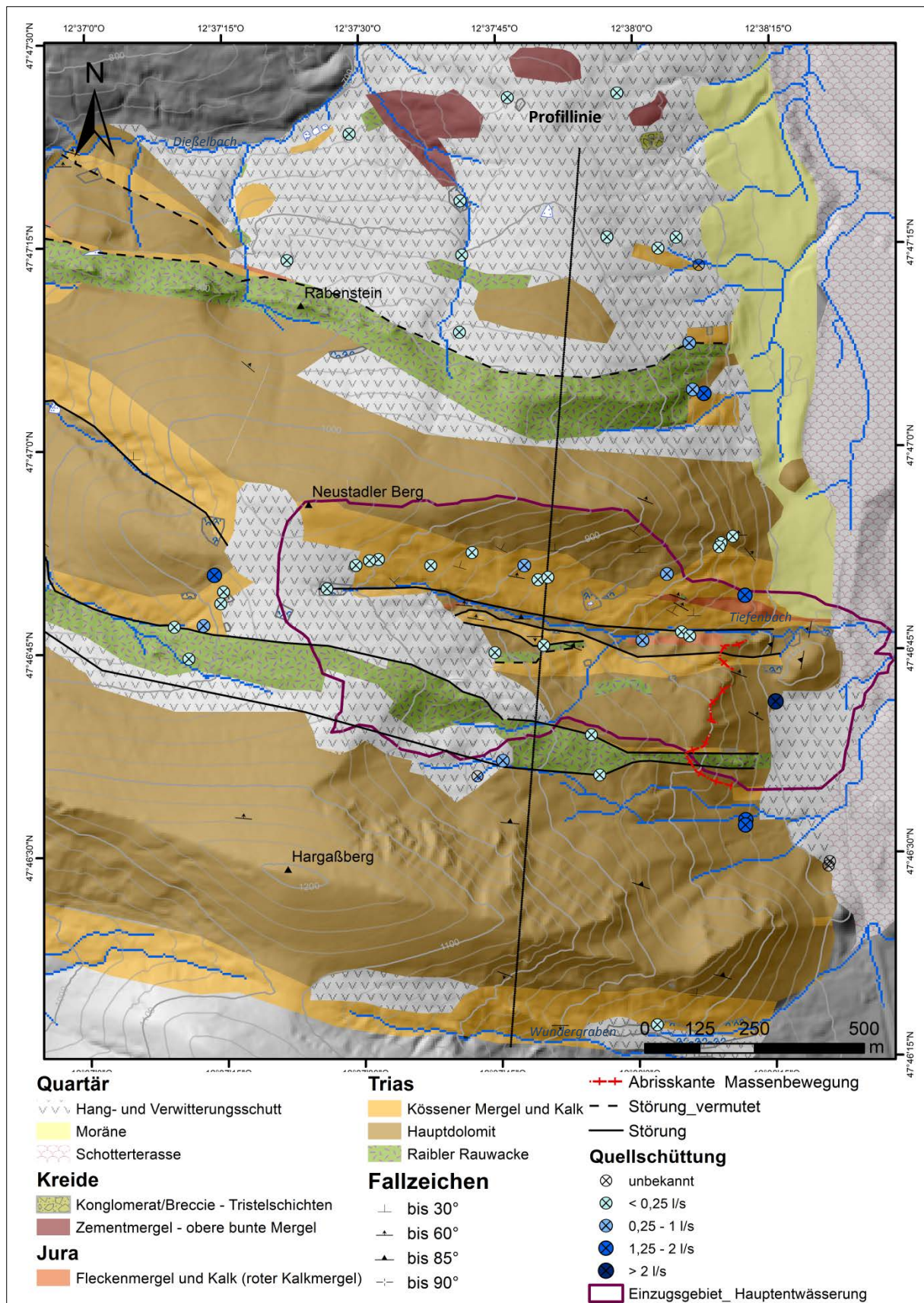


Abbildung 2: Geologische Karte 1:10 000 und Verteilung der Quellen im Gebiet.

Im NNE-SSW-Profil (Abbildung 3) ist zu sehen, dass das Gebiet im Süden mit sattelförmigem Hauptdolomit abschließt. Es folgt ein engständig verschuppter, von zahlreichen WNW-ESE

streichenden Störungen durchzogener Bereich. Für die vollständige Aufklärung der Lagerungsverhältnisse fehlten hier Aufschlüsse mit ausreichend messbaren Gefügedaten. Nördlich des Tiefenbaches fallen die Schichten in inverser Abfolge nach Norden ein. Auch im nördlichsten Teil des Untersuchungsgebietes ermöglichte es die großflächige Hangschuttüberdeckung nicht, ein vollständiges Profil anzufertigen.

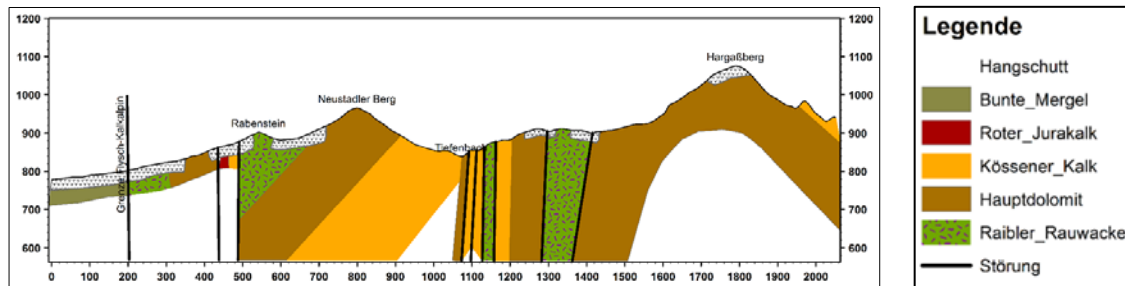


Abbildung 3: NNE-SSW Profil des untersuchten Gebietes. Entsprechend der Profillinie in Abb. 2.

Strukturgeologie

Die strukturgeologische Auswertung der Schichtflächen, mit den zwei Hauptorientierungen NE und SW, lässt auf eine Falte mit ESE-WNW Orientierung der b-Achse schließen (Abbildung 4). Alle Lithologien weisen dieselbe NNE-SSW streichende Hauptklüftschar auf (Abbildung 5). Stimmt man diese mit dem Einfallen der Faltenschenkel ab, handelt es sich dabei um ac-Klüfte, also Querklüfte, welche senkrecht zur Faltenachse stehen. Untergeordnet treten auch im Hauptdolomit und den Raibler Rauwacken die in den Kössener Schichten stärker ausgeprägten hk0-Klüfte (Diagonalklüfte) auf. Die für die Wasserführung erhofften achsenparallelen bc-Klüfte, die ein Indiz für die Zerrung in einer Faltenmulde und damit für bevorzugte Wasserwegigkeiten wären, treten nur sehr untergeordnet auf.

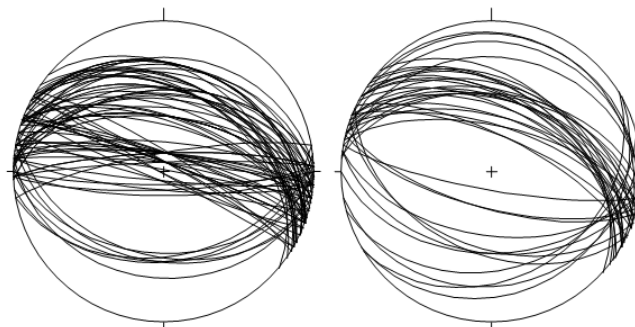


Abbildung 4: Die Schichtflächen des Hauptdolomits (links) und der Kössener Kalke (rechts) geplottet in Tectonics FP.

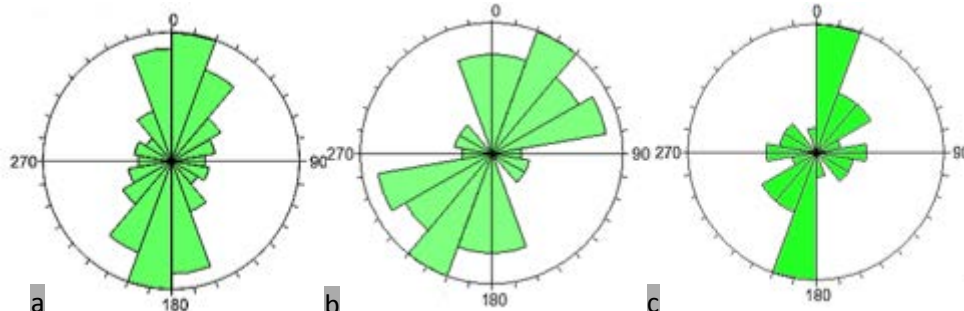


Abbildung 5: Die Klüftflächen des Hauptdolomits (a), der Kössener Kalke (b) und der Raibler Rauwacken (c) geplottet in Tectonics FP.

Wasserbilanz

Aus den Messdaten der Station Maderwiese von September 2013 bis September 2016 konnte ein durchschnittlicher Jahresniederschlag von 1259 mm und eine Verdunstungsrate von 500 mm ermittelt werden. Aus der mit ArcGis berechneten Einzugsgebietsgröße von 3.482.462 m² resultiert ein Gebietsniederschlag von 138,9 l/s von dem, nach Abzug der Verdunstung, noch 83,6 l/s für den Gesamtabfluss bleiben. Die Differenz aus Gesamtabfluss und 11,3 l/s gemessener Niedrigwasserschüttung ergaben den oberirdischen Abfluss mit 72,3 l/s. Der Basisabfluss von 11,3 l/s entspringt auch nach längeren Trockenperioden aus den Quellen und wird daher dem unterirdischen Abfluss gleichgesetzt. Wobei die Abflussmessungen ergaben, dass das Gebiet hauptsächlich über den Süd-Ost-Hang des Neustadler Berges entwässert (Abbildung 2). Bei dem Bereich handelt es sich um das 613.768 m² Einzugsgebiet des Tiefenbaches und eines weiteren namenlosen Oberflächengerinnes. Die Wasserbilanz berechnet für die Größe dieses Detailszugsgebietes ergibt einen Gebietsniederschlag von 24,5 l/s, der sich auf 9,8 l/s Verdunstung, 6 l/s unterirdischen Abfluss und 8,7 l/s oberirdischen Abfluss aufteilt. Bei den 6 l/s des unterirdischen Abflusses kann längerfristig von der nutzbaren Grundwasserneubildung ausgegangen werden. Der Hauptanteil dieses unterirdischen Abflusses entspringt mit 4 l/s aus der Quelle 59, die auf Talebene des Teileinzugsgebietes austritt.

Auswertung Datenlogger

Die Schüttung der mit dem Datenlogger ausgestatteten Quelle 59 schwankte im Messzeitraum zwischen 6 l/s und 4 l/s. Anhand der Schlüsselkurve (Abbildung 6) konnte eine durchschnittliche Pegelschwankung von ca. 0,05 m pro 1 l/s Schüttungsänderung berechnet werden. Allgemein kam es zu einer Abnahme der Schüttung im Laufe des hydrologischen Sommers. Eine Zunahme der Schüttung war nach mehrtägigen Regenperioden mit mindestens 60 mm Niederschlag, mit einer zeitlichen Verzögerung von 12 Stunden, ersichtlich. Mit Zunahme der Schüttung ließ sich auch ein schwaches Temperatursignal in der Größenordnung von max. + 0,2 °C und eine Reduktion der Mineralisation mit einer Schwankungsbreite von 30 µS/cm erkennen. Die höchste Mineralisation wird bei der Schüttung des Basisabflusses, welcher bei 4 l/s liegt, erreicht. In Hochwassersituationen werden 2/3 Basisabfluss durch 1/3 rezentes Niederschlagswasser ergänzt.

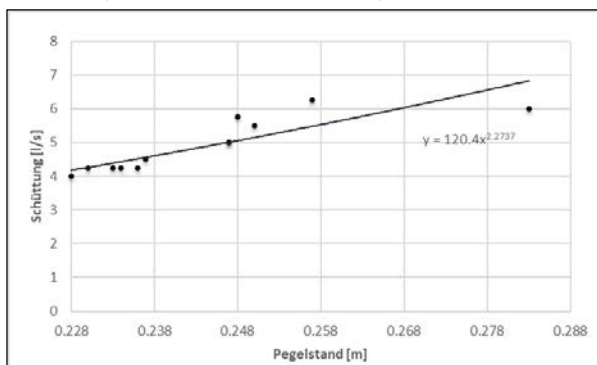


Abbildung 6: Schlüsselkurve der Quelle 59.

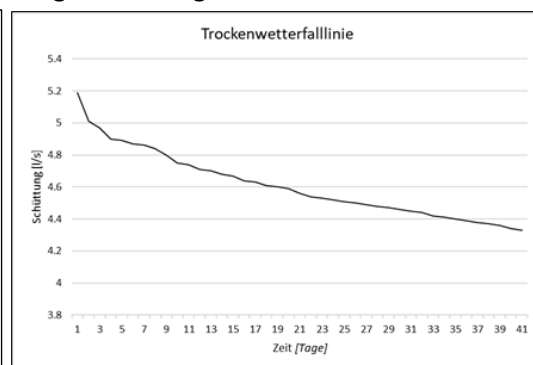


Abbildung 7: Trockenwetterfalllinie der Quelle 59.

Die TWL der Quelle 59 (Abbildung 7) fällt relativ flach ab. Der quellenspezifische Koeffizient wurde mit 0,004306 1/d berechnet. Er ergibt sich aus der anfänglichen Abflussrate von 5,19 l/s, der Abflussrate am Endzeitpunkt von 4,35 l/s und einem Zeitraum von 41 Tagen eingesetzt in Formel 1. Mit Formel 2 wurde das abflussfähige Grundwasservolumen im Einzugsgebiet der Quelle 59 mit 86.480.260 l bzw. die effektive Kluftporosität mit 86.480,26 m³ quantifiziert. Das gesamte

Aquifervolumen von 115.577.000 m³ wurde mit, aus dem Höhenmodell gewonnenen Daten berechnet. Der Kluftanteil beträgt somit 0,07 %.

Hydrochemie

Die Darstellung der hydrochemischen Analysen im Piper-Diagramm (PIPER, 1944; Abbildung 9) zeigt, dass alle analysierten Quellwässer (Abbildung 8) als erdalkalisch-karbonatisch nach Furtak & Langguth (1967) zu klassifizieren sind. Die Quellen 9, 16 und 44 liefern mit einem Calcium-Anteil von über 80 % Wässer des Typs Ca-HCO₃. Die übrigen Quellen haben einen etwas höheren Magnesiumanteil und sind als Wassertyp Ca-Mg-HCO₃ zu beschreiben.

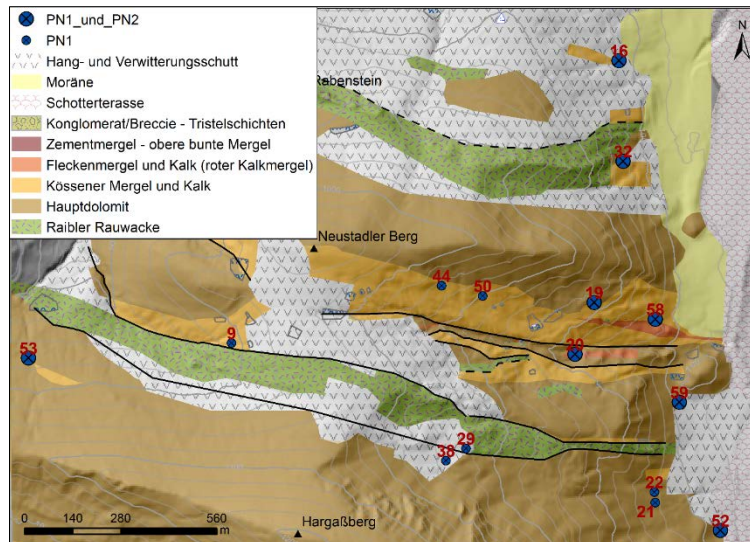


Abbildung 8: Die Verteilung der hydrochemisch untersuchten Quellen.

Die Gegenüberstellung von Calcium und Magnesium zeigt, dass, obwohl im gesamten Untersuchungsgebiet der Dolomit als vorherrschende Lithologie auftritt, es keine typischen Dolomitwässer mit einem ausgeglichenen Ca/Mg-Verhältnis gibt, sondern ein eindeutig kalzitisch dominiertes Verhältnis von etwa 70:30 vorliegt. Ausgenommen davon ist die südöstlichste Quelle (Q52), die auf Talhöhe aus dem Dolomitsattel entspringt und mit einem Verhältnis von 60:40 am ehesten als Dolomitquelle anzusehen ist.

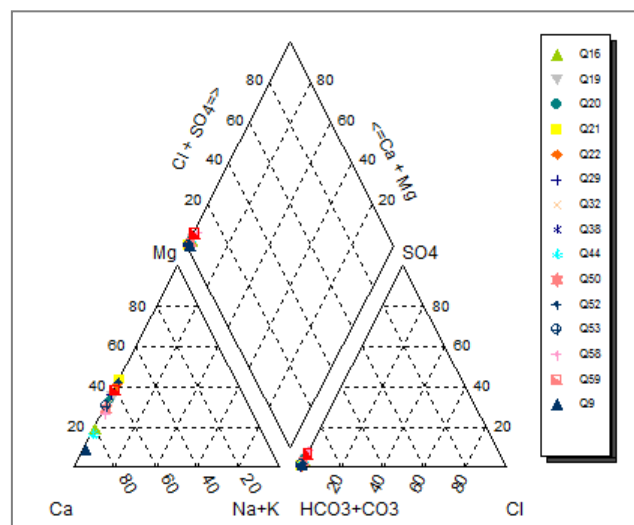


Abbildung 9: Hydrochemische Auswertung der im Zuge der ersten Probenahme beprobten Quellen.

Die Sulfatkonzentrationen liegen im Bereich von 1 mg/l bis maximal 22,8 mg/l bei der ersten Probenahme bzw. zwischen 3,64 mg/l und 39,71 mg/l bei der zweiten Probenahme. Generell zeigen die niedrig gelegeneren Quellen einen höheren Sulfatgehalt. Die Laboranalysen von Nitrat ergaben Werte bis maximal 10,96 mg/l. Alle Quellen haben, unabhängig von den meteorologischen Verhältnissen während der Probenahmen, einen nachweisbaren Nitratanteil. Die meisten Quellen haben eine Konzentration von max. 5 mg/l, was als biogener Eintrag im bewaldeten Gebiet gedeutet werden kann. Leicht erhöhte Werte haben Q53, Q59, Q52 und Q32.

Die Tritiumwerte lagen im Bereich von 5,5 bis 7,5 TU und damit etwas unter den Jahresmittelwerten rezenter Niederschläge. Nennenswert erhöhte Tritiumwerte oder tritiumfreie Wässer, die jeweils ein Hinweis auf Verweilzeiten von mehreren Jahrzehnten wären, wurden im Gebiet nicht festgestellt.

Interpretation

Die geklüftete und unverkarstete Beschaffenheit des Hauptdolomites ist zwar von Vorteil für die Durchlässigkeit und die Verweilzeit von versickernden Niederschlägen, eine Synklinale im Hauptdolomit, die in den wechselnden lithologischen Einheiten des Kartenbildes vermutet wurde, und welche für die Wasserhöflichkeit von Vorteil wäre, konnte im Profil jedoch nicht nachgewiesen werden. An den Flanken des südlichen Dolomitsattels rinnen versickernde Niederschläge rasch ab, die inverse Abfolge der Schichten nördlich des Tiefenbaches ist ebenfalls mit einem Schenkel einer südvergenten Antiklinale zu erklären. Die Bereiche bieten ein zu geringes Retentionsvermögen, um die, für die Qualität von Trink- oder Mineralwasser, notwendige Verweilzeit zu gewährleisten. Der aus hydrogeologischer Sicht interessante Bereich kann somit auf den Osthang des Neustadler Berges südlich des Tiefenbaches begrenzt werden. Hier gibt es potentielle Wasserwege im verschuppten Bereich der wechselnden lithologischen Einheiten, sowie zusätzliche Auflockerungen im Talbereich durch eine vorangegangene Massenbewegung. Auch die Abflussmessungen zeigen, dass es dort in Folge der erhöhten Durchlässigkeit zur Hauptentwässerung kommt. Die Auswertung und der relativ flach abfallende Verlauf der Trockenwetterfalllinie von Quelle 59, die sich auf Talebene dieses potentiellen Einzugsgebietes befindet, lässt auf ein insgesamt gutes Retentionsvermögen eines ergiebigen Aquifers im Einzugsgebiet schließen. Die Zunahme der Schüttung nach Regenperioden mit mindestens 60 mm Niederschlag, der damit einhergehende Temperaturanstieg und die Reduktion der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit zeigen, dass im Hochwasserfall etwa 1/3 der Schüttungsmenge der Quelle 59 aus oberflächennah und kurzfristig zirkulierenden Wässern bzw. direkt aus dem Niederschlag stammt. Die hydrochemischen Analysen zeigen, dass alle Wässer im untersuchten Gebiet eine ähnliche Zusammensetzung haben und als Ca-HCO₃ bis Ca-Mg-HCO₃-Wässer zu klassifizieren sind. Obwohl der Hauptdolomit das Gebiet flächenmäßig dominiert und offensichtlich den Hauptaquifer darstellt, werden die Wässer im Wesentlichen durch ihren Kontakt mit den Kössener Kalken und den Jurakalken geprägt. Das Nitrat in allen beprobten Wässern ist ein weiterer Beleg für einen Oberflächeneinfluss, aus dem sich auch ergibt, dass die Tritiumwerte aus der Durchmischung unbekannter Verhältnisse einer älteren Komponente mit rezenten Wässern resultieren müssen.

Der höhere Sulfatanteil der zweiten Probenahmekampagne ist ebenfalls auf den Einfluss unterschiedlicher meteorologischer Verhältnisse zurückzuführen. Durch die Regenperiode vor der ersten Probenahme kam es zur Mischung des sulfathaltigen Aquiferwassers mit rezentem Niederschlagswasser bzw. mit Wässern, die oberflächennah in Bereichen, in denen das Sulfat aus den Raibler Rauwacken bereits herausgelöst wurde, zirkulieren. Diese Durchmischung der Wässer unterschiedlicher Herkunft verursachte die Verdünnung hinsichtlich der Sulfatkonzentration. Die

Wässer niedrig gelegener Quellaustritte haben offenbar eine längere Verweilzeit und reichern sich auf dem Weg zum Quellaustritt mit vergleichsweise mehr Sulfat an.

Nach Auswertung der lithologischen, strukturgeologischen, hydrochemischen und hydrologischen Untersuchungen wurden Brunnenstandort A und B ausgewiesen (Abbildung 10). Brunnen an beiden Standorten greifen auf jenen Hauptdolomitaquifer zu, der aktuell im Wesentlichen durch die Quelle 59 entwässert. Eine quantitative Beeinträchtigung dieser Quelle durch die Entnahme von Mineralwässern in den vorgeschlagenen Bereichen ist daher nicht auszuschließen. Die nahegelegene, privat genutzte Quelle 52 befindet sich bereits außerhalb des, auf Basis der Oberflächenwasserscheiden, berechneten Einzugsgebietes. Die Kluftorientierung lässt im Bereich der vorgeschlagenen Brunnenstandorte unterirdische Wasserwege, vor allem in Nord-Süd-Richtung erwarten. Gegen eine Beeinflussung der Schüttung durch einen Brunnen in Standort A oder B sprechen zudem die Raibler Rauwacken, die südlich des Untersuchungsgebietes ausstreichen und aufgrund ihrer stauenden Eigenschaften eine natürliche lithologische Barriere darstellen. Auch die hydrochemischen Analysen, die eine vergleichsweise geringe Sulfatkonzentration und ein relativ ausgeglichenes Ca/Mg-Verhältnis der Q52 ergaben, sprechen gegen einen Einfluss aus dem nördlich gelegenen Einzugsgebiet.

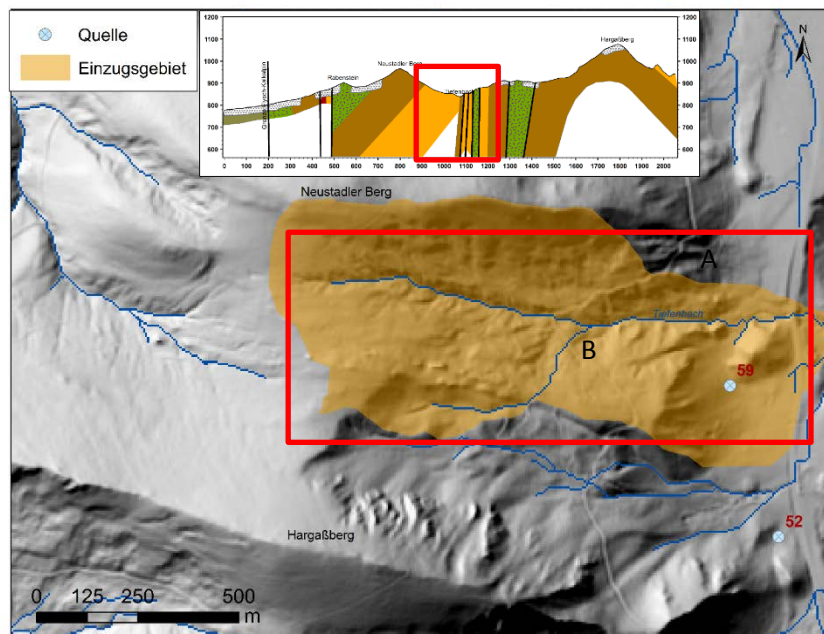


Abbildung 11: Lage der Brunnenstandorte A und B im Profil und im potentiellen Einzugsgebiet.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Sylke Hilberg für die engagierte Betreuung und für die motivierende Unterstützung während meiner fachlichen Hochs und Tiefs bei der Entstehung dieser Arbeit bedanken. Für die Möglichkeit zur Anfertigung dieser Arbeit bedanke ich mich bei der Petrusquelle und ihren in dieses Projekt involvierten Mitarbeitern. Ich bedanke mich bei Thomas Baumann für seinen fachlichen Input besonders bei hydrochemischen Fragen.

Referenzen

Doben K., Bader K., Cramer D., Diez T., Freimoser M., Gall H., Wrobel J. P. (1970): Geologische Karte von Bayern 1:25000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 8241 Ruhpolding. Bayern. München.

Furtak H. & Langguth H.R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. Mem. IAH-Congress, 1965 VII, 86-96, Hannover.

Hölting B. & Coldewey W. G. (2013): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 8. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, 438 S., Heidelberg.

Moser H. & Rauert W. (1980): Isotopenmethoden in der Hydrologie. Borntraeger, Berlin.

Piper A. M. (1944): A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Trans. Amer. Geophys. Union, 25, 914-928.

Tollmann A. (1976): Der Bau der nördlichen Kalkalpen. Orogene Stellung u. regionale Tektonik; Bd. 3. Deuticke, Wien.

Wechmann A. (1964): Hydrologie: Überirdisches Wasser, Unterirdisches Wasser, Hydrometeorologie, Wasserhaushalt. Oldenbourg, München-Wien.