



Vorkommen, Nutzung und Schutz von Thermalwässern und Mineralwässern im Kanton Aargau: eine Übersicht Hans Burger¹

Stichworte: Thermalwasser, Aargau, Grundwassernutzung, Grundwasserschutz, Bäder, Mineralwasser, Baden, Ennetbaden, Bad Schinznach, Bad Zurzach, Rheinfelden, Arteser, Gipswasser

Zusammenfassung

Der Aargau ist reich an Mineral- und Thermalwässern. Neben bedeutenden Thermalwasser-Vorkommen sind viele kleine Thermen und Mineralwässer bekannt.

Die wichtigsten Thermen und Mineralwasservorkommen im Kanton Aargau (Baden-Ennetbaden, Schinznach Bad und Bad Zurzach) werden kurz und übersichtsmässig vorgestellt. Mögliche Zielkonflikte von Nutzung und Schutz dieser und benachbarter Ressourcen werden exemplarisch dargestellt und kurz diskutiert.

Résumé

L'Argovie est riche en sources thermales et minérales. Les thermes les plus importantes (Baden-Ennetbaden, Schinznach Bad et Bad Zurzach) et leur utilisation sont présentées. Un exposé des eaux thermales et minérales supplémentaires complète le travail.

Le potentiel de conflit entre utilisation et protection des eaux souterraines et des ressources voisines est présenté d'une manière exemplaire et discuté en bref.

1. Einleitung

Auf dem Gebiet des Kantons Aargau werden natürlich austretende Thermalwässer seit Jahrhunderten genutzt; die Anwendung als Heilwasser geht teilweise auf römische bis vorrömische Zeit zurück. Im 20. Jahrhundert wurden bestehende Quellen zusätzlich mit Bohrungen erschlossen oder an neuen Orten wurden – z. T. mehr oder weniger zufällig – durch Bohrungen neue Thermalwasser-Vorkommen gefunden.

Diese Bohrungs-Aktivitäten haben in den letzten Jahrzehnten zugenommen und führen mit der sonstigen intensiveren Nutzung des Untergrundes zunehmend zu ungeplanten bis «unerwünschten» Funden von Thermalwasser- und Mineralwasser-Artesern. Auch besteht die Gefahr von schädlichen Kurzschlüssen im Untergrund, beispielsweise durch Aufsteigen von Thermalwasser in darüber liegende Aquifere oder durch Versalzen von Schotter-Grundwasser.

Daraus entsteht zunehmend ein Koordinationsbedarf bezüglich Schutz und Nutzung der Tiefenwasser-Vorkommen einerseits und der Regelung von Nutzungskonflikten andererseits. Beispiele dafür sind die gegenseitige Beeinflussung des Förderpotenzials von benachbarten Thermalwässern oder der Konflikt mit anderen Untergrund-Beanspruchungen, wie z. B. die Geothermie, Exploration und Förderung von Kohlenwasserstoffen oder Untertagebauten in sensiblen Untergrund.

Traditionelle Thermalbäder mit frei auslaufenden Quellen liegen in der Limmat-Klus (Baden und Ennetbaden) sowie in Bad Schinznach. Deren Kurbetriebe profitierten bereits in der frühen Neuzeit, teilweise schon im Mittelalter, von den angepriesenen bzw. festgestellten Heilwirkungen des Thermalwassers. Die Quellfassungen waren vor dem 19. Jahrhundert sehr einfach und mussten ohne Bohrtechnik auskommen. Neu unter den traditionellen Thermalbädern ist Zurzach, wo das Wasser mittels Bohrungen erschlossen wurde. Eine historische Übersicht zur Entwicklung der drei traditionellen Thermalbäder im Aargau gibt Kanz (2003).

¹ Geschäftsadresse: Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Abteilung für Umwelt, Entfelderstrasse 22, 5001 Aarau, hans.j.burger@ag.ch



Bereits vor rund 200 Jahren beschäftigten sich die Nutzer der Quellen mit der Messung von Schüttungsschwankungen und der Wassertemperatur. Auch die geruchlich bemerkbaren Gase des Wassers, welche durch die Druckentlastung des aufsteigenden Wassers im Badebereich freigesetzt wurden, weckten das Interesse der Gäste und Ärzte.

Die chemische Zusammensetzung (Inhaltsstoffe) und die physikalischen Eigenschaften der Wässer konnten erst ab Mitte des 19. Jahrhunderts genauer untersucht werden und gipfelten ab den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts in genauen und permanenten Messungen sowie der Messung von Spurengasen, anderen Spuren-Inhaltsstoffen, radioaktiven Bestandteilen und Isotopenspektren (Högl 1980, Vuataz 1982, Schmassmann et al. 1984, Nagra 1986). Die moderne Darstellung und Charakterisierung von Thermalwässern in sogenannte Wassertypen bedient sich der «Schoeller-Diagramme»: Darin wird die Ionenkonzentration der Hauptkomponenten in einem logarithmischen Massstab dargestellt. Mineralwässer ähnlicher Art haben ähnliche Schoeller-Diagramme. Thermalwässer einer Grossregion, die aus denselben geologischen Formationen stammen, haben auch ähnliche Schoeller-Diagramme. Eine Übersicht über die Geologie und Hydrogeologie des Kristallins in der Nordschweiz geben Thury et al. (1994) sowie Diebold, P. (1986). Zur Messung der Thermalwässer existieren viele lokale Aufzeichnungen, hierzu sei auf die unpublizierten Berichte (Literaturverzeichnis) verwiesen.

Eine frühe, damals ausführliche Übersicht über die Aargauischen «Mineral- und Heilwässer» findet sich in Hartmann (1925).

Zu Alter und Herkunft der Wässer wie auch zu deren Heilwirkung wurde schon sehr früh spekuliert; wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse dazu konnten aber erst in den letzten Jahrzehnten erarbeitet werden (Schmassmann 1990, Pearson et al. 1991). Dabei hat insbesondere die Nagra (Nationale Genossenschaft zur Lagerung von radioaktiven Abfällen, Wettingen) mit ausgedehnten

Analytik-Kampagnen und der Messung von Spurenstoffen und Isotopen zu neuen Erkenntnissen beigetragen.

In der heutigen Zeit wird von Seite des gesetzlichen Eigentümers der Thermalwässer (Kanton) angestrebt, die Konzessionierung, die Nutzung und den Schutz in den verschiedenen Thermalwassergebieten für alle Beteiligten ausreichend zu regeln und wo erforderlich zu vereinheitlichen. Aus rechtlichen Gründen ist dies ein langwieriger Prozess. Auch wird versucht, durch räumliche Einschränkung der Geothermie-Nutzung im Nahbereich der Thermen eine Beeinträchtigung der Thermalwassernutzung zu verhindern.

Der Schutz von Thermalwasser-Vorkommen ist anspruchsvoll, weil er in Konflikt steht mit anderen Untergrund-Nutzungen, oft aber auch mit den Nutzungsplänen und Absichten des Konzessionsinhabers selber (Übernutzung, nicht sachgerechte Nutzung) und weil das unterirdische Einzugsgebiet der Thermalwasser führenden Gesteine für die Festlegung der erforderlichen Schutzmassnahmen oft noch nicht ausreichend bekannt ist.

2. Thermalquellen von Baden und Ennetbaden

In der Faltenjura-Klus von Baden-Ennetbaden sind im Bereich des Limmat-Ufers natürliche Thermalwasseraustritte vorhanden. Diese wurden bereits in antiker Zeit genutzt und von den Römern in den ersten Jahrzehnten unserer Zeitrechnung teilweise auch gefasst. Gegen Ende des 1. Jahrhunderts entstanden grosse Bäderanlagen (Aquae Helveticae). In der zweiten Hälfte des 3. Jahrhunderts wurden die Anlagen zu einem grossen Teil zerstört, und der Badebetrieb fand bis zum Ende des Mittelalters nur noch in reduziertem Umfang statt. Seit dem 16. Jahrhundert wurden die Thermalquellen intensiver genutzt und ab Beginn des 19. Jahrhunderts wurden zu den drei

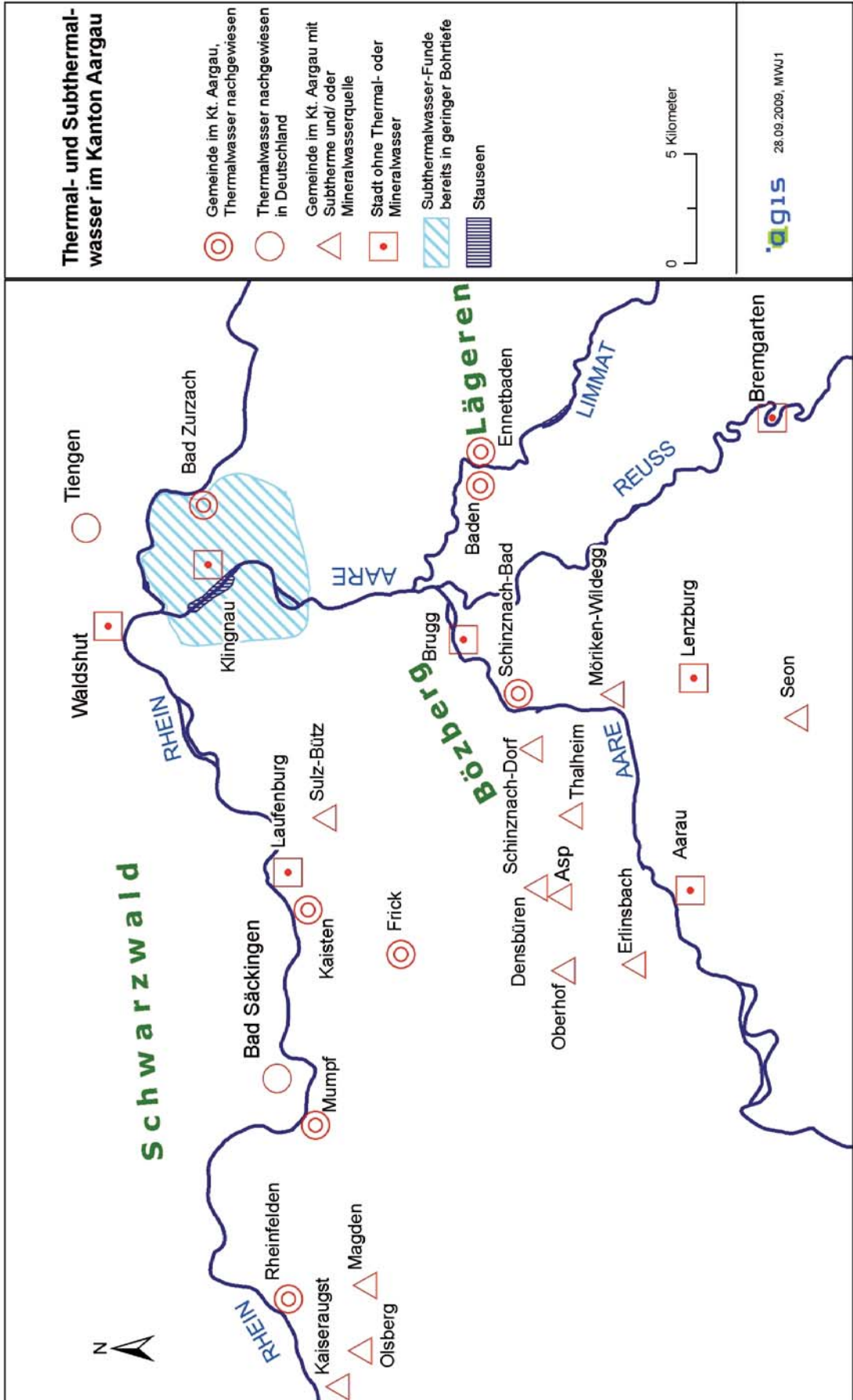


Fig. 1: Lage der Thermalwasser- und Mineralwasser-Vorkommen im Kanton Aargau.



damals bestehenden, frei ausfliessenden Quellen verschiedene neue, künstliche Wassertouren geschaffen. Dies führte jeweils zur Beeinflussung bzw. zur qualitativen Beeinträchtigung der bereits vorhandenen Quellen und Thermalwasser-Fassungen. Wegen dieser Konflikte wurde eine Bestandesaufnahme der Quellen und Fassungen sowie eine rechtliche Regelung für künftige Grabungsarbeiten im Quellbereich notwendig.

Ulrich Münzel beschreibt die Thermen in einer Monographie (1947). Der heutige Zustand der 19 Thermalwasserquellen wurde mit unpubl. Bericht vom 12. Januar 2001 aktualisiert [Ingenieurgesellschaft Matoušek, Baumann & Niggli / Bänziger + Bacchetta + Fehlmann; beide in Baden].

Die Thermalquellen von Baden und Ennetbaden liegen geologisch im Bereich, wo die Muschelkalk-Schichten der Lägeren-Struktur (Jura-Hauptüberschiebung) von der Limmat erosiv angeschnitten wurden. Die regionalen tektonischen Strukturen ermöglichen das Aufsteigen von heissem Wasser aus grosser Tiefe (über 1'200 m). Der erhöhte Wärmefluss in der Umgebung der Thermen erwärmt auch den Untergrund und das darin vorkommende Grundwasser. Die gefassten Quellen liegen oberhalb des Schotter-Grundwasserspiegels. Es gibt Hinweise, dass weitere, ungenutzte Quellaustritte aus dem Fels direkt ins Schottergrundwasser austreten. Weitere geologische Einzelheiten können dem Geologischen Atlasblatt 1:25'000 Baden sowie den Erläuterungen dazu entnommen werden (Graf et al. 2006; Bitterli, P. et al. 2007).

Seit den 1840er Jahren wurden regelmässige Schüttungsmessungen vorgenommen, welche ab 1900 zeitlich verdichtet sowie professionalisiert wurden. Die Bestandesaufnahme der Quellen wurde 1858 in einem amtlichen Dokument festgehalten («Verbal über den Zustand und die Beschaffenheit der Heilquellen bei Baden»). Gestützt auf diese Aufzeichnungen wurde 1869 ein kantonales Dekret erlassen, welches jedes weitere Suchen und Graben nach «Heilwasser» ver-

boten. Dieses ist auch heute noch bei Bauarbeiten im Bereich der Thermalquellen zu beachten. Dadurch geniessen die Thermalquellen von Baden und Ennetbaden zumindest im näheren Umfeld ihres Austrittes einen gewissen Schutz vor Beeinträchtigungen. In den nächsten Jahren sollen diese Quellen vom Kanton Nutzungs-Konzessionen erhalten, was ihren Schutz-Status wiederum verbessern kann.

Die Schüttmenge aller 19 gefassten Quellen schwankt im Bereich zwischen rund 600 und 800 l/min, mit Extremwerten von 569 l/min (1950) und 949 l/min (1970). Die Temperaturen schwanken im Bereich von 46.5 - 48.5°C. Während die Temperaturen über Jahrzehnte konstant blieben, konnte bei der Schüttmenge eine gewisse Abhängigkeit vom regionalen Niederschlagsgeschehen festgestellt werden (Zorn & Jaffé 1983). Erste genauere Untersuchungen zu diesen Abhängigkeiten wurden 1910 bis 1921 durchgeführt (Peter 1922), wobei eine zeitliche Verzögerung zwischen dem Niederschlags-Geschehen und der Schüttmenge von rund 10 bis 12 Monaten postuliert wurde. Eine detaillierte und aktualisierte Studie dieser Abhängigkeit wurde im Auftrag des kant. Departements Bau, Verkehr und Umwelt (BVU), Abt. für Umwelt, durchgeführt (Greber, unpubl. Bericht 1998). Dabei ergab sich eine stark schwankende Zeitverzögerung von rund 1 bis 7 Monaten zwischen Niederschlagsgeschehen und Schüttungsverhalten. Die Abhängigkeit der Zeitverzögerung besteht nicht nur bezüglich der regionalen Niederschlagsmenge, auch vorausgegangene Trockenperioden sowie die Intensität der Niederschläge haben einen Einfluss auf die Zeitverzögerung.

Die Mineralisation der einzelnen Quellen ist sehr ähnlich: Natrium-Calcium-(Magnesium)-Chlorid-Sulfat-(Hydrogenkarbonat)-Wässer, welche zudem Lithium, Fluorid, Bromid und Borsäure und verschiedene Spurenelemente enthalten. Als Gase treten insbesondere Schwefelwasserstoff, in geringeren Mengen auch Methan sowie freie Kohlensäure auf. Die Gesamtmineralisation liegt zwischen





4450 und 4550 mg/l, lösliche Bestandteile stammen hauptsächlich aus den Steinsalz- und Sulfatschichten des Mittleren Muschelkalks. Zur Hydrochemie und Hydrogeologie liegen beim kantonalen Departement BVU (Aarau) auch neueste, die oben zitierten Untersuchungen ergänzende Berichte vor (vgl. Verzeichnis der unpublizierten Berichte). Eine hydrogeologische Übersicht des rechten Limmat-Ufers gibt auch Rick (2006). Über die Herkunft des Thermalwassers wurden diverse Spekulationen und Hypothesen veröffentlicht; heute ist klar, dass ein Mischwasser vorliegt. Neuere Untersuchungen konnten wertvolle Hinweise geben über die Bestandteile der aus grosser Tiefe entlang von Störungszonen und verkarsteten Aquiferen aufsteigenden Wässer und deren Alter. Die aktuellsten Untersuchungen stützen sich vorwiegend auf Isotopenanalysen und gehen von einer Hauptkomponente aus, welche den Muschelkalk durchflossen und dabei Evaporite gelöst hat (Gorhan & Griesser 1988; Mazar et al. 1986; Schmassmann, H. et al. 1984). Hinzu kommen weitere - vermutlich insgesamt vier - Wasserkomponenten mit jeweils unterschiedlicher Zusammensetzung, Herkunft und Verweilzeit.

3. Thermalwasser von Schinznach Bad

Die Schinznacher Thermen liegen in einer ähnlichen tektonischen Position wie die Thermen in der Limmat-Klus: Am Schnittpunkt der Aare mit der Jura-Hauptüberschiebung sowie auf dem Südrand des Permo-Karbon-Trogges der Nordschweiz, welcher mehrere Kilometer breit und tief ist und den Aargau in West-Ost-Richtung durchzieht. Beide Thermalwasser-Gebiete haben auch eine ähnliche mineralische Zusammensetzung, wobei die Thermalwässer von Baden/Ennetbaden wärmer und höher mineralisiert sind (Schmassmann et al. 1984). Bad Schinznach gilt als eine der stärksten Schwefelthermen der Schweiz (im alten Brunnenschacht: rund 50 mg gelöster H₂S,

diverse Schwefelverbindungen sowie kolloidaler Elementar-Schwefel), was man auch heute im Thermalbad, trotz Entgasungs-Anlagen, schon am Geruch feststellen kann.

Die balneologische Nutzung ist ab dem 17. Jahrhundert schriftlich nachgewiesen, dürfte jedoch schon früher eingesetzt haben. Die alte Therme (artesisch frei ausfliessender «Brunnen») besteht aus 30° bis 34°C warmem Mischwasser aus von unten aus dem Muschelkalk zufließendem Thermalwasser und oberflächennahem Schotter-Grundwasser des Aaretals. Die Mineralisation schwankt wegen dieser Zumischung zwischen 1.9 und 2 g/l. Die Brunnen-Fassung an der Oberfläche (grosser Holzschacht) stammt aus dem Jahre 1882 und wird seit längerem nicht mehr genutzt.

Durch eine 1980 neben den Badeanlagen abgeteuft Bohrung (S 2) wurde die Therme neu erschlossen mit dem Ziel, ein Wasser mit weniger Beimengungen von oberflächennahem Grundwasser zu erhalten. Dies ist nur unbefriedigend gelungen: die noch immer schwankende Temperatur stieg auf rund 36°C, die Mineralisation auf 2.89 g/l (Vuataz 1982). Deshalb wurde 1996 südlich der Badeanlagen eine weitere Bohrung (S 3) erstellt, welche das Thermalwasser in rund 400 m Tiefe fasst. Dadurch kann reines Thermalwasser gefördert werden; die Temperatur stieg auf konstante 44°C. Es handelt sich um eine Na-Ca-Chlorid-Sulfat-Therme.

Das Bad hat das Recht, aus der neuen Bohrung Thermalwasser im quantitativen Umfang der früheren Nutzung aus dem Brunnen zu fördern. Bei grossen Tiefbauvorhaben, welche die Therme beeinträchtigen könnten, wird eine Risikoabwägung vorgenommen. Letztmals geschah dies in den 80er Jahren, als die Trasse-Führung der Autobahn A3 (Bözberg-Tunnel) so verschoben wurde, dass das Risiko einer Beeinträchtigung der Therme durch den Tunnelbau minimiert werden konnte.

Das Thermalwasser wird heute in Bad Schinznach sehr umweltbewusst eingesetzt:





Eine Wärmerückgewinnungs-Anlage kühlt das Wasser aus der Bohrung S 3 vor der Rückgabe in den Untergrund (via die Bohrung S 2) auf ca. 24°C ab. Dadurch wird einerseits die Wärme weiterverwertet, andererseits wird mit der Rückführung des Wassers in den Untergrund eine Belastung des Oberflächengewässers vermieden.

4. Thermalwasser-Bohrungen in Bad Zurzach

Das Thermalwasser von Bad Zurzach (eine aus dem kristallinen Grundgebirge aufsteigende Therme, welche bis in die Perm- und Buntsandstein-Sedimente eindringt) wird gegen oben abgedichtet durch die Sulfat-Schichten der Trias. Dadurch steht es unter artesischem Druck. Es wurde 1914 bei der Erkundung von Salzlagerstätten entdeckt. Dabei stiess man sowohl im Buntsandstein als auch im Kristallin auf ergiebige Thermalwasser-Zuflüsse; die Bohrung wurde jedoch noch im selben Jahr zum Schutz der damals noch aktiven Salzförderung verschlossen.

Eine erste Bohrung zu Heilwasserzwecken (Zurzach 1) erfolgte vom alten Bohrstandort aus im Jahre 1955, gefolgt von einer nahe gelegenen zweiten Bohrung (Zurzach 2) im Jahre 1964 (Cadisch 1956, Schmassmann et al. 1984). Aus diesen Bohrungen können im Dauerbetrieb rund 500 bis 600 l/min artesisch auslaufendes Wasser mit Temperaturen um 39-40°C gewonnen werden. Die Mineralisierung ist mit 1.04 g/l bescheiden; die Therme kann als Natrium-Sulfat-Hydrogenkarbonat-Chlorid-Wasser eingeordnet werden. Speziell erwähnenswert sind die hohen Gehalte an Fluor, Arsen und Lithium der Zurzacher Thermalwässer (Högl 1980).

1980 wurde zu Forschungszwecken in rund 300 m Entfernung eine dritte Bohrung (Zurzach 3) abgeteuft, welche sowohl im Kristallin als auch im Muschelkalk artesisch gespanntes Thermalwasser fand, jedoch von deutlich geringerer Temperatur als in den Bohrungen Zurzach 1 und 2 (Vuataz 1982;

NEFF 1980). In den Jahren 2002-2003 wurde knapp 1 km weiter südlich von Zurzach 1 und 2 eine vierte Bohrung abgeteuft; diese könnte in Zukunft als Reserve-Bohrung für die Nutzung als Thermal- und/oder Mineralwasser dienen.

Ausgedehnte Pumpversuche haben gezeigt, dass sich die Bohrungen bezüglich der Förderkapazitäten gegenseitig beeinflussen können. Weitere Angaben zu Zusammensetzung, Herkunft und Alter dieser Thermalwässer finden sich in den Erläuterungen zum Geologischen Atlasblatt Zurzach (Bitterli, T. et al. 2000).

Das in Bad Zurzach genutzte Thermalwasser entstammt einem tief liegenden, ausgedehnten Aquifer, welcher auch auf deutscher Seite, in Tiengen, erbohrt wurde (Distanz rund 5 km zu den Bohrungen Zurzach 1 bis 3). Das in Tiengen erbohrte Wasser ist zwar vom selben Wassertyp wie Zurzach, jedoch mit 25°C deutlich kühler.

Neben der balneologischen Nutzung wird das Zurzacher Wasser auch als Mineralwasser getrunken. Die aktuelle Nutzung ist in einer 1999 erteilten kantonalen Konzession geregelt. Diese gibt dem Inhaber nicht nur Nutzungsrechte, sondern auch Schutzansprüche.

5. Artesische Thermalwässer aus dem Permo-Kristallin im Bereich zwischen Kaiseraugst und Laufenburg

In der Rheinebene zwischen Kaiseraugst und Laufenburg wurden bisher etliche artesisch gespannte Thermalwässer angebohrt, welche aus dem kristallinen Grundgebirge stammen und zum Teil entlang von tektonischen Störungen oder durchlässigen Schichten bis in die darüber liegenden, paläozoischen und frühmesozoischen Sedimente (Perm/Buntsandstein) aufsteigen. Im Hangenden behindern dichte Gesteine, insbesondere Sulfat-Schichten des Muschelkalk und Keuper sowie Tone des Lias und Dogger, grossflächig das weitere Aufsteigen des Thermalwassers





und bewirken so eine artesische Spannung des seitlich aus höherem Druckniveau zufließenden Wassers. Bisher wurden solche Thermalwässer in Rheinfeldern (Thermalwasserbohrung «Engerfeld» 1983), Mumpf (Erdwärme-Versuchsbohrung 2009), Bad Säckingen (diverse Quellaustritte und Thermalwasserbohrungen in Kristallin und Perm) und Kaiserten (Nagra-Bohrung 1984) angetroffen. Eine Bohrung in Kaiseraugst stiess auf stark mineralisiertes Wasser.

Thermalwasserbohrung Rheinfeldern

Im Frühjahr 1983 wurde im südöstlichen Stadtgebiet von Rheinfeldern eine 600 m tiefe Bohrung durchgeführt mit dem Ziel, Thermalwasser zu finden. Unter mächtigen Muschelkalk-Ablagerungen, welche die erwarteten abdichtenden Sulfat-Schichten enthielten, wurde im Perm (Rotliegendes) beim Durchfahren der Rheinfeldern Verwerfung in 347 m Tiefe artesisch stark gespanntes und hochmineralisiertes Thermalwasser angetroffen. Auch das darunter liegende Kristallin enthielt wasserführende Zonen, und zwar von fast gleicher Temperatur und Zusammensetzung wie das Wasser aus der Störungszone.

Der Überdruck dieser Wässer gegenüber der auf 299.6 m ü. M. liegenden Terrainoberfläche beträgt beachtliche 8.3 bar.

Bei freiem Auslauf können dauerhaft rund 1200-1250 l/min gefördert werden, wovon rund 160 l/min in 550 m Tiefe aus dem Kristallin ins Bohrloch fließen. Die Auslauf-Temperatur dieser Wässer liegt an der Oberfläche bei 26-27°C; die Temperatur des aus dem Kristallin ins Bohrloch fließenden Wassers beträgt in 550 m Tiefe 29°C. Es handelt sich um einen Na-Ca-Hydrogenkarbonat-Sulfat-Chlorid-Säuerling, mit einer Gesamtmineralisation von ca. 4560 bis 4570 mg/l. Eine Wasseranalyse sowie ein detailliertes Bohrprofil finden sich in Schmassmann et al. (1984) bzw. in Ryf (1984).

Bemerkenswert ist der sehr hohe CO₂-Gehalt im Thermalwasser. Das CO₂ stammt

vermutlich, in Analogie zu Tiefenwasser-Vorkommen in weiter westlich und nordwestlich liegenden Bohrungen, aus grösseren Tiefen des Oberrheingraben.

Wegen seiner Zusammensetzung, insbesondere dem hohen CO₂-Gehalt, ist das Rheinfeldern Thermalwasser nicht nur für rheumatische Indikationen, sondern speziell auch für Therapien bei kardio-vaskulären Krankheiten geeignet. Insofern stellt es balneologisch eine Besonderheit unter allen Aargauer Thermalwässern dar.

Die Bohrung wurde für einen Betrieb mit korrosionsresistentem Spezialstahl ausgebaut, und ab 1985 wurde das Thermalwasser für knapp sieben Jahre balneologisch genutzt. Eine dauerhafte Nutzung konnte bisher aus betrieblichen Gründen nicht realisiert werden, deshalb wurde die Bohrung im Sommer 1994 nach Einstellung des bewilligten Badebetriebs abgedichtet und provisorisch verschlossen.

Die Thermalwasser-Bohrung gehört einer Stiftung, welche das Wasser künftig wiederum zu Heil- und Badezwecken (therapeutisch oder präventiv) einsetzen möchte. Kommt keine Nutzung zustande, so muss die Bohrung aus Sicherheitsgründen definitiv verschlossen werden (längerfristiges Risiko von Kurzschlüssen und unkontrollierten Auswaschungen und Auslaugung löslicher Gesteine). Weil der Muschelkalk in Rheinfeldern auch abbaubare Salz-Schichten enthält, haben die Sicherheitsvorgaben eine erhöhte Bedeutung.

Bohrung in Mumpf

Eine Geothermie-Bohrung stiess in rund 185 m Tiefe im Perm auf einen Thermalwasser-Artenser (23.1°C, freier Auslauf von ca. 600 l/min). Das Wasser ist stark salzhaltig sowie deutlich eisenhaltig (8 g/l Cl, 4.7 g/l Na, jedoch nur 250-300 mg/l Sulfat). Auch enthält es viel freies CO₂ (Sachs & Müller 2009). Detailliertere Abklärungen, inklusive Isotopen- und Altersbestimmungen, sind zur Zeit in Ausführung.





Bad Säckingen (auf deutscher Seite)

Einzelne Quellaustritte von Thermalwasser waren schon in römischer Zeit bekannt und wurden auch im Mittelalter rege genutzt («Bad-Quelle»: 28.5-29.4°C, 3.1-3.7 g/l Mineralisation). In jüngerer Zeit wurde das Angebot durch Thermalwasser aus mehreren Bohrungen ergänzt: 1929 durch die «Margarethenquelle», später durch weitere Bohrungen, letztmals im Jahr 1983 («Fridolins-Quelle»: 25.0°; 7.6 g/l Mineralisation; 585 mg CO₂/l).

Diese einzelnen Thermen von Bad Säckingen unterscheiden sich in Temperatur und Mineralgehalt. Sie haben jedoch insgesamt eine ähnliche Zusammensetzung wie die erbohrten Thermalwasserfunde auf Schweizer Seite, z. B. im gegenüber liegenden Mumpf oder in Rheinfelden.

Tiefbohrung Kaisten (1984)

Die Nagra-Bohrung liegt 3 km südwestlich des Bahnhofs von Laufenburg (CH) und ist geologisch detailliert untersucht (Peters et al. 1989; Nagra 1991). Unter abdichtenden Schichten des Muschelkalks wurden einige Arteser angetroffen, so im Buntsandstein, im Perm und mehrere im kristallinen Grundgebirge.

Der grösste Zutritt von Tiefengrundwasser ins Bohrloch wurde im Kristallin, in einer Tiefe von 1040 m angetroffen, mit Wassertemperaturen um 50°C. Das zufließende Wasser ist ein ähnlicher Wassertyp wie Zurzach, aber etwas stärker mineralisiert (insbesondere mehr Sulfat).

Insgesamt wurden 1000 m Kristallin-Strecke erbohrt. Für hydrogeologische Details sei auf die ausführlichen technischen Berichte der Nagra verwiesen.

Auf eine Nutzung dieses Thermalwassers wurde mangels Nachfrage verzichtet und die Bohrung wurde vor acht Jahren vollständig verfüllt.

Bohrung in Kaiseraugst

Die Bohrung «WB 5» erreichte in den Buntsandstein-Perm-Schichten Wasser mit Temperaturen im Grenzbereich thermal/subthermal (knapp 20°C). Es wurde eine hohe Mineralisierung festgestellt (Schmassmann et al. 1984). Auf Grund der Zusammensetzung liegt ein Wasser aus Kristallin, Perm und Buntsandstein vor. Zur Zeit findet keine Nutzung dieses Wassers statt.

6. Andere Thermalwässer, Subthermen und stark mineralisierte Grundwässer

Gebiet Frick - Kaisten - Laufenburg

Es werden schon in geringen Bohrtiefen (40 m bis 150 m) relativ häufig artesische und subartesische Formationswässer angetroffen, welche zum Teil sehr mineralreich sind.

Muschelkalk im unteren Aaretal

Aus Bohrungen in der Region Böttstein-Döttingen-Tegerfelden-Zurzach sind diverse Subthermalwasser-Funde bekannt (Fig. 1). Speziell untersucht wurde die Bohrung Beznau (1980, Gemeindegebiet Döttingen): Im oberen Muschelkalk wurde ein stark mineralisierter Arteser angetroffen (22.2°C; 6.5 g/l). Bohrung und Thermalwasser sind beschrieben in Jäckli & Rissi (1981) bzw. in Schmassmann et al. (1984).

Sandige Perm - Buntsandstein - Schichten im Mündungsgebiet Aaretal ins Rheintal

Aus Bohrungen in der Region Leuggern-Koblentz-Rietheim (Fig. 1) sind diverse Subthermalwasser-Funde bekannt, teils artesisch, teils subartesisch.





Magden und Olsberg

Am Fuss des Önsberges, südöstlich von Magden, entspringen drei stark mineralisierte Quellen aus dem Gipskeuper, welche 1924 zur Magdalena-Quelle gefasst wurden. Ursprünglich wurde damit ein Brunnen beliefert, in welchem sich Schwefel-Ablagerungen bildeten. Daraus entstanden die lokalen Bezeichnungen «Schwefelquellen» und «Schwefelbrunnen». Die Ergiebigkeit liegt bei 120-200 l/min.

Später wurden die Dorfbrunnen von Magden mit diesem Wasser beschickt. Diese Nutzung findet heute noch statt; die Quellfassung hat deshalb Trinkwasser-Schutzzonen. 1980 wurde die Quellfassung erneuert. Der Mineralgehalt beträgt 2.6 g/l; das Wasser wird von der Bevölkerung ab Brunnen in Flaschen abgefüllt (für Trink-Kuren). Es handelt sich um ein Ca-Mg-Sulfat-Wasser, mit bemerkenswerten Mengen von Strontium.

«Feldschlösschen-Bohrungen» in Magden: Die Brauerei Feldschlösschen hat in den 80er Jahren in Magden zur Beschaffung von Brauwasser vier tiefe Felsbohrungen errichtet. Die Wässer aus dem oberen Muschelkalk unterscheiden sich von Bohrung zu Bohrung leicht in ihrem Chemismus. Da sie keine hohe Mineralisation aufweisen, werden sie hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Die Wasser-Temperaturen liegen um 20°C.

In Olsberg läuft seit langer Zeit eine Mineralwasser-Quelle frei aus, welche im Wasserchemismus sehr ähnlich zur Magdalena-Quelle ist (Mineralgehalt rund 2.5 g/l). Sie wird in einen öffentlich zugänglichen Brunnen geleitet (früher «Rösslibrunnen», heute «Schwefelbrunnen» genannt). Die Ergiebigkeit beträgt rund 50 l/min. Der Überschuss und Überlauf fliesst in den nahe gelegenen Violen-Bach. Die Quellfassung wurde 2007 vollständig erneuert. Wie in Magden, wird auch dieses Mineralwasser von der Bevölkerung ab Brunnen für Trink-Kuren in Flaschen abgefüllt.

Rheinfelden (Kapuzinerquelle)

Die Fassung liegt südlich des Bahnhofs, das «kalte» Wasser stammt aus der unteren bis mittleren Trias. Seit der fachmännischen Fassung von 1920 floss das Wasser mit einer Ergiebigkeit von rund 200-250 l/min bis vor wenigen Jahren in eine Abfüll-Anlage und in einen öffentlichen Trinkbrunnen. Heute wird die Quelle nicht mehr genutzt und fliesst in einen Bach. Das Wasser ist zwar eher schwach mineralisiert (846 mg/l), enthält aber viel Borsäure, Eisen und auch etwas CO₂.

Frick

Die Vereinigten Schweiz. Rheinsalinen haben 1955 im östlichen Dorfteil von Frick nach Salz gebohrt und stiessen auf eine Mineralquelle, welche mit einer Temperatur von 19-20°C im Grenzbereich thermal/subthermal liegt. Erbohrt wurde in 151 m Tiefe ein Arteser, welcher rund 40 l/min lieferte (Arbeitskreis Dorfgeschichte der Gemeinde Frick 2007). Drei Jahre lang wurde über eine Nutzung als Mineralwasser diskutiert. Wegen des «bitteren Geschmacks» wurde jedoch davon abgesehen und die Quelle wurde verschlossen.

Kaisten

Im oberen Dorfteil von Kaisten sind zwei alte Mineralquellen aus dem Muschelkalk bekannt: Die Tuttigraben-Quelle (Mineralisierung ca. 1.1 g/l) und die Oberdorf-Quelle, welche etwas stärker mineralisiert ist. Beide haben einen schwankenden Erguss von maximal je einigen Hundert l/min und zeigen keine erhöhten Temperaturen. Früher lieferten die Quellen Wasser für die Laufbrunnen, heute ist keine Nutzung bekannt.





Sulz - Bütz

Im Ortsteil Bütz entspringt an der westlichen Talflanke eine seit über 300 Jahren bekannte Salzquelle und fliesst in einem Kanal 300 m weit talparallel und dann in den Sulzer Bach. Die Mineralisation besteht in erster Linie aus Steinsalz und in zweiter Linie aus Gips. Die Mineralisation des «kalten» Salzwassers schwankt beträchtlich (je nach Literaturangabe zwischen 1.3 und 7 g/l) und ist offenbar abhängig von der Verdünnung mit Oberflächenwasser und damit von der Schüttungsmenge, welche ihrerseits im Bereich von 70 bis 400 l/min variiert. Es handelt sich in der weiteren Umgebung der Nordschweiz um die grösste frei austretende Quelle, welche hauptsächlich mit Steinsalz mineralisiert ist. Eine aktuelle Beschreibung findet sich in Schneider & Matousek AG (1994).

Densbüren, Ortsteil Asp

In der Gemeinde Densbüren wurden früher mehrere Muschelkalk-Quellen für die Speisung von Laufbrunnen genutzt. Im Weiler Asp läuft noch heute eine natürliche Gipskeuper-Quelle in einen Laufbrunnen. Dieser liegt neben einem Restaurant und ist für die Nutzung zugänglich. Eine kurze geologische Beschreibung findet sich in Ziegler (1967). Ebenfalls in Asp, jedoch im Tal an der Hauptstrasse, wurde im Jahr 1979 im Bereich der Hauptüberschiebung Faltenjura auf den Tafeljura vom Kanton Aargau zur Grundwassererkundung eine Felsbohrung bis in eine Tiefe von 237 m niedergebracht. Gefunden wurde subartesisch gespanntes Muschelkalkwasser unter einer Keuper-Überdeckung, wahrscheinlich ist auch etwas oberflächennahes Wasser beigemischt. Die hohe Temperatur von 16-17°C und die starke Mineralisierung hätten bei einer Nutzung für Trinkwasserzwecke eine teure Aufbereitung bedingt. Darum haben potenzielle Abnehmer, insbesondere der Kanton und die Gemeinde Densbüren, auf eine Nutzung verzichtet.

Grundwasser-Bohrungen in Muschelkalk-Aquifere

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass im Tafeljura des westlichen Fricktals mehrere Erkundungs-Bohrungen zur Wasserprospektion in den Muschelkalk abgeteuft wurden. Wichtige Beispiele sind die Bohrungen in den Gemeinden Schupfart (1956), welche 124 m tief und bis unter den Muschelkalk kam sowie Wegenstetten (1967), wo der Muschelkalk mit einer 36 m tiefen Bohrung erkundet wurde.

Erlinsbach

Nördlich des Dorfes liegt die «Lorenzenbad-Quelle», bestehend aus zwei Teilquellen, welche mit einer Temperatur von 16.1-17°C aus dem oberen Muschelkalk fliessen. Die Schüttmenge schwankt niederschlagsabhängig zwischen 500 und 1400 l/min. Der Mineralgehalt ist deutlich geringer als in den umliegenden Muschelkalk-Quellen. Die Quelle dient der Gemeinde als Trinkwasser: das rohe Quellwasser wird via Entkeimungsanlage ins Leitungsnetz gegeben.

Oberhof - Thalheim

In der Jurafalten-Front der Linie südliches Gebiet von Oberhof-Bänkerjoch-Staffelegg-Thalheim sind diverse, heute nicht oder kaum genutzte, stark mineralisierte Quellwässer aus Muschelkalk und Gipskeuper überliefert.

Hinzu kommen Kenntnisse aus einer 62 m tiefen Grundwasser-Bohrung bis in den Fels unterhalb des Weilers «Hurset» in Oberhof aus dem Jahr 1978. Darin wurde ein Muschelkalk-Wasser mit einer Mineralisierung von 1.5 g/l gefunden. Die Bohrung ist noch zugänglich, das Wasser wird aber nicht genutzt.





Schinznach Dorf

Bedeutend sind die Warmbach-Quellen aus dem oberen Muschelkalk. Sie liegen am westlichen Dorfrand und bestehen aus zwei nebeneinander liegenden Quellen mit hohem Ertrag (rund 1'200 l/min). Die Temperatur ist gegenüber normalem Quellwasser nur leicht erhöht (rund 13°C), weil durch verkarsteten Fels auch viel einsickerndes Oberflächenwasser mit einer kurzen Aufenthaltszeit zufließt. Deshalb sind auch gelegentlich bakteriologische Verunreinigungen festzustellen.

Die Quellen werden für die Trinkwasserversorgung genutzt und besitzen die entsprechenden Schutzzonen. Diese erstrecken sich wegen der ausgedehnten oberflächlichen Karst-Zuflüsse auf das Gebiet von mehreren Gemeinden.

Rund 160 m westlich der Warmbach-Quellen entspringt eine weitere Mineralquelle, die «Schenkenberg-Quelle» (Nussberger et al. 1937). Sie wird privat zu Trinkwasser-Zwecken genutzt und hat Schutzzonen. Das 12°C warme Wasser kommt aus dem Gipskeuper (Gehalt 2.4 g/l) und hat eine Ergiebigkeit von ca. 30 bis 40 l/min.

Wildeggen: Jodhaltige Salz-Quelle

Am Südwestrand des Chestenbergs, am Fuss des Schlosshügels Wildeggen, wurde 1827 beim Suchen nach artesischem Wasser eine stark jodhaltige (Jodid-Gehalt bis 33 mg/l) Salzquelle erbohrt. Diese liegt auf einer Kote von 240-245 m ü. M. innerhalb der Effinger Schichten und ist auch beim Abpumpen wenig ergiebig. Darüber strömt aus oberflächennahen, kalkigen Malm-Lagen wenig mineralisiertes Wasser zu. Die Quelle ist in Hartmann (1925) ausführlich beschrieben, mit Angaben zur Analytik. Eine aktuelle Beschreibung findet sich in Brunner (1973). Der Jod-Gehalt soll im Lauf der Jahrzehnte abgenommen haben und in den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts noch 7-8 mg/l betragen haben. Bis 1964 wurde das Wasser abgefüllt und über Apotheken und

Drogerien vertrieben, beispielsweise zur Jodmangel-Prophylaxe. Seither ist die Quelle stillgelegt, jedoch wurde 1977 der begehbare Brunnenschacht erneuert. Eine hydrochemische Beschreibung der Quelle findet sich in Schmassmann (1990).

Seon: warmes Tiefengrundwasser in quartärem Schotter

Am Ostrand des Dorfes Seon wurde 1989 in einer Tiefe von knapp 300 m, unter 230 m kaltzeitlichen Seeablagerungen, ein ca. 50 m mächtiger Schotter-Grundwasserleiter angetroffen, welcher 19.5°C warmes Wasser enthält. Dies bestätigte die aus anderen Bohrungen abgeleitete Hypothese, dass im mittleren bis unteren Seetal eine weiträumige und grosse glaziale Übertiefung vorliegt, in welcher auch tief liegende, nutzbare Schottergrundwässer vorhanden sind. Dabei sei insbesondere auf die Nagra-Bohrung in Schafisheim verwiesen (Matter et al. 1988). Das Wasser hat ein Misch-Alter von etwa 7'000-8'000 Jahren und ist sauerstofffrei sowie subartesisch gespannt. Trotzdem ist es nicht stark mineralisiert und kann mit 14.5°fH sogar als «weich» eingestuft werden. Dank dieser Eigenschaften konnte es nach einer Aufbereitung sowohl zur Energiegewinnung als auch für Trinkwasserzwecke vorgesehen werden.

1994 wurde eine Produktionsbohrung bis zum Erreichen der Molasse abgeteuft. Das Wasser wird zu einwandfreiem Trinkwasser aufbereitet, mit Wärmetauschern auf ca. 10°C abgekühlt und ins Trinkwassernetz von Seon eingeleitet. Mit der gewonnenen Wärme werden mehrere grosse Fernwärmenetze beliefert.

Seit 10 Jahren ist die Kombinationsanlage im Dauerbetrieb, mit einer (noch ausbaufähigen) Wärme-Nennleistung von 1.35 MW und einer installierten Förderleistung von 1650 l/min. Pro Jahr werden mehr als 500'000 m³ Trinkwasser produziert.

Auf Grund der speziellen hydrogeologischen Gegebenheiten (flächenhafte Abschirmung des Grundwassers durch mächtige Seeablage-





rungen) konnte auf die Ausscheidung von Grundwasser-Schutzzonen verzichtet werden. Detailangaben finden sich in Matousek & Graf (1998) sowie in <Gemeinderat Seon> (2001).

7. Künstlich hergestellte Heilwässer durch Gesteinslaugung

Dabei handelt es sich nicht um natürliches Grundwasser oder Mineralwasser, sondern um durch Gesteinslaugung künstlich erzeugte Mineralwässer. Deshalb werden diese Wässer hier nicht speziell behandelt. Auf eine längere Tradition im Aargau können die Solbäder in Rheinfelden sowie das Bitterwasser von Birmenstorf zurückblicken (Hartmann 1925).

Solbäder in Rheinfelden

Die ausgedehnten Salzlager in der mittleren Trias wurden in der Umgebung von Rheinfelden 1836 entdeckt und durch Bohrungen erschlossen. Im Anschluss daran entstanden Bäder, welche das aus der Solung stammende Salzwasser verwendeten.

An die Heilbäder abgegeben werden kann einerseits eine «natürliche» Salzsole («Rheinfelder Natursole»), andererseits die «Mutterlauge von Rheinfelden», welche gegenüber der natürlichen Salzsole künstlich verändert wurde, zum Beispiel durch Anreicherung von Jod, Brom oder Borsäure sowie durch Abreicherung von Gips, Kalk und Steinsalz. Die Rheinfelder Natursole kann rund 320 g gelöste Stoffe pro Liter Wasser enthalten (fast eine gesättigte Lösung). Das Badewasser wird in der gewünschten Mineralstärke und Temperatur hergestellt und demzufolge etwa 1:10 mit Wasser verdünnt. Verglichen mit Meerwasser ist das Steinsalz in der «Rheinfelder Natursole» gegenüber den anderen Mineralien überproportional vertreten. Die Soletätigkeit wurde in Rheinfelden 1942 eingestellt, seither beziehen die Bäder ihren salzigen Rohstoff von der nahe gelegenen Saline Riburg.

Bitterwasser von Birmenstorf

Das Bitterwasser wurde ab Mitte des 19. Jahrhunderts durch Auslaugung von Keuper-Gesteinen hergestellt. Dabei wurden Mineralien aus Gips-haltigen Schichten gelöst. Insbesondere wurden die leicht löslichen Salze Bittersalz (Epsomit, Mg-Sulfat) und Glaubersalz (Mirabilit, Na-Sulfat) in einem Mengenverhältnis von 3:1 gewonnen. Das künstliche Mineralwasser wurde als «Birmo-Mineralwasser» vertrieben (Nussberger et al. 1937).

Ein Liter abgefülltes Wasser enthielt 33-34 g gelöste Mineralbestandteile, zu 95% Natrium- und Magnesium-Sulfat. Herstellung und Vertrieb sind seit längerem eingestellt.

8. Nutzungsmöglichkeiten und Nutzungskonflikte

Der Bund kann gemäss Art. 76 der Bundesverfassung Grundsätze zu Eingriffen in die Wasserkreisläufe festlegen. Dies hat er im Gewässerschutz-Gesetz (GSchG) von 1991 sowie der zugehörigen Gewässerschutz-Verordnung (GSchV) bis zu einem gewissen Grad getan. Gemäss gleichem Verfassungsartikel verfügen die Kantone über die Wasservorkommen und deren Nutzungsrechte. Daraus abgeleitet sind bei Wassernutzungen jeglicher Art auch die öffentlichen Interessen zu berücksichtigen. Umgekehrt ist bei anderen Nutzungen des Untergrundes auch die Gewässernutzung (inklusive Tiefengrundwasser) zu berücksichtigen.

Die Nutzer der Thermal- und Mineralwässer benötigen in der Regel eine Bewilligung oder Konzession. Diese soll gewährleisten, dass eine nachhaltige Nutzung stattfindet und dass bereits bestehende Nutzungen nicht beeinträchtigt oder gefährdet werden. Konzessionen verleihen dadurch dem Nutzer auch einen gewissen Schutzanspruch gegenüber potenziellen Neunutzern.

Der Nutzer benötigt zudem eine Fassungs-Infrastruktur, welche einen zuverlässigen





und umweltverträglichen Betrieb sicherstellt. Diese Infrastruktur muss als Vorleistung erstellt werden und ist in der Regel mit hohen Investitionskosten verbunden. Deshalb wurden bei vielen der bisher entdeckten (erbohrten) Thermal- und Mineralwässer noch keine Nutzungen realisiert oder die Nutzung wurde wieder eingestellt.

Für die zur Zeit noch ungenutzten Wasser-Ressourcen hat der Kanton die Verpflichtung als Inhaber, für einen angemessenen langfristigen Schutz besorgt zu sein und dabei die öffentlichen Interessen zu wahren.

Für neue Anlagen und Bohrungen in Gebieten mit nutzbaren Grundwasservorkommen (dies gilt selbstverständlich auch für die Mineral- und Thermalwässer) besteht gemäss der Gewässerschutz-Verordnung des Bundes eine Bewilligungspflicht. Die Bewilligung wird durch eine kantonale Fachstelle erteilt, welche mit Auflagen die öffentlichen Interessen und die bereits vergebenen, nachbarlichen Nutzungsrechte berücksichtigt.

Als Nutzungsmöglichkeiten stehen für die Thermalwässer in erster Linie Bäder und Laufbrunnen im Vordergrund, in zweiter Linie die thermische Restverwertung. Bei Mineralwässern steht die Abfüllung im Vordergrund, evtl. verbunden mit einer thermischen Verwertung. Wie die vorgestellten Beispiele Seon, Schinznach-Dorf und Magden-Feldschlösschen zeigen, kann auch eine Hauptnutzung als Trinkwasser möglich sein.

Nutzungskonflikte entstehen insbesondere durch intensive bis exzessive nachbarschaftliche Nutzungen sowie durch anderweitige Nutzungen des Wassers oder Untergrunds: Beispiele sind die Übernutzung des Aquifers, geothermische Nutzungen, Zwangsdrainagen oder Durchflussbehinderungen durch neue Untergrund-Bauwerke, Perforationen und Kurzschlüsse von Aquiferen durch Bohrungen, Salzlaugung, Bergbau und Felsabbau. Konflikte können auch entstehen, wenn der Inhaber der Nutzungsrechte das Wasser anderweitig nutzen will, z. B. nur noch geothermisch an Stelle der direkten Wassernutzung.

Privatrechtlich ist die Nutzung insofern eingeschränkt, als der Eigentümer einer Sache gemäss Art. 641 ZGB nur «in den Schranken der Rechtsordnung» darüber verfügen kann. Dabei gelten sowohl privatrechtliche Schranken (kollidierende private Interessen von Nachbarn) als auch öffentlichrechtliche Schranken. Letztere sind seit dem 1.10.2009 unter anderem auch im Kataster der öffentlich-rechtlichen Eigentumsbeschränkungen (ÖREBKV; SR 510.622.4) geregelt.

9. Mögliche Schutzmassnahmen, planerische Massnahmen

Die Kantone sorgen auch beim qualitativen und quantitativen Erhalt der Mineral- und Thermalwässer für die Berücksichtigung der öffentlichen Interessen und der Rechte von bisherigen Nutzern und Nutzergemeinschaften. Dabei sind insbesondere die Bestimmungen des Gewässerschutz-Gesetzes bezüglich der Einhaltung der Sorgfaltspflichten, der Schutzmassnahmen für die Grundwässer und der langfristigen Erhaltung (und Trennung) von natürlichen Grundwasserstockwerken zu beachten. Konzession und/oder Bewilligung verleihen dem Inhaber gewisse Rechte, sind aber auch mit Pflichten verbunden: Schutz der Wasser-Ressourcen für eine nachhaltige Nutzung sowie Schutz der chemischen und physikalischen Integrität von benachbarten oder überlagerten Aquiferen. Dazu können vom Inhaber weitere hydrogeologisch sinnvolle Schutzmassnahmen oder Überwachungsarbeiten verlangt werden. Auch die Quelle bzw. der Aquifer selber kann durch Massnahmen im Umfeld (z. B. Erlass von Schutzzonen, Nutzungseinschränkungen, Grabungsverboten, Überwachungen) nachhaltig geschützt werden.

Solche Schutzmassnahmen werden in der Regel Objekt-bezogen ausgearbeitet. Es ist auch zulässig, dass durch raumplanerische Massnahmen, Dekrete und Gesetze generelle Schutzbestimmungen festgelegt werden. Die Einleitung von genutztem Thermalwasser in ein öffentliches Gewässer erfordert meist





spezielle, den lokalen Verhältnissen angepasste Schutzvorschriften: Einleitungsbedingungen für thermale und stark mineralisierte Abwässer, evtl. mit Vorbehandlung, Vorschriften über die Rückführung des gebrauchten Wassers in den Ursprungsaquifer, Sicherung und Erhalt von geologischen Trennwirkungen zwischen den verschiedenen Aquiferen.

Konkrete Schutzmassnahmen für Tiefengrundwasser können auch aus der neuen Vollzugshilfe des BAFU für die Erdwärmenutzung (2009) abgeleitet werden.

In jüngster Zeit sind auf verschiedenen Ebenen (Bund, Kanton) Vorstösse unternommen worden, um die Nutzung und den Schutz des Untergrundes und damit auch der Tiefengrundwässer klarer zu regeln.

Verdankungen

Herrn D. Schaub danke ich für die Durchsicht des Manuskripts, dem AGIS-Team des KAI (Kt. Aargau) für die Mithilfe beim Erstellen der Übersichtskarte «Quellen und Thermen im Aargau».

Literatur

Arbeitskreis Dorfgeschichte der Gemeinde Frick 2007: Sie bohrten nach Salz und stiessen auf eine Mineralquelle. In: Frick – Gestern und heute 10/2007. FF Druck AG, Frick.

BAFU, Bundesamt für Umwelt 2009: Wärmenutzung aus Boden und Untergrund. Vollzugshilfe für Behörden und Fachleute im Bereich Erdwärmenutzung. Umwelt-Vollzug Nr. 0910, Bundesamt für Umwelt, Bern.

Bitterli-Dreher, P., Graf, H. R., Naef, H., Diebold, P., Matousek, F., Burger, H., & Pauli-Gabi, T. 2007: Erläuterungen zum Geolog. Atlasblatt 1070 Baden. Geol. Atlas der Schweiz 1:25'000, 120, Bundesamt für Landestopografie, Bern.

Bitterli, T., Graf, H. R., Matousek, F. & Wanner, M. 2000: Erläuterungen zum Geologischen Atlasblatt 1050 Zurzach. Geol. Atlas der Schweiz 1:25'000, 102, Bundesamt für Landestopografie, Bern.

Brunner, O. 1973: Die Jodwasserquelle. In: Einwohnergemeinde Möriken-Wildeggen (Hrsg.): Gemeinde-Jahrbuch Möriken-Wildeggen 1971-1972, S. 97-110.

Cadisch, J. 1956: Über die Wiedererbohrung der Therme von Zurzach (Kt. Aargau). *Eclogae geol. Helv.* 49/2, 313-316.

Diebold, P. 1986: Erdwissenschaftliche Untersuchungen der Nagra in der Nordschweiz. Strömungsverhältnisse und Beschaffenheit der Tiefengrundwässer. *Mitt. Aargau. Naturf. Ges.* 31, S. 11-51.

Gorhan, H. L. & Griesser, J. C. 1988: Geothermische Prospektion im Raume Schinznach Bad – Baden. *Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Serie* 76.

Gemeinderat Seon 2001: Tiefengrundwasser-Pumpwerk Hallenbad mit Fernwärmeversorgung (Werkbeschreibung). Eigenverlag Gemeinde Seon.

Graf, H. R., Bitterli-Dreher, P., Burger, H., Bitterli, T., Diebold, P. & Naef, H. 2006: Geologische Karte Blatt 1070 Baden (mit Beiträgen von R. Schürch). *Geol. Atlas der Schweiz 1:25'000, Karte* 120.

Hartmann, A. 1925: Die Mineral- und Heilquellen des Kantons Aargau. *Mitt. Aarg. Naturf. Gesellsch., Heft* 17.

Högl, O. 1980: Die Mineral- und Heilquellen der Schweiz. Verlag P. Haupt, Bern.

Jäckli, H. & Rissi, A. 1981: Die Kernbohrung Bzenau. *Eclogae geol. Helv.* 74/1, 285-290.

Kanz, W. 2003: Zurzach, Schinznach, Baden: Thermalwasser kennt keine Grenzen. in: *Umwelt Aargau, Sondernummer* 15, S. 35-38. Kant. Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Aarau.

Matousek, F. & Graf, H. R. 1998: Trinkwasser und Wärme aus 300 Metern Tiefe. in: *Gas, Wasser, Abwasser* 1/98. Schweiz. Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW), Zürich.

Matter, A., Peters, T., Bläsi, H. R., Schenker, F. & Weiss, H. P. 1988: Sondierbohrung Schafisheim, Geologie (Textband, Beilagenband). *Landeshydrologie und -Geologie, Bern: Geologische Berichte* Nr. 8.

Mazor, E., Jaffé, F. C., Flück, J. & Dubois, J. D. 1986: Tritium corrected ^{14}C and atmospheric noble gas corrected ^4He applied to deduce ages of mixed groundwaters: Examples from the Baden region, Switzerland. *Geochim. Cosmochim. Acta* 50, 1611-1618.

Münzel, U. 1947: Die Thermen von Baden, eine balneologische Monographie. *Diss. ETH Zürich* Nr. 1546.

NAGRA 1991: Sondierbohrung Kaisten. Untersuchungsbericht (Text- und Beilagenband). *NAGRA Techn. Ber. NTB* 88-12, Nagra, Wettingen.

NEFF [Nationaler Energieforschungs-Fonds] 1980: Geothermische Prospektion im Raume Koblenz-Wildeggen-Dielsdorf (Schlussbericht). Forschungsprojekt geothermische Energie und unterirdische Wärmespeicherung, Teilprojekt I. (Teil Bohrkampagne: Schneider, J. F. & Tripet, J. P., S. 29-51).

Nussberger, G., Cadisch, J., Keller, A., Nussberger, A. & Werder, J. 1937: Die Mineral- und Heilquellen der Schweiz. Zimmermann, Bern.

Pearson, F. J., Balderer, W., Loosli, H. H., Lehmann, B. E., Matter, A., Peters, T., Schmassmann, H. & Gautschi, A. 1991: Applied Isotope Hydrogeology – A case study in Northern Switzerland. *NAGRA Techn. Ber. NTB* 88-01, Nagra, Wettingen.





- Peters, T., Matter, A., Isenschmid, C., Meyer, J. & Ziegler, H. J. 1989: Sondierbohrung Kaisten, Geologie (Textband, Beilagenband). Landeshydrologie und -Geologie, Bern: Geologische Berichte Nr. 10.
- Rick, B. 2006: Von heissen Quellen und Baugruben. In: Einwohnergemeinde Ennetbaden, Gemeinderat (Hrsg.): Die Kern- und Bäderumfahrung. Ennetbaden auf der Suche nach seiner Zukunft (S. 9-24). Hier und jetzt, Baden.
- Ryf, W. 1984: Thermalwasserbohrung 1983 Engerfeld, Rheinfelden. In: Rheinfelder Neujahrsblätter 1984, S. 43-52.
- Schmassmann, H. 1990: Hydrochemical and isotopic investigations on groundwater origin and flow paths in Switzerland. In: Parriaux, A. (Ed.): Water Resources in Mountains Regions. Mem. 22nd Congr. Int. Assoc. Hydrogeologists, Vol. XXII/1, p. 230-243.
- Schmassmann, H. 1990: Hydrochemische Synthese Nordschweiz: Tertiär- und Malm-Aquifere. NAGRA Techn. Bericht NTB 88-07, Nagra, Wettingen.
- Schmassmann, H., Balderer, W., Kanz, W. & Pekdeger, A. 1984: Beschaffenheit der Tiefengrundwässer in der zentralen Nordschweiz und angrenzenden Gebieten. NAGRA Techn. Bericht NTB 84-21, Nagra, Wettingen.
- Schmassmann, H., Kullin, M. & Schneemann, K. 1992: Hydrochemische Synthese Nordschweiz. Buntsandstein-, Perm- und Kristallin-Aquifere. NAGRA Techn. Bericht NTB 91-30, Nagra, Wettingen.
- Thury, M., Gautschi, A., Mazurek, M., Müller, W. H., Naef, H., Pearson, F. J., Vomvoris, S. & Wilson, W. 1994: Geology and hydrology of the Crystalline basement of Northern Switzerland – Synthesis of regional investigations 1981-1993 within the Nagra radioactive waste disposal programme. NAGRA Techn. Ber. NTB 93-01, Nagra, Wettingen.
- Vuataz, F. D. 1982: Hydrogéologie, géochimie et géothermie des eaux thermales de Suisse et des régions alpines limitrophes. Matér. Géol. Suisse, Hydrol. 29.
- Ziegler, M. A. 1967: Exkursion Nr. 27, Basel - Frick - Staffelegg - Aarau - Bremgarten - Zürich. Teilstrecke II: Frick - Staffelegg - Aarau (470-476). In: Geologischer Führer der Schweiz 6 (Red.: R. Trümpy). Wepf & Co., Basel.
- Zorn, P. A. & Jaffé, F. C. 1983: Les variations du débit des sources thermales de Baden (Canton d'Argovie, Suisse). Eclogae geol. Helv. 76/2, S. 451-463.
- Grosser Rat des Kantons Aargau 1869: Dekret betreffend die Sicherung der bestehenden Heilquellen und das Graben nach solchen in Baden und Ennetbaden, vom 12. Januar 1869. Aarg. Gesetzessammlung, Erster Band: 1803-1911, S. 258-261, Nr. 42.

Unpublizierte Berichte

- Greber, E. 1998: Einfluss der Niederschläge auf die Quellschüttungen der Badener Thermalquellen. Interpretation von hydrogeologischen Messungen. Bericht der Firma magma AG, Zürich, vom 2. Dezember 1998 im Auftrag des Departements Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt.
- Matousek, F., Wahl, F., Fehlmann, H. & Spada, M. 2001: Sanierungsmöglichkeiten des Thermalquellensystems in Baden und Ennetbaden, Phase 1: Zustandserfassung Quellen und Leitungsnetz, Beurteilung Sanierungsbedarf. Bericht Nr. T1047B/0105 vom 12. Januar 2001 [Ingenieurgemeinschaft Matousek, Baumann & Niggli / Bänziger + Bacchetta + Fehlmann; beide in Baden].
- NAGRA 1986: Überwachung bedeutender Mineralquellen und Thermen der Nordschweiz und angrenzender Gebiete: Resultate der Messstationen mit permanenter Aufzeichnung. Nagra, Wettingen; interner Bericht.
- Peter, H. 1922: Expertenbericht von Ing. H. Peter an die Baudirektion des Kantons Aargau über die Thermalquellen von Baden, vom 14. Januar 1922.
- Rick, B. 1999: Thermalquellen Baden/Ennetbaden: Erhebungen über chemische Analysen und deren statistische Auswertung (Hydrogeologischer Bericht). Dr. von Moos AG, Zürich, Bericht Nr. 6436 vom 29. Oktober 1999.
- Rick, B. & Henzen, M. 2006: Kern- & Bäderumfahrung Ennetbaden, Überwachung der Thermen Baden/Ennetbaden: Messperiode November 2005 bis Mai 2006 (mit Quellschüttungsdaten 1993-2006). Dr. von Moos AG, Zürich, Bericht Nr. 7200-6 vom 6. Juni 2006.
- Sachs, O. & Müller, M. 2009: Hydrogeologischer Bericht zur EWS-Anlage und neu entdeckter mineralstoffreicher Arteser in Mumpf. Bericht Nr. A 1144/QS der Firma Eberhard & Partner AG, Aarau, vom 3. August 2009 im Auftrag des Departements Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt.
- Schneider & Matousek AG (1994): Vorsorgliche Untersuchung bei der vorderen und hinteren Germatt-Deponie in der Gemeinde Sulz. Bericht Nr. D379/2B vom 11. Februar 1994 im Auftrag des Departements Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt.

Historische Dokumente und Rechtserlasse

- Ohne Autor: «Verbal über den Zustand und die Beschaffenheit der Heil-Quellen bei Baden» (2. August 1858): Bestandesaufnahme der Quellen unter Aufsicht der kantonalen Baudirektion und des Bezirksamtes Baden. Staatsarchiv des Kantons Aargau, Entfelderstrasse 22, 5001 Aarau.

