

Donnerstag 17. Oktober 2013

11:30-12:00

Tiefengrundwässer in Bayern – Vorkommen, Schutz und Bewirtschaftung, LfU-Projekt „Abgrenzung und Charakterisierung von Tiefengrundwässern in Bayern“

Christian Kassebaum, Katrin Kley

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Referat 93 Grundwasserschutz

Abstract:

The need for establishing individual protection and management criteria for deep groundwater systems is caused by political and federal state planning guidelines and by increasing pressure on utilisation of deep groundwater resources. Therefore, the leaflet "Nutzung tiefer Grundwässer" ("Utilisation of deep groundwater") will be updated and enhanced. Three simplified and user-friendly deep groundwater system models were developed for the leaflet caused by the lack of a generally accepted definition for deep groundwater. Deep groundwater within the meaning of the leaflet can be equated with slowly regenerating groundwater systems. As part of an associated project for working out the subject-specific fundamentals, deep groundwater systems of Bavaria are delimited by hydrogeologic, isotopic and hydrochemical aspects. Thus, a Bavarian statewide isotope database was compiled. Currently, primary investigation areas are the molasse basin, the Upper Jurassic (Malm) and the Benk-Formation (Benker Sandstein, Upper Triassic).

Vorgaben und Hintergrund

Tiefengrundwasser (langsam regenerierende Grundwassersysteme) wird in Bayern hinsichtlich Schutz und Bewirtschaftung besondere Bedeutung beigemessen.

Die wasserwirtschaftliche Abgrenzung von Tiefengrundwässern gegenüber oberflächennahen schnell regenerierenden Grundwässern basiert in Bayern einerseits auf politischen Vorgaben wie dem Beschluss des Bayerischen Landtags vom 01.07.1994 (Drucksache des Bayerischen Landtags 12/16495) sowie auch auf landesplanerischen Grundsätzen des Landesentwicklungsprogramms Bayern (LEP Bayern) in der Fassung vom 22.08.2013, welches die Vorgaben des Bayerischen Landesplanungsgesetzes (BayLplG) konkretisiert. Im. o. g. Landtagsbeschluss wird formuliert, „...dass auf Grundwasser – vor allem aus tieferen Stockwerken – nur bei unabdingbarer Notwendigkeit zurückgegriffen wird, um die Wasserreservoirs auch für morgen zu erhalten.“, während gem. LEP Bayern „Tiefengrundwasser [...] besonders geschont und nur für solche Zwecke genutzt werden [soll], für die seine speziellen Eigenschaften notwendig sind“. Begründung für die besondere Stellung von Tiefengrundwasser im LEP Bayern ist die langsame Erneuerung, das hohe Alter (bzw. Altersstruktur) und die zumeist natürliche Reinheit, wodurch sich einerseits der besondere Schutz vor nachteiligen Veränderungen, aber andererseits auch das besondere Risiko irreversibler nachteiliger

Veränderungen ergeben. Daraus resultieren Konsequenzen hinsichtlich der Bewirtschaftung von Tiefengrundwasservorkommen, die im LEP erläutert werden: Tiefengrundwasser soll als „eiserne Reserve“ in Not und Krisenfällen dienen, es ist Zwecken vorbehalten, die eine besondere Reinheit und hohe Temperatur bedürfen (z. B. Heilwasser, Mineralwasser, Thermalwasser inkl. tiefe Geothermie); es sind besonders strenge Maßstäbe hinsichtlich sparsamer Nutzung zu setzen, nachteilig veränderte oberflächennahe Grundwasservorkommen sind im Hinblick auf die Schonung von Tiefengrundwasservorkommen zu sanieren sowie sind z. B. tiefgreifender Rohstoffabbau, tiefe Bohrungen, Verpressungen u. ä. im Bereich von Tiefengrundwasservorkommen zu vermeiden.

Im Hinblick auf eine aus wasserwirtschaftlicher Sicht (qualitative und / oder quantitative Besorgnis) ggf. notwendige Versagung einer gem. § 8 und § 9 WHG beantragten Tiefengrundwasserentnahme kann der § 12 WHG Abs. 1 herangezogen werden. Demnach ist *„die Erlaubnis und die Bewilligung [...] zu versagen [...], wenn schädliche, auch durch Nebenbestimmungen nicht vermeidbare oder nicht ausgleichbare Gewässeränderungen zu erwarten sind [...].“*

Insbesondere hinsichtlich des wasserwirtschaftlichen (bayernweiten) Vollzugs der o. g. politischen und landesplanerischen Vorgaben war die Notwendigkeit gegeben, diese im LfU-Merkblatt 1.4/6 „Nutzung tiefer Grundwässer“ (Stand 28. Juni 1995) zu konkretisieren und hydrogeologisch zu begründen.

Probleme, Fragestellungen und Zielsetzungen

Die Erfahrungen der letzten Jahre im Zuge der Bewirtschaftung von Tiefengrundwasservorkommen in Bayern zeigen, dass wiederholt ähnliche Fragestellungen aufgeworfen werden sowie vergleichbare Probleme auftreten.

Ein grundsätzliches und typisches Problem ist die Definition des Begriffs „Tiefengrundwasser“ selbst, da der Begriff zwar in Wissenschaft, Wasserwirtschaft, Politik und im allgemeinen Sprachgebrauch eingeführt ist, jedoch unterschiedlich weit gefasst wird. Es ist keine allgemein anerkannte Definition in der Fachliteratur vorhanden. Insbesondere ist die absolute Tiefe des Grundwasservorkommens kein begriffsbestimmendes Kriterium. Die zu entwickelnde Begriffsbestimmung sollte für alle Tiefengrundwasservorkommen in Bayern gelten, unabhängig davon, ob unterschiedliche hydrogeologische Systeme wirksam sind.

Das drängendste Problem ist jedoch der stetig steigende Nutzungsdruck auf die Tiefengrundwasservorkommen in den letzten Jahren, wobei dieser nicht nur auf die Trinkwasserversorgung, sondern auch auf beantragte und genehmigte Entnahmen von z. B. Industrie und Landwirtschaft zurückzuführen ist. Eine wasserwirtschaftliche Priorisierung der unterschiedlichen Nutzungsarten erscheint im Hinblick auf eine nachhaltige Bewirtschaftung demnach dringend notwendig. Ebenso zeigt sich im wasserwirtschaftlichen Vollzug, dass die Tiefengrundwasservorkommen in Bayern nicht alle nach den gleichen wasserwirtschaftlichen Grundsätzen nachhaltig bewirtschaftet werden können. Die Formulierung individueller

wasserwirtschaftlicher Bewirtschaftungsgrundsätze ist der gewählte Lösungsansatz, wobei diese aus den differierenden hydrogeologischen Verhältnissen resultieren bzw. durch diese zu begründen sind.

Aufgrund regional vorhandener nachteiliger Veränderungen oberflächennaher Grundwasservorkommen durch anthropogene Schadstoffe (insbesondere Nitrat und / oder PSM), ist häufig das Phänomen „Flucht in die Tiefe“ zu beobachten, d. h. Wasserversorger bzw. Industrie weichen oftmals aufgrund belasteter oberflächennaher Grundwasservorkommen auf Tiefgrundwasservorkommen aus. Daraus resultieren i. d. R. nicht nur lokal, sondern oft auch regional signifikante Änderungen der natürlichen grundwasserhydraulischen Potentialverhältnisse und damit verstärkte Schadstoffverlagerungen von z. B. Nitrat und PSM in geogen grundsätzlich gut geschützte Tiefgrundwasservorkommen. Aufgrund der typischerweise langen Umsatzzeiträume im Zuge der Grundwasserneubildung bei Tiefgrundwasservorkommen, ist eine nachteilige Veränderung oft erst stark verzögert zu erkennen. Gleichmaßen hat eine Sanierung (Maßnahmen im Hinblick auf eine Reduzierung der Emissionen in den oberflächennahen Grundwasserleiter) erst über Jahrzehnte Aussicht auf Erfolg bzw. ist dieser erst nach sehr langen Zeiträumen immissionsseitig im Tiefgrundwasserleiter zu beobachten. Neben den o. g. qualitativen Problemen sind in Bayern auch Tiefgrundwasservorkommen bekannt, die aufgrund von Übernutzung quantitative Defizite aufweisen. Diese werden durch lokal und regional sinkende Grundwasserstände und daraus resultierend auch durch „wandernde“ Grundwasserscheiden offensichtlich. Letztere können auch aus qualitativer Sicht erhebliche Probleme nach sich ziehen, da durch die Verlagerung (i. d. R. Vergrößerung) des Einzugsgebietes Gebiete angekoppelt werden können (z. B. belastete oberflächennahe Grundwasserleiter), die auch eine nachteilige qualitative Veränderung des Tiefgrundwasserkörpers bewirken.

Die Quantifizierung der Grundwasserneubildung von Tiefgrundwasservorkommen ist grundsätzlich schwierig, da im Vergleich zu Wasserfassungen in oberflächennahen Grundwasservorkommen die Betrachtung und Bilanzierung der lokalen hydrogeologischen und hydrologischen Verhältnisse nicht ausreicht. Je nach Tiefgrundwasservorkommen muss i. d. R. eine zumindest regionale oder z. T. auch überregionale Betrachtung und Bilanzierung durchgeführt werden. Die Quantifizierung der Grundwasserneubildung und damit auch die zu gestattenden Entnahmemengen im Rahmen von Wasserrechtsverfahren sind oft nur mittels aufwändiger Grundwasserströmungsmodelle möglich. Ein Lösungsweg hierfür wäre z. B., für die Tiefgrundwasservorkommen in Bayern im Rahmen von regionalen und überregionalen Studien, hydrogeologische Modelle und darauf aufbauende Grundwasserströmungsmodelle zu entwickeln, die bei speziellen Fragestellungen wie z. B. bei einem Antrag auf Entnahme als Grundlage für ein räumlich begrenztes Detailmodell dienen können. Damit kann der Aufwand eines einzelnen Antragsstellers reduziert, das Gesamtmodell und die hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Kenntnisse einer bestimmten Region sukzessive verbessert und eine nachhaltige Bewirtschaftung ermöglicht werden. Ein vergleichbares Konzept wird in Bayern z. B. in den Regionen Augsburg und München erfolgreich verfolgt.

Resultierend aus den o. g. Problemen und Fragestellungen ergab sich die Notwendigkeit das LfU-Merkblatt Nr. 1.4/6 „Nutzung tiefer Grundwässer“ fortzuschreiben. Hierfür wurde am LfU Bayern einerseits eine „Arbeitsgruppe Tiefengrundwasser“ (LfU-Referate, StMUV, WWÄ, Regierungen) gegründet und andererseits das Projekt „Abgrenzung und Charakterisierung von Tiefengrundwässern in Bayern“ initiiert, welches die fachlichen Grundlagen und Argumente für die Entwicklung individueller wasserwirtschaftlicher Grundsätze liefern soll.

Potentielle Tiefengrundwasservorkommen in Bayern

Im Zuge der o. g. Fortschreibung und des Projektes werden verschiedene potentielle Tiefengrundwasservorkommen in Bayern untersucht und charakterisiert (**Abbildung 9**), wobei bei einigen Vorkommen sich erst zeigen wird, ob diese tatsächlich als Tiefengrundwasservorkommen im Sinne des Merkblattes gelten können. Für die übrigen sind auf Basis der hydrogeologischen Charakteristika individuelle Bewirtschaftungsgrundsätze zu entwickeln.

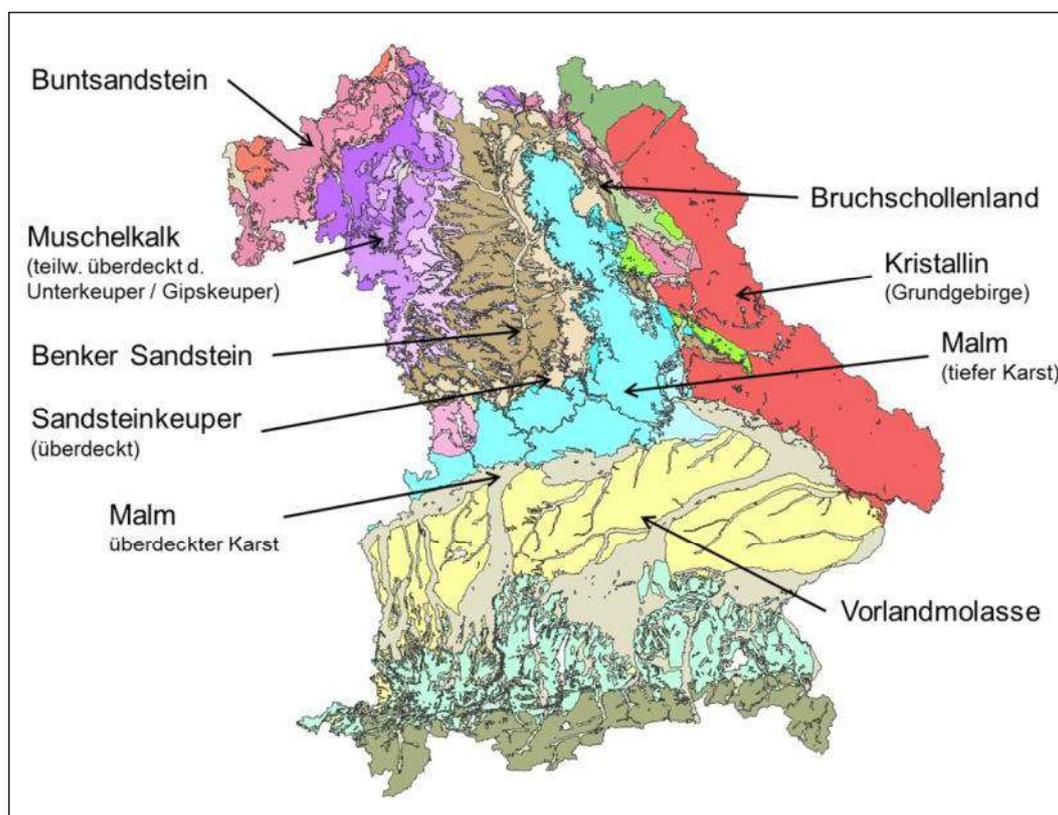


Abbildung 9: Tiefengrundwasservorkommen in Bayern

Tiefengrundwasser-Systeme in Bayern – Modellvorstellungen

Im Zuge der Fortschreibung des Merkblattes hat sich gezeigt, dass die Tiefengrundwasservorkommen differenziert zu betrachten sind, da diese im Hinblick auf z. B. hydrogeologische Verhältnisse, Vulnerabilität und Bedeutung unterschiedliche Voraussetzungen und Möglichkeiten der wasserwirtschaftlichen Nutzung bieten. Daraus resultierend ist ein Ziel der Fortschreibung die steuernden hydrogeologischen Verhältnisse (Systeme) modellhaft zu beschreiben bzw. diese zu

systematisieren, um damit eine fachliche Argumentationsgrundlage für die Aufstellung individueller Bewirtschaftungsgrundsätze zu schaffen.

Grundannahme für die Entwicklung einer Systematisierung ist, dass Tiefengrundwässer im Wesentlichen durch eine Altersstruktur von mindestens mehreren Jahrzenten (bis Jahrtausenden) zu charakterisieren und identifizieren sind. Diese Eigenschaft stellt sinngemäß den „kleinsten gemeinsamen Nenner“ von Tiefengrundwässern unterschiedlicher (hydrogeologischer) Herkunft dar und ist Folge des übergeordneten Prozesses langer Umsatzzeiträume im Zuge der Grundwasserneubildung. Dieser Prozess ist wiederum das Resultat der vorherrschenden hydrogeologischen Verhältnisse bzw. wird durch diese gesteuert.

Im Folgenden werden erste Ansätze für stark vereinfachte Tiefengrundwassermodelle vorgestellt, welche insbesondere auch Nicht-Fachleuten (in der Wasserversorgung, Verwaltung, Politik) Hilfestellung bieten sollen, daraus abgeleitete und begründete individuelle Bewirtschaftungsgrundsätze nachvollziehen und anwenden zu können.

Basierend auf den unterschiedlichen hydrogeologischen Verhältnissen können als steuernde Elemente für die Genese von Tiefengrundwasser vereinfacht drei Tiefengrundwasser-Systeme beschrieben werden, die einzeln oder in Kombination auftreten können:

- System 1 Grundwasserstockwerks-Modell
- System 2 Grundwasserleiter-Modell
- System 3 Grundwasserschichtungsmodell

System 1 - Grundwasserstockwerks-Modell

Bei dem Grundwasserstockwerks-Modell (Abbildung 10) handelt es sich um ein „klassisches“ langsam regenerierendes Grundwassersystem. Bei ungestörten Potentialverhältnissen erfolgt die Trennung von Tiefengrundwasser (2. Grundwasserstockwerk) und oberflächennahem Grundwasser (1. Grundwasserstockwerk) aufgrund der hydraulischen Stockwerkstrennung durch einen Grundwasserhemmer. Typisch für das System 1 ist die vergleichsweise geringe (bzw. stark verzögerte) Grundwasserneubildung, die zum einen z. B. über Leakage aus dem hangenden 1. Grundwasserstockwerk und zum anderen über ggf. räumlich weit entfernte Ausstrichbereiche des Tiefengrundwasserleiters erfolgt. Bei Verringerung des Potentials im 2. Grundwasserstockwerk durch Entnahme resultiert ein verstärkter Leakage aus dem 1. Grundwasserstockwerk und damit eine langsame kontinuierliche Verlagerung anthropogenen Schadstoffpotentials in das Tiefengrundwasservorkommen. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist in Bayern das Tiefengrundwasservorkommen „Benker Sandstein“ (Gipskeuper) ein typisches Beispiel für das System 1.

System 2 - Grundwasserleiter-Modell

Bei dem System 2 „Grundwasserleiter-Modell“ (Abbildung 11) wird im Gegensatz zum System 1 nur das 1. Grundwasserstockwerk betrachtet, hier jedoch differenziert in die Grundwasserleiter 1.1 und

1.2. Die hydraulische Abgrenzung zwischen Grundwasserleiter 1.1 und Grundwasserleiter 1.2 bei natürlichen (ungestörten) Potentialverhältnissen resultiert im Wesentlichen auf signifikanten Unterschieden der hydraulischen Leitfähigkeit der Grundwasserleiter (z. B. k_f 10^{-02} zu 10^{-05} m/s). Aus der großen Differenz der hydraulischen Leitfähigkeit resultieren unterschiedlich lange Grundwasserneubildungszeiträume und damit unterschiedliche Altersstrukturen. Im Vergleich zu System 1 reagiert das System 2 äußerst sensibel und verhältnismäßig schnell auf anthropogen induzierte Potentialänderungen. Bei Entnahme aus Grundwasserleiter 1.2 erfolgt eine vergleichsweise schnelle Verlagerung von Schadstoffen aus Grundwasserleiter 1.1 in 1.2. Es ist jedoch zu beachten, dass je nach Lage (Neubildungsgebiet – Entlastungsgebiet) unterschiedliche große Potentiale auftreten können. Ein mögliches Beispiel für das System 2 könnte grundsätzlich der Buntsandstein (überlagert mit quartären fluviatilen Sedimenten, wie z. B. im Maintal) sein.

System 3 - Grundwasserschichtungs-Modell

Bei dem System 3 „Grundwasserschichtungs-Modell“ (**Abbildung 12**) wird ebenso wie bei System 2 nur ein Grundwasserstockwerk betrachtet, jedoch im Gegensatz zu diesem lediglich ein einziger Grundwasserleiter. Die Änderung der Altersstruktur innerhalb des als „quasihomogen“ angesehenen Grundwasserleiters bzw. Grundwasserstockwerks korreliert mit der Tiefe bzw. der Grundwassermächtigkeit aufgrund der zunehmend längeren Umsatzzeiträume. Bei ungestörten Potentialverhältnissen liegt damit eine „Schichtung“ des Grundwassers vor. Das System reagiert direkt äußerst sensibel und verhältnismäßig schnell (im Vergleich zu System 1) auf anthropogen induzierte Potentialänderungen, womit bei Entnahme aus großer Tiefe eine relativ schnelle Verlagerung von oberflächennahem Schadstoffpotential erfolgen kann. Ein mögliches Beispiel für das System 3 könnte grundsätzlich der tiefe Malmkarst (nicht überdeckt) sein.

Kombination der Systeme

Ein typisches Beispiel für die Kombination der Systeme ist das in **Abbildung 13** dargestellte Tiefengrundwasservorkommen in den tertiären Sedimenten der Vorlandmolasse. In diesem Beispiel sind im 1. Grundwasserstockwerk verschiedene schwebende Grundwasserstockwerke bzw. regional begrenzte Grundwasservorkommen vorhanden, die je nach Art und Mächtigkeit der ungesättigten Zone unterschiedlich lange Umsatzzeiträume aufweisen – es handelt sich hier i. d. R. um junge Grundwässer und keine Tiefengrundwässer i. S. d. Merkblattes. Das Hauptgrundwasserstockwerk besteht aus dem Grundwasserleiter 2.1 (quartäre Sedimente, z. B. Talfüllungen) und dem Grundwasserleiter 2.2 (eigentlicher Tiefengrundwasserleiter, z. B. Vorlandmolasse). Während im Grundwasserleiter 2.1 die aktuelle Grundwasserneubildung mit kurzen Umsatzzeiträumen erfolgt, sind beim Grundwasserleiter 2.2 lange Umsatzzeiträume und im Vergleich zu den oberflächennahen Grundwasservorkommen geringe Umsatzraten (Grundwasserneubildung) zu verzeichnen. Die Grundwasserneubildung findet hier als (langsame) Aufsättigung über die ungesättigte Zone des 1. Grundwasserstockwerks statt, wodurch das Grundwasser des Grundwasserleiters 2.2 ein hohes Grundwasseralter aufweist. Im Bereich der „Entlastungszone“ erfolgt eine Mischung der Wässer aus den Grundwasserleitern 2.1 und 2.2, d. h. eine Mischung von junger und alter Komponente. Ebenso weisen die dort aufsteigenden Tiefengrundwässer oftmals einen sehr geringen

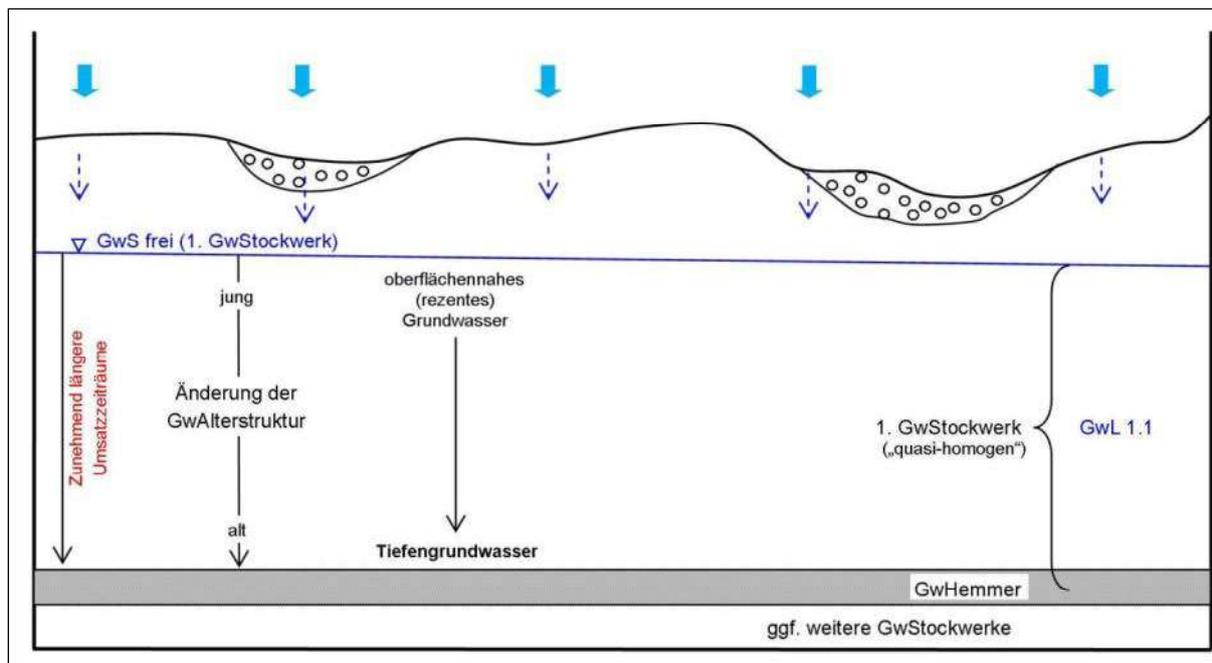


Abbildung 12: System 3 – Grundwasserschichtungs-Modell

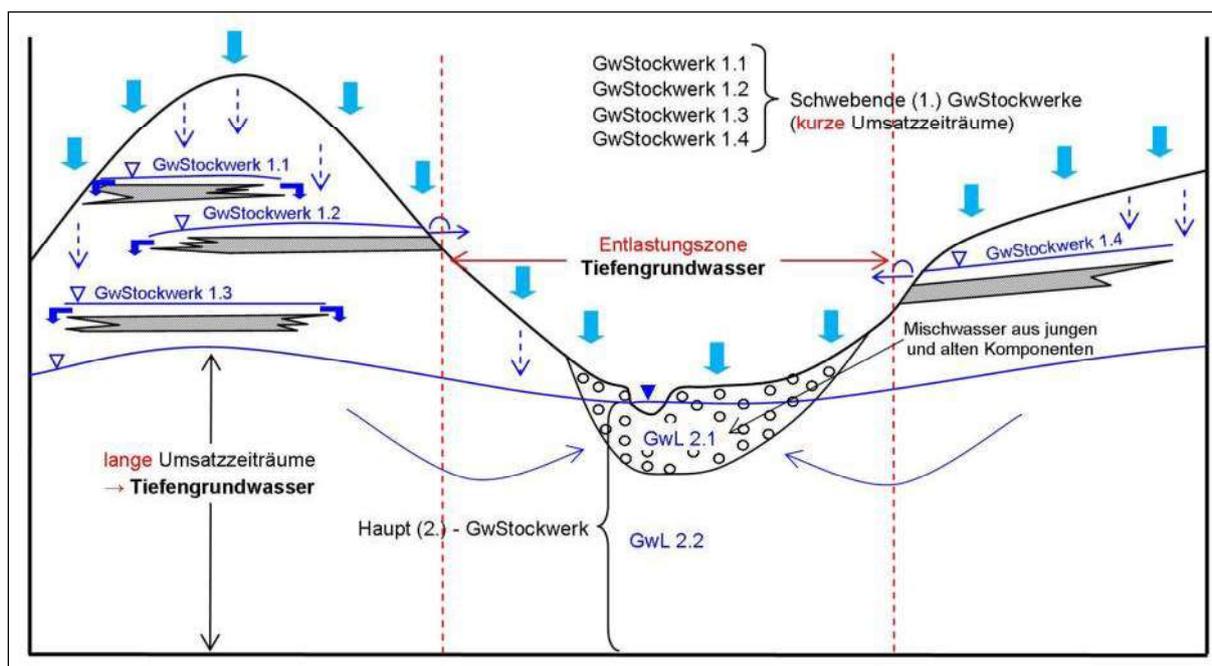


Abbildung 13: Kombination der Grundwassersysteme

Begriffsbestimmungen

Die für alle Tiefengrundwasservorkommen in Bayern geltende Begriffsbestimmung i. S. d. Merkblattes sollte im Wesentlichen den Aspekt der langen Umsatzzeiträume aufgreifen und die damit verbundenen vergleichsweise geringen Grundwasserneubildungsraten. Ebenso unterscheiden sich langsam umgesetzte Grundwässer physikalisch und chemisch meist charakteristisch von schneller regenerierenden Grundwässern. Der Begriff „Tiefengrundwasser“ i. S. d. Merkblatts soll synonym mit „langsam regenerierenden Grundwassersystemen“ verwendet werden.

LfU-Projekt: „Abgrenzung und Charakterisierung von Tiefengrundwässern in Bayern“

Das Projekt „Abgrenzung und Charakterisierung von Tiefengrundwässern in Bayern“ wird begleitend zur Arbeitsgruppe „Tiefengrundwasser“ bearbeitet, um die fachlichen Grundlagen für die Fortschreibung des Merkblattes zur Verfügung zu stellen.

Nach hydrogeologischen, hydrochemischen und isotopischen Gesichtspunkten werden die Tiefengrundwasservorkommen in Bayern charakterisiert und räumlich abgegrenzt. Zu jedem Tiefengrundwasservorkommen wird ein Steckbrief entwickelt, der die wesentlichen Eigenschaften und individuelle Schutz- und Nutzungskriterien (wasserwirtschaftliche Bewirtschaftungsgrundsätze) beinhaltet.

Zu Beginn werden die Tiefengrundwasservorkommen nach hydrogeologischen und isotopischen Kriterien abgegrenzt, in einem weiteren Schritt wird die Hydrochemie ergänzend berücksichtigt.

Für die isotopische Charakterisierung von Grundwässern lagen bisher keine bayernweiten Isotopenanalysen in auswertbarer Form (keine zentrale Erfassung in einer Datenbank) vor. Aufgrund dessen wurde eine Isotopendatenbank erstellt, die laufend um recherchierte analoge Daten erweitert wird. Zum Abschluss des Projektes werden die Isotopenanalysen in die wasserwirtschaftliche Datenbank für quantitative und qualitative Messdaten (INFO-Was) der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung eingepflegt.

Ein weiteres Ziel des Projektes ist die Recherche von Grundwasserströmungsmodellen mit Bezug zum Tiefengrundwasser. Schlussendlich soll zu jedem Brunnen oder jeder Grundwassermessstelle in der Datenbank Gewässeratlas Bayern (GWA) / Bodeninformationssystem Bayern (BIS) ein neues Attributfeld „Tiefengrundwassererschließung“ ergänzt werden („ja / nein“ und u. U. „Mischwasser“ oder „dominant alt / jung“), so dass über diese Klassifizierung in Zukunft Tiefengrundwassererschließungen einfacher recherchiert werden können.

Isotopendatenbank

Die neu angelegte Isotopendatenbank enthält zum Zeitpunkt Oktober 2013 etwa 3.600 Datensätze an über 1.250 Messstellen, wobei ein Datensatz eine Probenahme zu einem Zeitpunkt an einer Messstelle darstellt. Die Datenbank enthält bislang die recherchierten Isotope Tritium, Sauerstoff-18, Deuterium, Kohlenstoff-14, Krypton-85, Argon-39, Argon-37, Stickstoff-15 / Sauerstoff-18 am Nitrat und Stickstoff-15 am Ammonium.

Die meisten Datensätze beinhalten Analyseergebnisse von Tritium. Tritium wurde ab den 1950er in großer Menge anthropogen durch Atombombentests in die Atmosphäre eingetragen. Über den Niederschlag erreicht Tritium das Grundwasser, die höchste Tritiumkonzentration im Niederschlag wurde 1963 gemessen (Gonfiantini et al., 1998). Tritium verhält sich als Teil des Wassermoleküls als idealer Tracer mit einer Halbwertszeit von etwa 12,32 Jahren (Lucas & Unterweger, 2000). Heutzutage ist der Tritiuminput auf der Nordhalbkugel beinahe wieder auf die natürliche Hintergrundkonzentration gesunken. Dennoch kann Tritium nach wie vor zu Aussagen über die Grundwasseraltersstruktur der jungen Grundwasserkomponente z. B. unter Berücksichtigung langjähriger Tritiumzeitreihen oder mit Hilfe von Doppelbestimmungen mit Krypton-85 oder dem

Tochternuklid Helium-3 herangezogen werden (Gonfiantini et al., 1998). Im Projekt „Tiefengrundwasser“ interessieren zunächst vorrangig annähernd „tritiumfreie“ Grundwässer (< 0,7 TU) und Mischwässer mit einer dominant alten Grundwasserkomponente. Die alte Grundwasserkomponente wurde vor 1950 neugebildet, somit vor über 60 Jahren bei gegenwärtigen Probenahmen. Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass eine mittlere Verweilzeit von 60 Jahren nicht als absolute Grenze im Hinblick auf die Definition von Tiefengrundwasser gelten soll. Die ersten Tritiumanalysen in der Datenbank stammen von 1968 (im Sandsteinkeuper). Der Großteil der Tritiumanalysen wurde im Bereich der Vorlandmolasse gemessen - bedingt durch größere Studien in den letzten 20 Jahren (**Abbildung 14**).

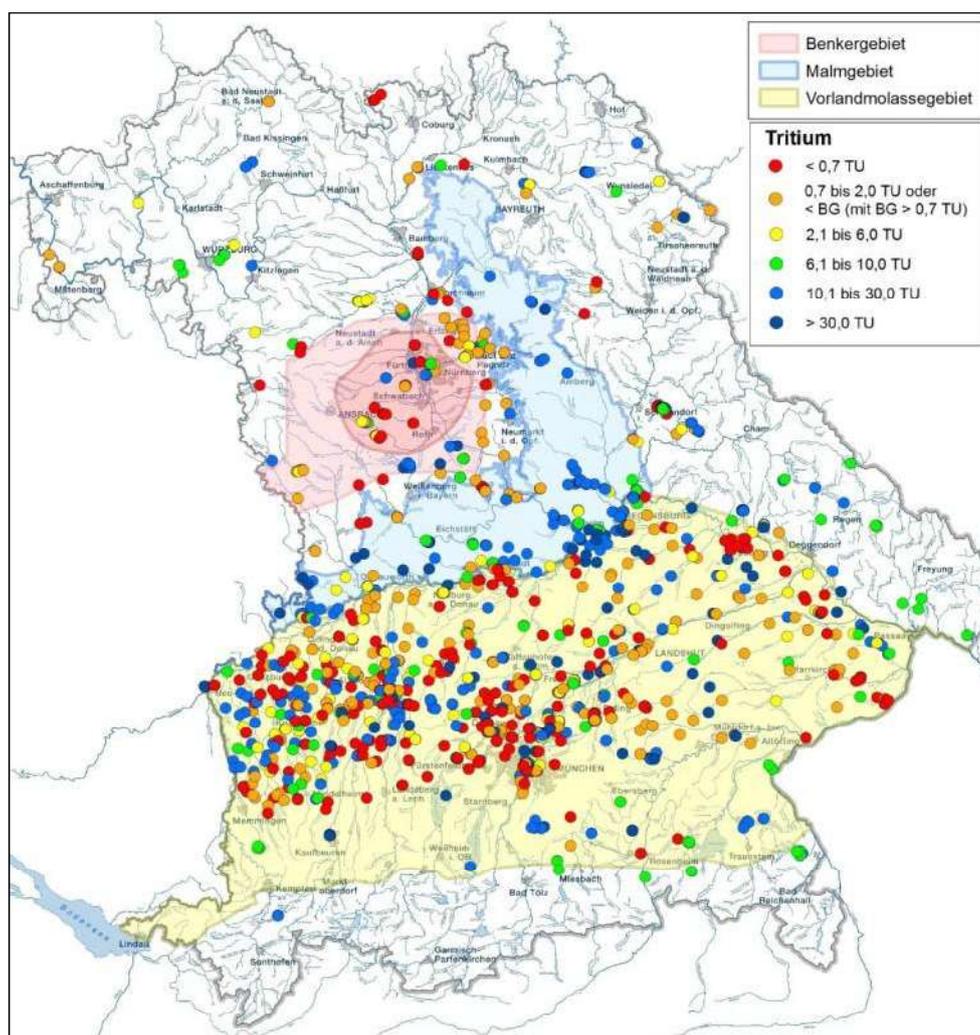


Abbildung 14: Übersicht der in der bayernweiten Isotopendatenbank enthaltenen Tritiumanalysen

Die stabilen Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium (erfasst in δ -Notation) sind nach Tritium am häufigsten in der bayernweiten Isotopendatenbank vertreten. Aufgetragen im D/O-Diagramm gruppieren sich die Analysen um die Niederschlagsgerade (Meteoric Water Line, MWL, **Abbildung 15**). Für Bayern wird regionsabhängig eine Niederschlagsgerade mit einem Deuterium-Exzess von etwa +8 bzw. +9 angewendet, angenähert durch Auswertung der Isotopenanalysen von Niederschlagsproben der Datenbank GNIP von der IAEA (IAEA / WMO, 2013). Leichtere Werte von

Sauerstoff-18 und Deuterium geben einen Hinweis auf eine kaltzeitliche Bildung (Pleistozän), die jedoch grundsätzlich auch auf ein höher gelegenes Einzugsgebiet oder eine Grundwasserneubildung nahezu ausschließlich aus Winterniederschlägen zurückgeführt werden können (Clark & Fritz, 1997; Gonfiantini et al., 1998).

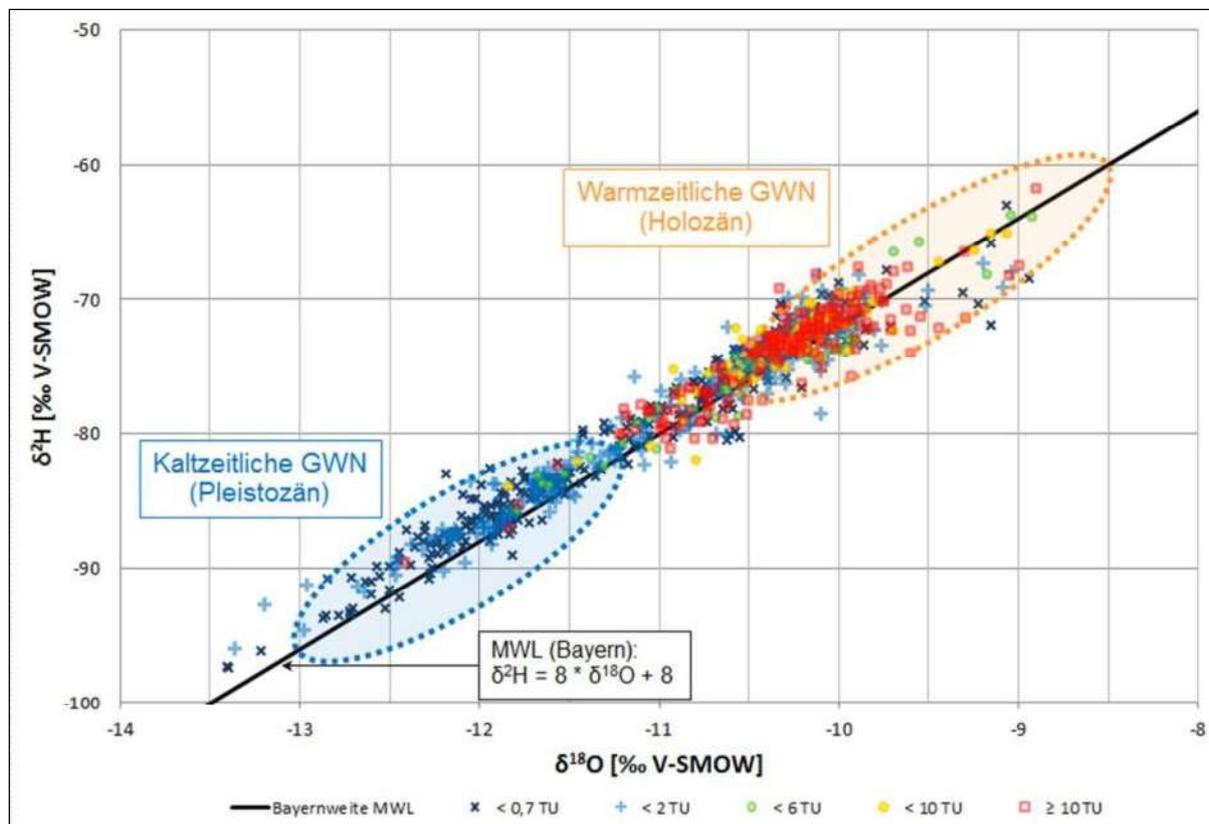


Abbildung 15: D/O-Diagramm mit in der bayernweiten Isotopendatenbank enthaltenen Analysen von Sauerstoff-18 und Deuterium klassifiziert nach den gleichzeitig gemessenen Tritiumwerten

Aufgrund von Lösungs- und Austauschprozessen in der ungesättigten und gesättigten Zone von Infiltrationsbeginn an, kann von einem im Grundwasser gemessenen Kohlenstoff-14-Gehalt nicht unmittelbar auf das mittlere Grundwasseralter geschlossen werden. Mit Kohlenstoff-13 (in δ -Notation) wird der Kohlenstoff-14-Anfangsgehalt über verschiedene Ansätze korrigiert (Clark & Fritz, 1997). Trotzdem bleibt das ermittelte Grundwasseralter lediglich eine grobe Näherung. Ein Grundwasser mit sehr niedrigen Kohlenstoff-14-Werten kann dennoch vorbehaltlos als sehr alt betrachtet werden.

Der atmosphärische Input von Krypton-85 ist weiter ansteigend, was ihn in der Doppelbestimmung mit Tritium zu einem sehr geeigneten Tracer für junge Mischwässer macht. Krypton-85 trägt als Gas die Information der Verweildauer in der gesättigten Zone, während die mit Tritium abgeschätzte mittlere Verweilzeit ab Infiltrationsbeginn gilt (Gonfiantini et al., 1998). Für das Projekt Tiefengrundwasser interessieren wie bei Tritium hauptsächlich annähernd Krypton-85-freie Grundwässer.

Primäre Untersuchungsgebiete

Die primären Untersuchungsgebiete sind derzeit das Gebiet der Vorlandmolasse, das Gebiet des Malms sowie das Gebiet des Benker Sandsteins (Lage s. Abb. 1).

Im Untersuchungsgebiet der Vorlandmolasse liegen zwei größere neuere Studien vor, eine im Raum Augsburg (2003) sowie eine im Raum München (2011). Die Grundwassergleichenpläne der Studien sollen aktualisiert und mit dem Grundwassergleichenplan der Hydrogeologischen Karte von Bayern im Maßstab 1:500.000 (HK 500, Blatt 3) zusammengeführt werden. Die Aktualisierung erfolgt in einem ersten Schritt durch Ergänzung weiterer tritiumfreier Stützpunkte, die bisher nicht berücksichtigt bzw. dem oberen Tertiärstockwerk zugeordnet wurden. Die aktualisierten Daten sollen bei der Fortschreibung der Augsburg-Studie Berücksichtigung finden, wodurch die Aussagen hinsichtlich der nachhaltigen Tiefengrundwassernutzung präzisiert werden.

Der Benker Sandstein ist mit den Myophorienschichten (geringere Durchlässigkeit) faziell verzahnt, womit eine räumliche Abgrenzung des Benker Sandsteins schwierig ist. Die Myophorienschichten werden eher im nordwestlichen Randbereich des Untersuchungsraums erschlossen. Derzeit werden alle durch Brunnen erschlossenen Grundwasserleiter im Umgriff überprüft und gegebenenfalls hydrogeologisch neu eingestuft.

Der überdeckte Malmkarst im Bereich der Vorlandmolasse ist zweifellos Tiefengrundwasser im Sinne des Merkblatts und die Grundwasserproben sind zumeist auch tritiumfrei. Im Untersuchungsgebiet des Malms (offener Malm) gliedert sich der Malmkarst in eine seichte und eine tiefe Komponente. Die bisherige Annahme ist, dass Grundwasser im tiefen Malmkarst i. S. d. Merkblattes Tiefengrundwasser bzw. ein langsam regenerierendes Grundwassersystem darstellt und im Gegensatz zum seichten Malmkarst tritiumfrei ist, obwohl keinerlei hydraulisch wirksame Stockwerkstrennung vorhanden ist. Bisher liegen jedoch kaum tritiumfreie Analysen aus dem offenen Malmkarst vor.

Derzeit werden durch das LfU Tiefengrundwasser-Beprobungen durchgeführt, hauptsächlich im Gebiet des offenen tiefen Malmkarsts sowie im Gebiet des Benker Sandsteins. Untersucht werden die Parameter Tritium, Sauerstoff-18 und Deuterium. Es sind kaum tiefe Malm-Grundwassermessstellen vorhanden, die nicht zugleich in einem höheren Niveau verfiltert sind. Weitere Probenahmen erfolgen im Muschelkalk und Buntsandstein. Durch diese Beprobungen sollen geeignete Grundwassermessstellen ausgewählt werden, um ein langfristiges Monitoringprogramm von Tiefengrundwasservorkommen aufzubauen.

Literatur

Clark, I. D., Fritz, P. (1997): Environmental Isotopes in Hydrogeology. 328 p., Lewis Publisher, New York.

Gonfiantini, R., Fröhlich, K., Araguás-Araguás, L., Rozanski, K. (1998): Isotopes in Groundwater Hydrology. – In: Kendall, C., McDonnell, L. L. (eds.): Isotope Tracers in Catchment Hydrology, p. 203-246, Elsevier Science B.V., Amsterdam.

IAEA / WMO (2013): Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Accessible at: <http://www.iaea.org/water>.

Lucas, L. L., Unterweger, M. P. (2000): Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of tritium. – In: J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol., vol.: 105, No. 4, p. 541-549.