DIS-Projekt Nr. : 46'977 DIS-Vertrags Nr.: 87'099	Geothermie	Im Auftrag des **Bundesamtes für Energie**

Schlussbericht Dezember 2004

Arteserkarte der Schweiz

Teilgebiet Basel - Luzern

ausgearbeitet durch
V. Lützenkirchen und H.R. Graf
Matousek, Baumann & Niggli AG
Mäderstrasse 8, 5400 Baden

BFE
OFEN
UFE
SFOE

Zusammenfassung

Hauptziel des Forschungsprojektes „Arteserkarte der Schweiz – Teilgebiet Basel - Luzern“ ist es, das Konzept für eine gesamtschweizerische Karte zu entwickeln, welche das Gefährdungspotenzial durch artesisches Grundwasser im Hinblick auf EWS-Bohrungen darstellt. Zudem sollen Möglichkeiten für grössermassstäbliche Planungsgrundlagen (z.B. für kantonale Behörden) aufgezeigt werden. Als Beispiel wurde für das Gebiet des Kantons Aargau ein Vorschlag für eine Karte im Massstab 1:50'000 ausgearbeitet. Die Arteserkarten (in verschiedenen Massstäben und Konzeptionen) sollen eine Arbeitsgrundlage und Entscheidungshilfe für verschiedene Beteiligte darstellen (Behörden, Bauherren, Planer & Bohrunternehmen).

Für die Erstellung der vorliegenden Arteserkarten wurde die Fachliteratur hinsichtlich der Prozesse ausgewertet, welche zum Auftreten artesischen Grundwassers führen. Anhand dieser Erkenntnisse wurden die für das Testgebiet typischen geologisch-hydrogeologischen Situationen ermittelt, bei welchen mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit das Auftreten von artesischem Grundwasser erwartet wird. Die Darstellung erfolgte ohne Berücksichtigung von bestehenden rechtlichen Einschränkungen der Bewilligungsmöglichkeiten für EWS-Bohrungen.

Die höchste Wahrscheinlichkeit des Auftretens von artesischem Grundwasser besteht danach in Teilen der hochdurchlässigen Karbonate der verfalteten Wechselfolgen des Faltenjuras sowie in der Subalpinen Molasse und am Alpennordrand. In Teilen dieser Gebiete, in denen andere Gesteine als die vorgenannten vorliegen, besteht eine mässige Wahrscheinlichkeit des Auftretens von artesischem Grundwasser. Im Bereich von Moränen in Hang- und Tallage vor allem im Mittelland, sowie im Bereich von Rückzugsstadien der grossen Gletscherzungen mit heterogenen Lockergesteinsfüllungen, ist diese Wahrscheinlichkeit ebenfalls mässig gross.

Die Datengrundlagen zur Geologie und Hydrogeologie sind im Bereich des Teilgebietes unterschiedlich detailliert und für einige Gebiete zahlreicher als für andere. Um sicherzustellen, dass die Genauigkeit der Arteserkarten für alle Teilgebiete ähnlich gut ist und damit auch die Genauigkeit der Arteserkarte für alle Teilgebiete vergleichbar ist, wurde die ursprünglich geplante Betrachtungstiefe von 300 m unter Terrain auf 200 m reduziert. Es kann festgestellt werden, dass trotz der gebietsweise geringeren Informationsdichte die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von artesischem Grundwasser hinreichend gut belegt werden kann.

Es werden Vorschläge für eine gesamtschweizerische Arteserkarte im Massstab 1:200'000 resp. 1:500'000 unterbreitet. Anhand der Erfahrungen bei der Erstellung der vorliegenden Karten werden Vorschläge für das weitere Vorgehen gemacht.

Für die mit der Bewilligung von EWS-Anlagen befasste Fachstelle des Kanons Aargau wurden Formulare entwickelt, welche der gewässerschützerisch korrekten Bewältigung von artesisch austretendem Grundwasser bei EWS-Bohrungen dienen.

Abstract

The main aim of the research project "Map of Artesian Groundwater in Switzerland – Sub-area Basle-Lucerne" is to develop maps on various scales (1:200'000 – 1:500'000), which show the hazardous potential of artesian groundwater on borehole heat exchangers (BHE). Larger scale maps of artesian groundwaters are intended to serve as a basis for different decision-making bodies involved (authorities, constructors, planners and drilling companies). Furthermore, an exemplary map is elaborated for canton Aargau on a scale 1:50'000, which is intended to represent a basis for planning issues on a larger scale (e.g. for cantonal authorities).

The scientific literature has been analysed in order to identify the regionally relevant processes causing artesian groundwater. Typical geological and hydrogeological scenarios have been appraised and the respective probability for the occurence of artesian groundwater has been assigned. Issues relating to groundwater protection zones and authorisation of groundwater use are not considered in the framework of this study.

The following geological units most probably exhibit artesian groundwaters: the highly permeable carbonate rocks of the folded alternating sequences of the Jura mountains, the subalpine Molasse and the northern margin of the Alps. In some areas of these regions comprising other rocks types than those mentioned above, there is a moderate probability of the occurence of artesian groundwaters. In the regions where morains cover the slopes and where quarternary deposits are present in the valley base, such as in the Mittelland, or where in upland areas of glacial lobes having recession morains which exhibit heterogeneous unconsolidated deposits, there is also a moderate probability of the occurrence of artesian groundwaters.

In terms of level of detail and number of documents, the data base is regionally variable. In order to ensure a valid comparison of the different regions with respect to this data base, it was decided to reduce the depth taken into account for the assessment of potential artesian groundwaters, from 300 m to 200 m. Despite the heterogeneity of the data base it is concluded, that the probability of the occurrence of artesian groundwater can be reliably demonstrated.

Proposals regarding maps of artesian groundwaters comprising the entire area of Switzerland on a scale of 1:200'000 and 1:500'000, respectively, are outlined.

Inhaltsverzeichnis

1 Auftrag ... 1

2 Ausgangslage und Ziel ... 1

3 Vorgehen ... 3

3.1 Vorbemerkungen ... 3
3.2 Berichtaufbau ... 4
3.3 Vorgehen bei der Erstellung der Karte ... 4
3.4 Generelles Konzept für die Kartendarstellung 1:200'000 (Testgebiet) und 1:50'000 (Kanton Aargau) ... 5
3.5 Datengrundlagen ... 8

4 Geologische und hydrogeologische Randbedingungen für Arteser ... 10

4.1 Definitionen ... 10
4.2 Wirkungsprinzip von Artesern ... 11
4.3 Eigenschaften artesischer Grundwässer ... 17

5 Regionale geologischen und hydrogeologische Verhältnisse im Raum Basel – Luzern im Hinblick auf artesisches Grundwasser ... 19

5.1 Relevante Kriterien ... 19
5.2 Typische Beispiele von Artesern im Teilgebiet Basel – Luzern und seiner Umgebung ... 23

6 Arteserkarte für das Teilgebiet Basel – Luzern im Massstab 1:500'000 ... 30

6.1 Inhalte der Arteserkarte ... 30
6.2 Informationsdichte und -genauigkeit ... 33
6.3 Aussagekraft ... 34

7 Konzept für die Erstellung von detaillierte Planungsgrundlagen am Beispiel einer Arteserkarten im Massstab 1:50'000 für den Kanton Aargau ... 35

7.1 Inhalte der Arteserkarte 1:50'000 für den Kanton Aargau ... 35
7.2 Form der Arteserkarte 1:50'000 für den Kanton Aargau ... 35

8 Konzept für eine gesamtschweizerische Arteserkarte ... 36

8.1 Folgerungen aus der Bearbeitung der Arteserkarte im Massstab 1:200'000 ... 36
8.2 Vorgehen für eine gesamtschweizerische Arteserkarte ... 36
8.3 Beurteilung der gesamtschweizerischen Datengrundlage ... 37

9 Empfehlungen für den Umgang mit Artesern am Beispiel des Kantons Aargau (Checklisten Arteserbewältigung) ... 38

Figurenverzeichnis

Abbildung 1: Verbreitung von Erdwärmesonden-Anlagen in der Schweiz (Stand 2002) 2

Abbildung 2: Schematische Darstellung der verschiedenen Konzepte für die Kartendarstellung.....8

Abbildung 3: Schematische Darstellung der hydrogeologischen Verhältnisse in einem typischen geschichteten Aquifer 11

Abbildung 4: Schematisches Beispiel eines artesischen Brunnens mit Isopotenziallinien des vom Brunnen nicht gestörten (=nicht frei ausfliessenden) Zustandes. 12

Abbildung 5: Schematischer Überblick über geologische Voraussetzungen für artesisches Grundwasser 14

Abbildung 6: Schematischer Überblick über geologische Voraussetzungen für artesisches Grundwasser 15

Abbildung 7: Schematische Darstellung eines Artesers, welcher nur durch die hydrodynamischen Verhältnisse und eine stark reliefierte Topografie verursacht wird 16

Abbildung 8: Standrohrspiegelhöhen für einen Schichtstapel aus Aquiferen und Aquitarden 17

Abbildung 9: Talquerschnitt IV im Vallée de Tavannes westlich Bélivard 24

Abbildung 10: Schematisierter Profilschnitt durch den Faltenjura bei Lostorf 24

Abbildung 11: Längsprofil durch das Tal von Urdorf zwischen Birmensdorf und Urdorf (ZH).....25

Abbildung 12: Querprofil durch das Tal bei Ober-Urdorf und durch das Reppischtal, mit Legende 26

Abbildung 13: Querprofil durch den Lindenberg (zwischen Seetal und Bünztal).....27

Abbildung 14: Hydrogeologisches Querprofil durch das obere Glattal bei Uster.....28

Abbildung 15: Seitlicher Zufluss aus dem Fels in durchlässige Lockergesteinsschichten des Talbodens mit artesischem Grundwasser im Seeztal 29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Glossar.....10

Anhänge

Anhang 1 Artesisch austretendes Grundwasser bei Erdwärmesonden-Bohrungen - Checkliste

Anhang 2 Arteser in der Grundwasserkarte AG/ZH

Anhang 3 Verwendete Literatur

Beilagen

Beilage 1: Arteserkarte des Teilgebietes Basel – Luzern 1:500'000 mit Topographie

Beilage 2 Arteserkarte des Teilgebietes Basel – Luzern 1:200'000, ohne Topographie

Beilage 3: Arteserkarte des Kantons Aargau 1:50'000 (verkleinert auf 1:75'000)

1 Auftrag

Am 14. November 2002 erhielten wir vom Bundesamt für Energie (BFE) den Auftrag zur Ausführung eines Forschungsprojektes "Arteserkarte der Schweiz – Teilgebiet Basel – Luzern", gemäss unserem Projektantrag vom 22. Juli 2002.

Projektpartner ist der Kanton Aargau, welcher sich auch finanziell beteiligt.

Anpassungen gegenüber dem ursprünglichen Projektvorschlag

Ursprünglich war es vorgesehen, die Arteserkarte für das Teilgebiet Basel – Luzern auf der GIS-Basis der Geo500-Karten des BWG aufzubauen, um eine eventuelle spätere Integration einer gesamtschweizerischen Arteserkarte in diese Reihe zu ermöglichen. Nachdem bedeutende Verzögerungen bei der Fertigstellung der GIS-Basis (insbesondere der Geologischen Karte der Schweiz) und zusätzliche Probleme mit der topographischen Grundlage eintraten, wurde entschieden, die Arteserkarte des Teilgebietes Basel – Luzern mittels Grafikprogramm (Adobe Illustrator) als Papierversion zu erstellen. Für eine allfällige Ausdehnung des Projektes auf das Gebiet der ganzen Schweiz sollte der ursprüngliche Ansatz jedoch wieder im Vordergrund stehen. Dies einerseits im Hinblick auf das ursprüngliche Ziel des Projektes und anderseits, weil damit bedeutende Vorteile bei der Erstellung der Karte verbunden sind.

Die Arteserkarte sollte ursprünglich die Artesergefährdung beim Erstellen von Bohrungen mit Tiefen von bis zu 300 m aufzeigen. Im Laufe der Bearbeitung hat es sich jedoch gezeigt, dass die vorhandenen geologischen Grundlagen dies nicht erlauben. Für den Tiefenbereich 200-300 m liegen zu wenig Angaben vor, um flächendeckend die Artesergefährdung beurteilen zu können. Aus diesem Grund musste die Arteserkarte vom Teilgebiet Basel – Luzern auf den Tiefenbereich 0-200 m beschränkt werden. Um den Tiefenbereich 200-300 m ebenfalls abdecken zu können, wären umfangreiche geophysikalische Untersuchungen (Geoelektrik, Refraktionsseismik) notwendig, die im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht ausgeführt werden konnten.

2 Ausgangslage und Ziel

Die Nutzung von Erdwärme als nicht-fossile Energiequelle erfreut sich in der Schweiz mit inzwischen rund 30'000 Anlagen grosser Beliebtheit. Etwa 35% aller neu erstellten

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichtes verantwortlich.

Einfamilienhäuser werden mit einer Erdwärmesonde ausgestattet. Bei der installierten Gesamtleistung ist die Schweiz weltweit führend (Abbildung 1).

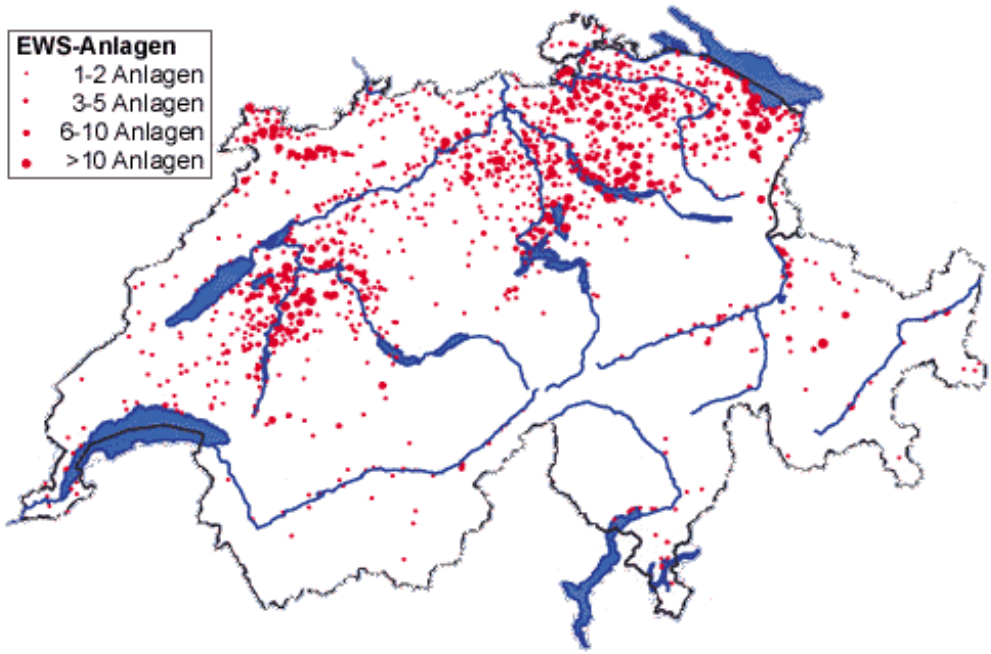


Abbildung 1: Verbreitung von Erdwärmesonden-Anlagen in der Schweiz (Stand 2002, Quelle: www.polydynamics.ch)

Beim Abteufen von Bohrungen allgemein und bei Bohrungen für Erdwärmesonden (EWS) im Speziellen, besteht die Gefahr, dass artesisch gespannte Grundwässer erbohrt werden. Gemäss Gewässerschutzgesetz (GschG) müssen solche Bohrungen abgedichtet werden, um das unkontrollierte Ausfliessen von Grundwasser zu verhindern. Der Abdichtungsvorgang ist häufig mit technischen Schwierigkeiten verbunden und hat finanzielle Folgen. Ausserdem muss unter Umständen das Heizungssystem neu konzipiert werden.

Speziell kann durch das Anbohren von Grundwasserleitern resp. Grundwasserreservoirs mit artesisch gespanntem Grundwasser eine unbeabsichtigte hydraulische Verbindung zwischen verschiedenen Grundwasserleitern (bzw. –stockwerken) entstehen, was eine potenzielle Gefahr für die Ergiebigkeit und Qualität der betroffenen Grundwasservorkommen darstellt.

Hauptziel des Forschungsprojektes „Arteserkarte der Schweiz – Teilgebiet Basel - Luzern“ ist es, das Konzept für eine gesamtschweizerische Karte im Massstab 1:500'000 zu entwickeln, welche das Gefährdungspotenzial durch artesisches Grundwasser im Hinblick auf EWS-Bohrungen darstellt. Zudem sollen Möglichkeiten für grössermassstäbliche Planungsgrundlagen (z.B. für kantonale Behörden) aufgezeigt werden.

Als Beispiel wurde für das Gebiet des Kantons Aargau ein Vorschlag für eine Karte im Massstab 1:50'000 ausgearbeitet.

Die Arteserkarten (in verschiedenen Massstäben und Konzeptionen) sollen eine Arbeitsgrundlage und Entscheidungshilfe für verschiedene Beteiligte darstellen. Potenzielle Benutzer sind:

Behörden: Beurteilung der Zulässigkeit von EWS-Bohrungen je nach Gefährdungsgrad bezüglich artesischem Grundwasser im Sinne des Vollzuges der Gewässerschutzgesetzgebung.

Bauherren: Abschätzung des Risikos von Misserfolgen bei der Nutzung geothermischer Energie.

Planer: Verbesserung der Beratung der Bauherrschaft bei der Wahl des optimalen Heizungssystems für ein bestimmtes Bauprojekt durch die Möglichkeit einer Risikobeurteilung der geothermischen Energienutzung. Dementsprechende Anpassung der Dimensionierung von EWS-Anlagen.

Bohrunternehmen: Möglichkeit der Adaptation der bohrtechnischen Mittel an das Gefährdungsbild von artesisch austretendem Grundwasser (Blow-Out-Preventer, Mittel zur Abdichtung der Bohrung etc.).

3 Vorgehen

3.1 Vorbemerkungen

Das Auftreten von (sub-) artesisch gespanntem Grundwasser ist vom Zusammentreffen mehrerer geologischer, hydrogeologischer und topografischer Faktoren abhängig. In den meisten Fällen sind diese Faktoren und Randbedingungen nur ungenau bekannt (mangelnde Informationsdichte).

Der geologische Aufbau des Untergrundes in tektonisch gestörten Gebieten und im Bereich von eiszeitlichen Ablagerungen ist oft kleinräumig heterogen. Die hydraulischen Eigenschaften und Strukturen (Grundwasserführung, Fliesswege) des Untergrundes sind meist schwierig abzuschätzen. Die Lage des Grundwasserspiegels, vor allem ausserhalb der Täler und in Festgesteinen, ist oft nur ungenügend bekannt.

Trotzdem ist es möglich, geologisch-strukturelle Randbedingungen zu identifizieren, die mit hoher Wahrscheinlichkeit zu artesischem Grundwasser führen. Da effektive Bebachtungen relativ selten sind und die zugrundeliegenden Prozesse und geologi-

schen Verhältnisse für die jeweiligen Lokalitäten meist nicht umfassend geklärt werden (können), besteht bei der Ausscheidung von Gebieten mit einem bestimmten Gefährdungsgrad ein relativ grosser Interpretationsspielraum. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Artesern kann aber dennoch mit genügender Sicherheit angegeben werden.

Das Testgebiet Basel-Luzern (Basiskarte) wurde für einen Massstab 1:200'000 bearbeitet (Kap. 4 bis Kap. 6). Die Arteserkarte des Kantons Aargau 1:50'000 (Kap. 7) basiert im Wesentlichen auf dieser Karte. Mit Hinblick auf den grösseren Massstab wurde letztere mit weiteren Karteninhalten ergänzt, welche zum grössten Teil der von uns erstellten „Karte der Nutzungsgebiete für Erdwärmesonden im Kanton Aargau 1:25'000“ (11 Blätter) entnommen wurden. Die Empfehlung für das Vorgehen für die Erstellung einer gesamtschweizerischen Arteserkarte 1:200'000 / 1:500'000 (Kap. 8) basiert ebenfalls auf den bei der Erstellung der Karte des Testgebietes Basel-Luzern gesammelten Erfahrungen.

3.2 Berichtaufbau

In einem ersten Teil (Kap. 4) werden die grundsätzlichen Prozesse und Randbedingungen, welche zum Auftreten natürlicher artesisch gespannter Grundwässer führen, dargestellt. Dabei werden unterschiedliche Typen artesischer Grundwässer ausgeschieden.

Mit Hilfe von Fallbeispielen – meist nachgewiesene artesische Grundwässer aus dem Testgebiet Basel-Luzern und dessen Umgebung - werden in einem zweiten Teil (Kap. 5) die Prozesse und Randbedingungen hinsichtlich der geologisch-hydrogeologisch-morphologischen Situation hergeleitet. Die dabei relevanten, für bestimmte Gebiete typischen Randbedingungen und Voraussetzungen für das Auftreten von Artesern werden herausgearbeitet und bezüglich ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit bewertet.

Anhand dieser Kriterien werden auf der Grundlage bestehender Unterlagen über Geologie, Hydrogeologie und Bohrungen Gebiete, für welche ähnliche Randbedingungen und damit Risiken gelten, ausgeschieden und kartografisch dargestellt (für unterschiedliche Massstäbe beschrieben in Kap. 6 und Kap. 1).

3.3 Vorgehen bei der Erstellung der Karte

Die Erstellung der Arteserkarte beruht auf der Auswertung bestehender und verfügbarer geologischer und hydrogeologischer Grundlagen (Kap. 4) unter speziellem Einbe-

zug von Informationen über Bohrungen, in denen artesisches Grundwasser angetroffen wurde.

Wie erwähnt, war ursprünglich die Nutzung von GIS-basierten Daten geplant. Durch verschiedene Probleme des BWG bei der Erstellung des GIS-Datensatzes Geo500, welcher die Grundlage der Geologischen, Tektonischen sowie der Hydrogeologischen Karte der Schweiz im Massstab 1:500'000 darstellt, konnte diese Datengrundlage nicht genutzt werden.

Für die Ausarbeitung der Arteserkarte 1:200'000 Basel-Luzern (Basiskarte) wurde wie folgt vorgegangen:

1. Definition der grundsätzlichen hydraulischen Prozesse und geologischen Voraussetzungen für das Auftreten von artesischem Grundwasser.

2. Identifizierung von Situationen im Testgebiet, für die ein erhöhtes Risiko von Artesern zu erkennen ist.

3. Festgesteine (Jura, nördlicher Alpenrand): Festlegung der hydrogeologischen Einheiten, die als Grundwasserleiter (Aquifere) gelten und hinsichtlich einer für den Massstab der Karte (und dem damit notwendigen Generalisierungsgrad) eine genügend grosse Mächtigkeit und Ausdehnung aufweisen.

4. Identifizierung geologischer Strukturen der Festgesteine, bei denen unter Einbezug der Morphologie der Geländeoberfläche mit mässiger bzw. hoher Wahrscheinlichkeit mit dem Auftreten von artesischem Grundwasser gerechnet werden muss.

5. Lockergesteine (Mittelland, teilweise auch Jura): Festlegung der kritischen geologisch-morphologischen Elemente, welche das Auftreten artesischen Grundwassers begünstigen (Morphologie von Fels- und Geländeoberfläche, Art des Grundwasser führenden Lockergesteins, Deckschichten).

6. Iterative Überprüfung der Ergebnisse des oben dargestellten Vorganges mit der tatsächlichen Situation im Bereich von bekanntem artesischem Grundwasser und allfällige Anpassung der Kriterien.

3.4 Generelles Konzept für die Kartendarstellung 1:200'000 (Testgebiet) und 1:50'000 (Kanton Aargau)

Als Grundlage für die Kartendarstellung werden Gebiete gleicher Eigenschaften bezüglich der Artesergefährdung kartiert (z.B. Moränen, übertiefte Täler). Für die Art der Kar-

tendarstellung der Artesergefährdung werden nachfolgend drei unterschiedliche Ansätze diskutiert.

1. **Es werden Klassen gleicher Artesergefährdung dargestellt (Abbildung 2 A).**

   Den auskartierten Gebieten gleicher Eigenschaften bezüglich der Artesergefährdung werden bestimmte Gefährdungsstufen zugeordnet. Durch eine Matrix wird festgelegt, wie gross die totale Artesergefährdung beim Zusammentreffen mehrerer Faktoren an einer bestimmten Stelle ist.

   Vorteile: die Gefahr, resp. das Risiko artesisches Grundwasser mit einer Bohrung von genau 200 m Tiefe anzutreffen, ist für einen bestimmten Punkt oder ein Gebiet schnell und eindeutig zu erfassen.

   Nachteile: die Kombination der Teilgefahren im Fall des Übereinanderliegens von zwei artesergefährdeten geologischen Einheiten ist nur schwer zu werten, insbesondere weil das Risiko, artesisches Grundwasser anzutreffen, auch von der Tiefe einer Bohrung abhängt. Auch die Vergleichbarkeit zwischen gleichen Gefährdungsklassen in verschiedenen geologischen Situationen ist nicht gewährleistet. So kann z.B. eine mittlere Artesergefährdung im Jura wegen der für die Verknüpfung von Risiken mittels einer Matrix getroffen Annahmen, nur bedingt mit einer mittleren Artesergefährdung im Mittelland gleichgesetzt werden.

2. **Artesergefährdete Gebiete werden so dargestellt, dass die (hydro-) geologischen Grundlagen sichtbar bleiben (Abbildung 2 B).**

   Die auskartierten Gebiete gleicher Eigenschaften bezüglich der Artesergefährdung werden dargestellt. Diesen wird in der Legende jeweils eine bestimmte Gefährdungsstufe zugeordnet.

   Vorteile: Wichtige qualitative Informationen über die Art und die ungefähre Tiefe der artesergefährdeten Schichten bleiben erhalten. So kommt es beispielsweise vor, dass im Bereich artesergefährdeter übertiefter Täler Festgestein ansteht, das seinerseits ebenfalls artesisch gespanntes Grundwasser führen kann. Unterschiedliche Signaturen gewährleisten, dass dieser Umstand auch erkennbar bleibt.

   Nachteile: Der totale Grad der Artesergefährdung ergibt sich nicht eindeutig aus der Karte, sondern muss erst mit Hilfe der Legende erschlossen werden. In ei-

nigen wenigen Gebieten, wo drei Flächensignaturen übereinander liegen, kann die Darstellung etwas unübersichtlich sein.

3. **Artesergefährdete Gebiete werden so auskartiert, dass die (hydro-) geologischen Grundlagen sichtbar bleiben und gleichzeitig die Stufe der Artesergefährdung sichtbar bleiben (ohne Abbildung)**

   Jedes auskartierte Gebiet gleicher Eigenschaften bezüglich der Artesergefährdung (z.B. Moränen, übertiefte Täler) wird mittels Signaturen dargestellt (Schraffur, Muster). Diesen Flächen werden dann die analog zu 1. ermittelten Gefährdungsstufen farblich zugeordnet.

   Vorteile: Es sind sowohl die auskartierten Einheiten als auch die totale Artesergefährdung an einer bestimmten Stelle erkennbar.

   Nachteile: Die gleichzeitige Darstellung von auskartierten Einheiten und totaler Artesergefährdung ergibt eine komplizierte Legende und ein schwierig zu lesendes Kartenbild (Kombination von 4 Farben mit 7 Mustern).

Bevorzugter Ansatz zur Kartendarstellung

Im Fall des Teilgebietes Basel - Luzern wäre der sich aus Ansatz 1. ergebende Informationsverlust sehr nachteilig, da das Risiko, artesisches Grundwasser anzutreffen, auch von der Tiefe einer Bohrung abhängt. In der Karte 1:200'000 (500'000) sind zwar keine Informationen über die Tiefenlage der entsprechenden potenziell artesisches Grundwasser führenden Grundwasserleiter vorhanden, aus der Art der Flächensignatur ist jedoch ersichtlich, in welchem Stockwerk die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von artesischem Grundwasser erhöht ist. In grössermassstäblichen Karten kann dieser Aspekt (zumindest für die Festgesteine) anhand von Isohypsen der Oberkante der Grundwasser führenden Schicht angegeben werden (vgl. Kap. 7, Beilage 3). Bezüglich des Informationsgehaltes sind die Ansätze 2. und 3. etwa gleichwertig, das Kartenbild von Ansatz 2. ist jedoch besser lesbar (keine Kombination von 4 Farben mit 7 Mustern), mit dem kleinen Nachteil, dass sich die totale Artesergefährdung nur über die Legende erschliesst.

Aus diesen Gründen wird dem Ansatz 2. der Vorzug gegeben. Die beiliegenden Arteserkarten sind dementsprechend erstellt worden (vgl. Beilagen 1 bis 3).

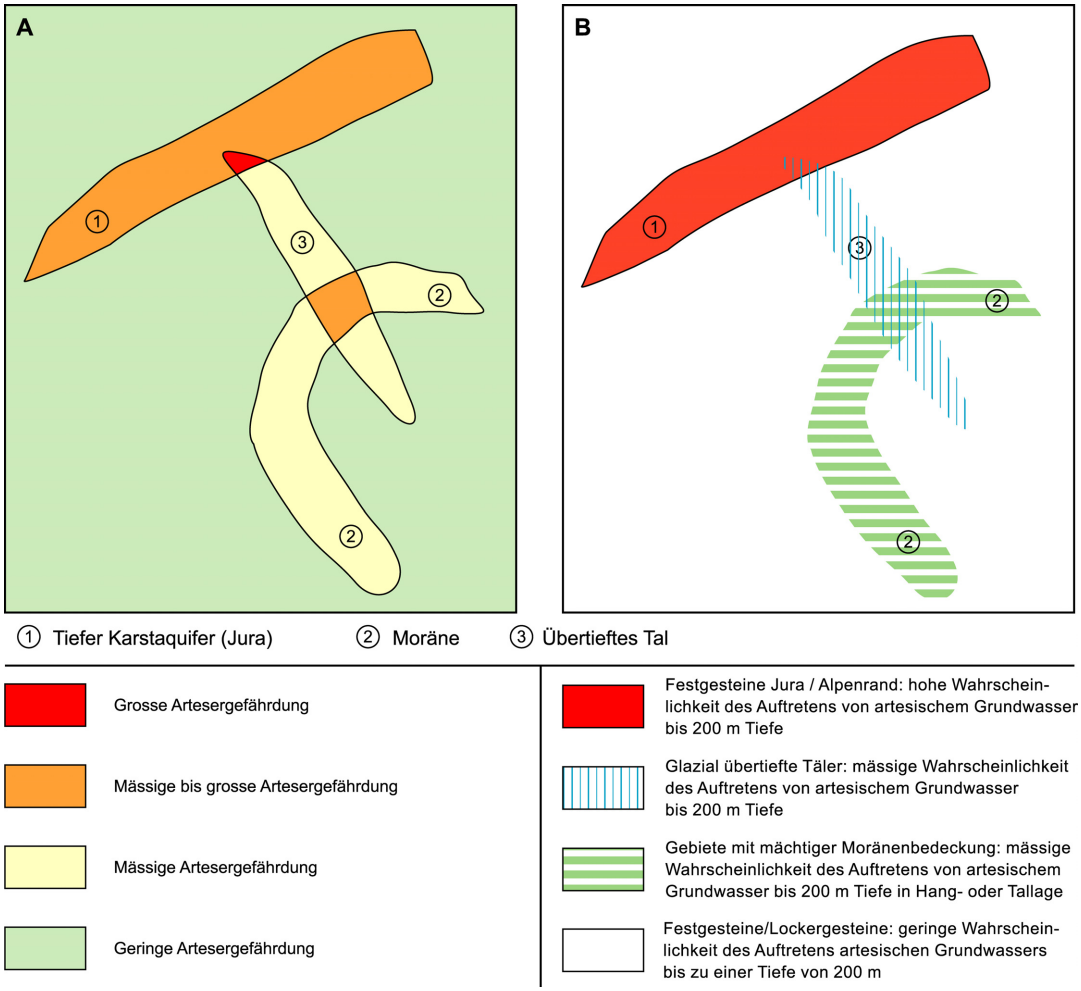


Abbildung 2: Schematische Darstellung der oben diskutierten verschiedenen Konzepte für die Kartendarstellung. (A) entspricht einer reinen Gefahrenkarte, (B) entspricht einer thematischen Karte, bei der die geologischen Grundlagen weitgehend sichtbar bleiben.

3.5 Datengrundlagen

Nachfolgend sind die benutzten Datengrundlagen aufgelistet. Eine detaillierte Aufstellung findet sich im Anhang.

Geologische Karten

Hydrogeologische Karten

Grundwasserkarten

Erdwärmesondenkarten

Geologische Literatur

Bohrkataster, Geologische Gutachten

Befragungen von Versicherungen

Recherche bei kantonalen Behörden

Ein wichtige Randbedingung für die Erstellung von Arteserkarten ist der darzustellende Tiefenbereich. Damit ist direkt die Gültigkeit einer Arteserkarte hinsichtlich der Länge

einer EWS verbunden. Wie eingangs erwähnt, war es ursprünglich geplant, die Karte für den Tiefenbereich von 0-300 m zu konzipieren. Bei der Bearbeitung wurde festgestellt, dass ein grosser Anteil der verfügbaren Datengrundlagen (v.a. Bohrungen, geologische Profilschnitte) in der Darstellung nicht die notwendige Tiefe erreicht. Da somit zu wenige konsistente Grundlagen zur Verfügung stehen, wurde der dargestellte Tiefenbereich auf 0-200 m reduziert.

Eine weitere wichtige Randbedingung zur Beurteilung der Artesergefährdung ist die Höhenlage des Grundwasserspiegels in den potenziellen Einzugsgebieten von Artesern (Infiltrationsgebiete) und der weitere Verlauf des möglicherweise gespannten oder sogar artesisch gespannten Grundwasserspiegels im Bereich der Hänge und Talböden. In den Lockergesteinsaquiferen der Täler und teilweise auch in Hangbereichen ist die Lage des Grundwasserspiegels meistens gut bis sehr gut bekannt. In Festgesteinen dagegen ist der Grundwasserspiegel häufig weniger gut oder nicht bekannt. Dieser kann jedoch anhand der Geologie und der Morphologie sowie anhand von Erfahrungen aus vergleichbaren geologischen Situationen für die Einschätzung der Artesergefährdung hinreichend genau geschätzt werden.

4 Geologische und hydrogeologische Randbedingungen für Arteser

In diesem Abschnitt werden die Voraussetzungen und Randbedingungen für das Auftreten von artesischem Grundwasser dargestellt.

4.1 Definitionen

Zunächst sollen die wichtigsten Begriffe definiert werden. Der Begriff *Arteser* resp. *artesischer Brunnen* stammt vom Namen der ehemaligen Grafschaft Artois (Département Artois-Picardie im Norden Frankreichs), in der im Jahr 1126 ein artesischer Brunnen angelegt worden sein soll.

Tabelle 1: Glossar

Begriff	**Definition**
Gespanntes Grundwasser	Bei gespanntem Grundwasser liegt die Grundwasserdruckfläche (also die gedachte Verbindungsfläche aller freien Standrohrpegelstände, die im gespannten Grundwasser einbinden) höher als der freie Grundwasserspiegel in einem darüber liegenden Grundwasserleiter (siehe Abbildung 3). Gespanntes Grundwasser wird auch als 'subartesisch' bezeichnet.
Freies Grundwasser	Bei freiem Grundwasser sind Grundwasseroberfläche und die Grundwasserdruckfläche identisch. Die Grundwasseroberfläche ist dabei die Grenzfläche zwischen Grundwasser und Atmosphäre (Abbildung 3) und steht mit letzterer über Porenräume und/oder Trennflächen in Kontakt.
Artesisches Grundwasser	Falls die Grundwasserdruckfläche höher liegt als die Geländeoberfläche, handelt es sich um artesisches Grundwasser (Abbildung 3).
Arteser (artesischer Brunnen)	Als Arteser werden Brunnen (oder Bohrungen) bezeichnet, welche artesisches Grundwasser erschliessen.
Infiltration, Grundwasserneubildung	Als Infiltration wird der Eintritt von Wasser in den Boden und damit in die ungesättigte Zone verstanden. Grundwasserneubildung findet definitionsgemäss hauptsächlich durch dieses versickernde Wasser an der oberen Grenzfläche des Grundwassers statt.
Exfiltration, Grundwasserabfluss	Entsprechend können Exfiltration und Grundwasserabfluss als entgegengesetzte Prozesse definiert werden. Infiltration und Grundwasserneubildung findet vor allem in topografisch höher gelegenen Gebieten statt, während tiefer gelegene meist von Grundwasserabfluss (z.B. in einen Vorfluter) und Exfiltration (z.B. Quellen) gekennzeichnet sind.

4.2 Wirkungsprinzip von Artesern

In den weitaus meisten Fällen ist die Grundvoraussetzung für artesisches Grundwasser eine geneigte, gut durchlässige Schicht (Aquifer), welche von einer gering durchlässigen Schicht (Aquitard) überlagert wird. Unter bestimmten hydrodynamischen und topografischen Bedingungen kann es aber auch ohne einen geschichteten Aquifer zum Auftreten von gespanntem artesischem Grundwasser kommen (s.u.).

Bei geneigten Schichtstapeln kann das Grundwasser im von gering durchlässigen Gesteinen (Aquitard) überdeckten Aquifer gespannt sein, weil der Grundwasserspiegel im hoch gelegenen Infiltrationsbereich des Aquifers deutlich höher liegt als die Unterkante der abdeckenden Schicht an einem tiefer gelegenen Beobachtungspunkt. (Abbildung 3). Bei Annahme kommunizierender Röhren (= unendlich hohe Durchlässigkeit des Aquifers) oder hydrostatischen Bedingungen wäre der artesische Überdruck gleich der Differenz des Grundwasserstandes im Infiltrationsgebiet und am betreffenden Beobachtungspunkt. Durch den Reibungsverlust während des Fliessens ist diese Differenz effektiv jedoch geringer.

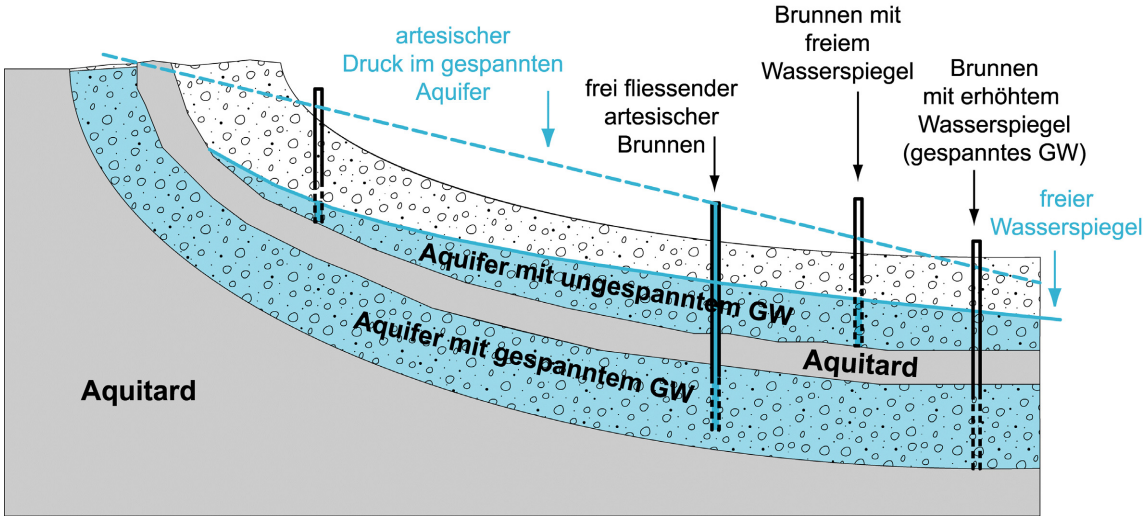


Abbildung 3: Schematische Darstellung der hydrogeologischen Verhältnisse in einem typischen geschichteten Aquifer. Der Druck im unteren, gespannten Aquifer bezieht sich auf eine gedachte Verbindungsfläche zwischen den Standrohrpegelständen. Die Abnahme des artesischen Druckes in Richtung der topografisch tiefer gelegenen Gebieten ist von den hydraulischen Eigenschaften des Aquifers und der Wasserzirkulation abhängig.

Unter natürlichen Bedingungen werden immer Mischformen der nachfolgend dargestellten Typen von artesischem Grundwasser vorkommen. Welcher Typ resp. welche Prozesse vorherrschen, hängt vor allem von Geländerelief, Schichtaufbau und Kontrast der hydraulischen Eigenschaften innerhalb dieses Schichtstapels, sowie von der räumlichen Lage und Ausdehnung von durchlässigen und undurchlässigen Schichten ab.

Geologische Faktoren (4.2.1, Materialeigenschaften und räumliche Lage) und topografische Faktoren (4.2.2, Grundwasserdynamik) werden nachfolgend getrennt dargestellt.

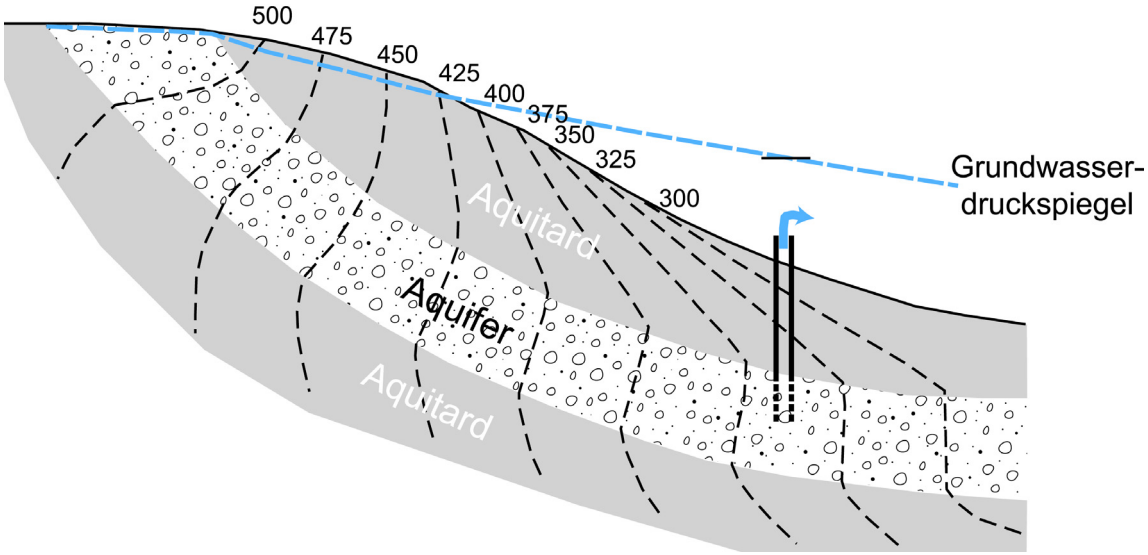


Abbildung 4: Schematisches Beispiel eines artesischen Brunnens mit Isopotenziallinien des vom Brunnen nicht gestörten (=nicht frei ausfliessenden) Zustandes (modifiziert nach Freeze & Cherry (1979)).

4.2.1 Geologische und hydrogeologische Faktoren

Für die durch die geologische Situation bestimmten Arteser müssen gewisse geologische, hydrogeologische und strukturelle Bedingungen erfüllt sein: im Allgemeinen wird dabei ein Aquifer von einem leicht geneigten, an oder nahe der Oberfläche anstehenden, Aquitard überlagert. Diese Situation ist häufig bei geschichteten Festgesteinen zu beobachten, ist aber auch bei Lockergesteinen, vor allem in stark glazial überprägten Gebieten, weit verbreitet.

Der durchlässige Aquifer muss eine hydraulische Verbindung zu einem höher gelegenen Gebiet mit Grundwasserneubildung haben. Häufig (v.a. in Festgesteinen) besteht diese Verbindung durch den gespannten Grundwasserleiter selbst. Grundvoraussetzung ist dabei ein gewisses topografisches Relief. Wenn der Beobachtungspunkt (also z. B. ein Bohrloch an der Geländeoberfläche) tiefer liegt als der Wasserspiegel im höher gelegenen Infiltrationsgebiet (beispielsweise in einem Tal), so können artesische Verhältnisse vorliegen.

Je grösser der Durchlässigkeitskontrast zwischen undurchlässiger Deckschicht und durchlässigem Aquifer ist, desto wahrscheinlicher wird dies einen artesischen Überdruck zur Folge haben (siehe auch Abbildung 8). Artesisches Grundwasser resp. ein

artesischer Brunnen muss sich jedoch nicht notwendigerweise durch hohe Fliessraten auszeichnen. Diese ist neben den topografischen Bedingungen (Druckunterschied (resp. Potenzialdifferenz) zwischen Infiltrationsgebiet und Beobachtungspunkt) vor allem von der hydraulischen Durchlässigkeit der wasserführenden Schicht abhängig. Von der Durchlässigkeit des Aquifers hängt es auch ab, wie die Grundwasserdruckspiegelhöhe in Fliessrichtung verläuft (Abbildung 4). Ist die Durchlässigkeit des Aquifers gering, so wird als Folge des Fliesswiderstandes die Fliessrate und der artesische Überdruck in Fliessrichtung relativ schnell abnehmen. In einem hydrostatischen System entspricht die Differenz zwischen freiem Grundwasserspiegel im hochgelegenen Infiltrationsgebiet und dem Brunnenansatzpunkt im tiefer gelegenen Gebiet dem artesischen Überdruck im Brunnen. Da jedoch immer von hydrodynamischen Bedingungen auszugehen ist (Fliessbewegungen finden mit Reibungsverlusten statt), wird die Höhe der Grundwasserdruckfläche in Fliessrichtung als Funktion der hydraulischen Durchlässigkeit abgemindert.

Eine Situation, die zur Bildung von artesisch gespanntem Grundwasser führt, setzt das Vorhandensein einer geneigten gering durchlässigen Schicht voraus, welche eine durchlässigere abdeckt. Dies kann verschiedene Ursachen haben. Einerseits werden solche Situationen durch Ablagerungsprozesse bewirkt (stratigrafische Ursachen, Kap. 4.2.1.1), andererseits sind es tektonische Prozesse, die zu einer solchen Situation führen (tektonische Ursachen, Kap. 4.2.1.2). Zudem sind auch topografische Effekte (also Erosionsprozesse, Kap. 4.2.2), dafür verantwortlich. In den meisten Fällen liegt eine Kombination dieser Uraschen vor.

4.2.1.1 Stratigrafische Ursachen

Die Ursachen für die Bildung eines Schichtfolge mit starken Unterschieden der hydraulischen Durchlässigkeiten liegen häufig im Festgestein vor. Besonders Wechselfolgen aus Kalk-Mergel-Tonsteinen weisen einen starken Kontrast in den hydraulischen Eigenschaften und häufig eine mehr oder weniger parallele Schichtung auf.

Artesisch gespanntes Grundwasser kann im Falle von horizontaler Lagerung der Schichten durch eine durchlässige Sohlschicht, welche von gering durchlässigen Schichten abgedeckt ist, bei reliefierter Oberfläche in tiefer gelegenen Gebieten vorkommen (Abbildung 5a). Die Distanzen zwischen Infiltrationsgebiet und tiefer gelegenem Becken mit dem artesischen Grundwasser können dabei viele Kilometer betragen.

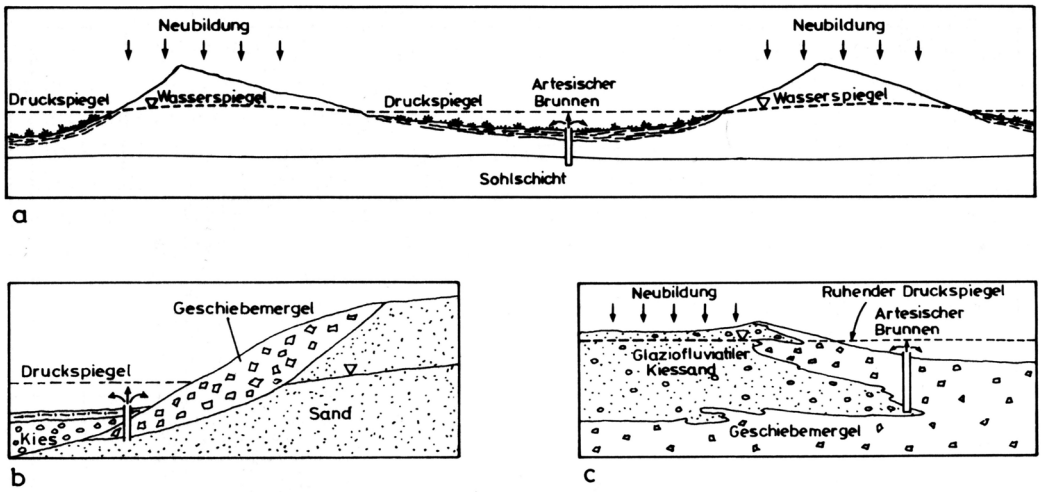


Abbildung 5: Schematischer Überblick über geologische Voraussetzungen für artesisches Grundwasser (aus Matthess 2003). a-c: verursacht durch stratigrafische Faktoren.

In Lockergesteinen sind ebenfalls artesische Verhältnisse begünstigende Konstellationen möglich (Abbildung 5b & c). Besonders im durch eiszeitliche Ablagerungen stark geprägten alpinen Vorland liegen häufig gering durchlässige Lockergesteine wie Moränen oder Hanglehme als Deckschichten auf gut durchlässigen Schottern. In Gebieten mit glazialen Ablagerungen in den Tälern und an den Talflanken (z.B. Wechsellagerungen Schotter–Moräne–Seetone) aus verschiedenen Eiszeiten resp. glazialen Phasen bestehen häufig gute Voraussetzungen für das Auftreten von Artesern. Dabei kann beispielsweise ein älterer Schotter von einer jüngeren Moräne überdeckt werden (Abbildung 11 und Abbildung 12).

Hangbildungen sowie Seeablagerungen über Schottern oder anderen grobkörnigen Ablagerungen können ebenfalls abdeckende Wirkung haben (Abbildung 5b). In Tälern kann es auch zur seitlichen Speisung des durchlässigen Lockermaterials der Talfüllung aus einem Felsaquifer kommen, wie in Abbildung 15 dargestellt.

4.2.1.2 Tektonische Ursachen

Artesisches Grundwasser ist in Kristallingesteinen nicht ungewöhnlich, jedoch sind die geologischen Verhältnisse meist weniger genau bekannt und hydraulisch besser durchlässige Schichten können nur selten eindeutig identifiziert und über längere Distanzen verfolgt werden. Topografieeffekten (siehe Kap. 4.2.2) kommt hier grössere Bedeutung zu. Lokal könnten jedoch gering durchlässige Deckschichten höher durchlässige (beispielsweise durch Hakenwurf aufgelockerten Fels) überdecken und darin zu gespanntem oder auch artesischem Grundwasser führen.

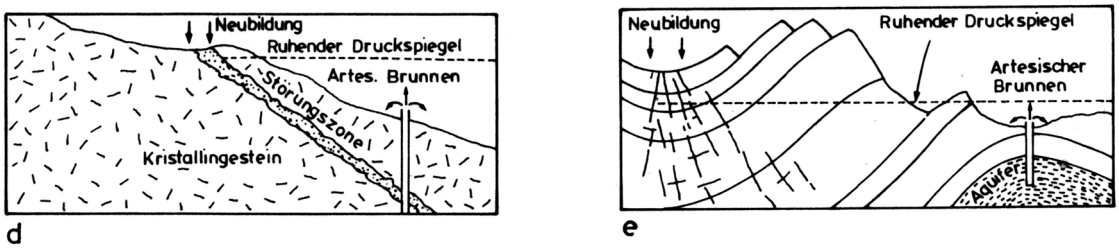


Abbildung 6: Schematischer Überblick über geologische Voraussetzungen für artesisches Grundwasser (aus Matthess 2003). d & e: durch strukturelle Faktoren.

Durchlässige Einzelstrukturen wie Störzonen (Brüche, Verwerfungen) können einen starken Einfluss auf die hydrogeologischen Verhältnisse eines Gebietes haben (Abbildung 6d). Störzonen stellen meist mehr oder weniger planare, durch tektonische Vorgänge entstandene Strukturen dar, die in der Regel wenige Meter Mächtigkeit nicht überschreiten. Die laterale Erstreckung kann mehrere hundert Meter und mehr betragen. Durch mechanische Zerstörung des Gesteinsverbandes ist die Wasserdurchlässigkeit vor allem in harten, kompetenten Gesteinen im Vergleich zum Nebengestein oft deutlich erhöht. Störungen können aber auch, vor allem in feinkörnigeren, leicht verwitterbaren Gesteinen, eine abdichtende Wirkung haben, so dass ein Aquifer an ihnen lateral begrenzt wird und damit eine hydraulische Verbindung quer zur Störzone behindert werden kann. An grösseren Störungen und Überschiebungen schliesslich können Schichtpakete als ganze Blöcke versetzt werden, so dass einerseits die hydraulische Kommunikation unterbunden (wenn Aquifere dadurch an einen Aquitard angrenzen), andererseits aber auch dadurch erst die geologischen Voraussetzungen für artesische Verhältnisse geschaffen wird.

Insbesondere steilstehende durchlässige Störzonen können die Grundwasserpotenziale und regionalen Grundwasserfliessrichtungen stark beeinflussen. Je nach Richtung und Lage einer solchen Störzone kann dies dazu führen, dass artesische Quellen an der Oberfläche entstehen, oder aber dass Grundwasser so weit entspannt wird, dass talabwärts keine artesische Verhältnisse vorliegen.

Durch Überschiebungen, Blockverkippungen, Flexuren (Schichtverbiegungen) kann es einerseits zum Verkippen von Schichten resp. Schichtstapeln kommen (vor allem bei Festgesteinen). Zum anderen bilden relativ weiche, gering durchlässige Gesteine häufig die Abscherhorizonte für Überschiebungen, was die Voraussetzungen für artesisches Grundwasser begünstigt.

4.2.2 Topografische Effekte

Neben den oben dargestellten stratigrafischen und strukturellen Faktoren trägt ein weiterer, weniger offensichtlicher Prozess zur Entstehung von Artesern bei. Die topographischen Verhältnisse mit den daraus resultierenden regionalen Grundwasserfliesssystemen allein können ohne abdeckende Deckschicht zu artesisch gespanntem Grundwasser in Bohrungen führen.

Bei ausreichender Grundwasserneubildung in den höheren Bereichen eines Talhanges wird sich ein freier Grundwasserspiegel einstellen, der ungefähr, mit nach oben grösser werdendem Flurabstand, die Topografie nachzeichnet. Ein starkes Geländerelief begünstigt die Ausbildung von Grundwasserfliessystemen, bei denen aufgrund der Verteilung der Grundwasserpotenziale im Bereich von Talböden in grösserer Tiefe (resp. auf geringerer Höhe über Meer) höherer Druck vorherrscht. Wird nun hier eine Bohrung abgeteuft, so kann es zu einem artesischen Austritt von Grundwasser kommen (Abbildung 7).

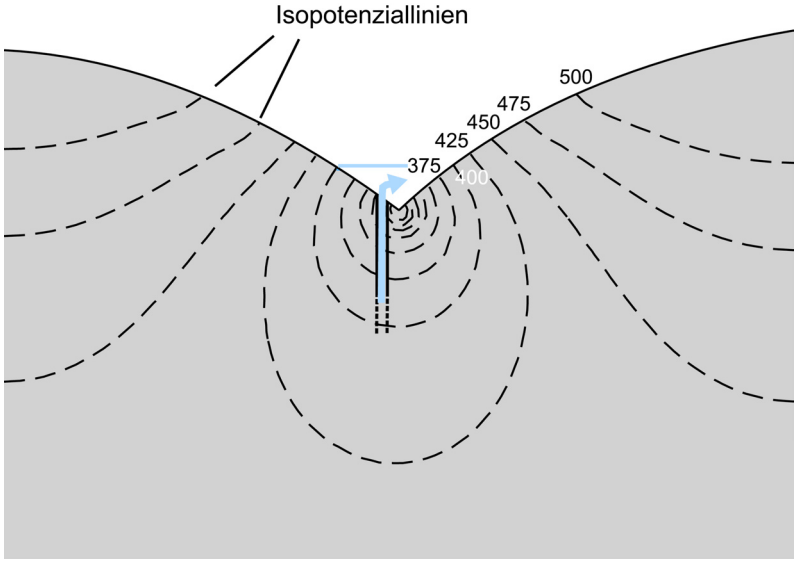


Abbildung 7: Schematische Darstellung eines Artesers, welcher nur durch die hydrodynamischen Verhältnisse und eine stark reliefierte Topografie verursacht wird. Dabei wird von einem Medium (Lockergestein / Festgestein) mit homogenen hydraulischen Eigenschaften ausgegangen. Der Grundwasserspiegel entspricht in diesem Beispiel der Geländeoberfläche. Die dargestellten Isopotenziallinien geben den vom Brunnen ungestörten Zustand wieder.

4.2.3 Mischformen

Die unter 4.2.1 und 4.2.2 beschriebenen Verhältnisse stellen schematisch zwei Endglieder dar, die in der Natur als Regelfall beide zu unterschiedlichen Anteilen für artesisches Grundwasser ursächlich sind. Abbildung 8 zeigt schematisch die komplexen

Verhältnisse bei einer einfachen Wechselfolge aus geneigten Aquiferen und Aquitarden und deutlichem Oberflächenrelief.

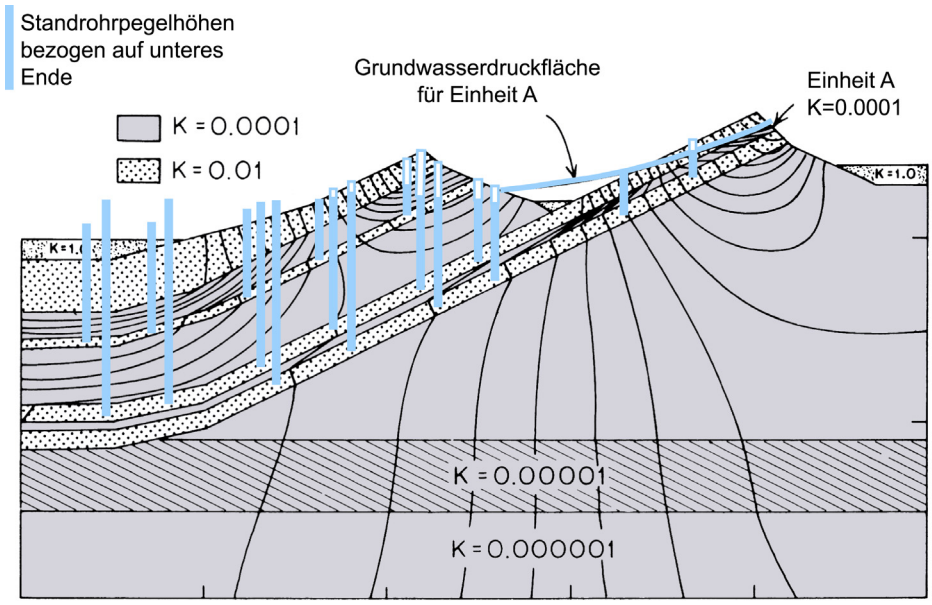


Abbildung 8: Standrohrspiegelhöhen für einen Schichtstapel aus Aquiferen und Aquitarden. In grau sind die Aquitarde mit unterschiedlicher hydraulischer Durchlässigkeit dargestellt, in weiss gepunktet der Aquifer. In diesem Modell ist deutlich zu erkennen, dass die Standrohrpegelhöhen, resp. die Druckhöhen für Brunnen an diesen Stellen, im topografisch tiefen Bereichen oft deutlich über die Geländeoberfläche hinausreichen. Die Konturen stellen Isopotenziallinien dar (modifiziert nach Freeze & Cherry (1979)).

4.3 Eigenschaften artesischer Grundwässer

Artesische Grundwässer in Festgesteinen können bei geringer Fliessgeschwindigkeit und/oder grosser Zirkulationstiefe (und entsprechendem "Substrat", das durchflossen wird) einen erhöhten Mineralgehalt, vergleichsweise hohe Temperaturen und deshalb u.U. korrosive Eigenschaften gegenüber Stahl oder Beton aufweisen. Thermalquellen und mit Bohrungen erschlossene Thermalwässer sind im Allgemeinen aufsteigende Wässer innerhalb eines regionalen Grundwasserfliesssystems und (sub-) artesisch gespannt. Sie bedürfen eines besonderen Schutzes, damit die hydraulischen Randbedingungen, die zum Aufsteigen der Thermalwässer führen, erhalten bleiben (vgl. Kap. 5.2.1.1).

Die Prozesse und Voraussetzungen, die zu artesischem Grundwasser führen, können in der Natur innerhalb eines grossen Skalenbereiches wirken. So gibt es artesisches Grundwasser in grossen Senken und Becken, deren Infiltrationsgebiete in mehreren Zehnerkilometern Entfernung liegen. Arteser können jedoch auch lokal auftreten, z.B. im Bereich von Talhängen im Skalenbereich von einigen hundert Metern bis wenigen

Kilometern. Entsprechend den Grössenordnungen sind die Fliesszeiten und damit der Kontakt von Wasser und Gestein sehr unterschiedlich. Daher sind die Lösungsinhalte der Wässer ebenfalls sehr variabel.

5 Regionale geologischen und hydrogeologische Verhältnisse im Raum Basel – Luzern im Hinblick auf artesisches Grundwasser

5.1 Relevante Kriterien

Nachfolgend werden diejenigen Kriterien dargestellt, die als relevant für das mögliche Vorhandensein von artesischem Grundwasser im Testgebiet erachtet werden. Sie werden jeweils nach den geologisch-naturräumlichen Regionen Jura – Mittelland – Alpenrand getrennt dargestellt. Diese Kriterien bilden zusammen mit den im Kap. 5.2 dargestellten Beispielen für im Testgebiet auftretende Arteser die Basis für die im Kap. 1 dargestellten Grundlagen für die Erstellung der Arteserkarte 1:200'000 des Testgebietes Basel-Luzern und der darauf basierenden Arteserkarte 1:50'000 des Kantons Aargau.

5.1.1 "Stratigrafie" / Hydrogeologie

In der Hydrogeologischen Karte der Schweiz 1:500'000 (Karte der Grundwasservorkommen) sind Locker- und Festgesteine nach ihren hydraulischen Eigenschaften und nach ihrer Grundwasserergiebigkeit klassiert worden. Diese Klassierung dient hier als Kriterium für die grobe Einschätzung der hydraulischen Eigenschaften.

5.1.1.1 Jura

Als ergiebige zirkulierende Grundwasservorkommen werden die durchlässigen Kalke und Dolomite des Oberen Muschelkalkes, der Hauptrogenstein des Oberen Doggers, die Malmkalke und die Oberkreide- (mit Albien) und Unterkreide-Karbonate, sowie teilweise auch die liasischen Arietenkalke angesehen. Charakteristisch sind deutliche lithologische Wechsel in der Gesteinsabfolge und die damit verbundenen starken Kontraste der hydraulischen Durchlässigkeit der Gesteine. So liegt beispielsweise der hochdurchlässige Obere Muschelkalk auf gering bis sehr gering durchlässigem Mittleren Muschelkalk (Anhydritgruppe), und wird von gering bis sehr gering durchlässiger Lettenkohle und Gipskeuper überlagert.

Vor allem die Karbonatgesteine können verkarstet sein. Dies ist bei den Malmkalken besonders ausgeprägt; im oberflächennahen Bereich sind die Karsthohlräume jedoch oft von eozänen Sedimenten verfüllt.

Durch tektonische Vorgänge (ausgeprägte Faltungen, Bruchtektonik) wurden die Gesteine verfaltet, verkippt und entlang von Störzonen tektonisch beansprucht. Die Porosität der nicht verkarsteten Gesteine selbst ist meist gering. Aufgrund der tektonischen Prozesse weisen sie oft ausgeprägte Kluft- sowie Störungssysteme mit erhöhter Porosität und somit erhöhter hydraulischer Durchlässigkeit auf, durch welche das Grundwasser zirkulieren kann. Störungen und Kluftzonen sind durch zudem häufig zusätzlich verkarstet.

Ausserhalb der Talböden grösserer Täler sind gut durchlässige Lockergesteine als Träger von Grundwässern nur von geringer Bedeutung. Gering durchlässige Lockergesteinsdeckschichten als Grundwasserstauer sind weit verbreitet, jedoch meist nur mässig mächtig.

5.1.1.2 Mittelland

Als Festgesteine stehen im Mittelland nur die generell relativ gering durchlässigen Molassegesteine an. Die Sandsteine der Oberen Meeresmolasse können teilweise eine erhöhte Porosität und Durchlässigkeit aufweisen, so dass vor allem bei flacher Neigung dieser Einheit gegen den Alpennordrand sowie angrenzend an den Jura unter bestimmten Bedingungen artesisches Grundwasser auftreten kann (beispielsweise bei Boniswil/AG).

Die Lockergesteinsbedeckung ist in diesem Gebiet um so bedeutender für die Vorkommen von artesisch gespanntem Grundwasser. Vor allem in den grösseren Tälern sind die verschiedenen Lockergesteine komplex miteinander verzahnt. Meist finden sich Schotter als Grundwasserleiter; als gering durchlässige Deckschichten liegen häufig Moränen, Seeablagerungen sowie Material aus Massenbewegungen vor.

Besonders im Bereich von Rückzugsstadien der grossen Gletscherzungen des Mittellandes können heterogene Wechselfolgen aus Schottern und geringer durchlässigen Lockergesteinen vorkommen. Durch die besonderen Ablagerungsbedingungen können die einzelnen Schichten dabei geneigt sein und damit das Auftreten von artesischen Grundwässern begünstigen. Die Ausdehnung und der Aufbau vor allem der tieferen Schichten der Talfüllungen ist oft nur ungenau bekannt.

5.1.1.3 Subalpine Molasse/Alpennordrand

In den helvetischen Decken des Alpennordrandes werden die mergelarmen Karbonate der Unterkreide, die Malmkalke, sowie die Trias im Allgemeinen als ergiebige und gut durchlässige Festgesteinsschichten angesehen.

Gering durchlässige Deckschichten und gering bis mittel durchlässige Moränen haben im Vergleich zum Mittelland eine deutlich geringere Relevanz für das Auftreten artesischen Grundwassers.

Mit quartären Sedimenten gefüllte glaziale Becken haben am Alpennordrand eine geringere Bedeutung für artesisches Grundwasser als in den Tälern des Mittellandes, da diese meist eine weniger ausgeprägte Wechselfolge aus undurchlässigen und durchlässigen Schichten aufweisen und der Anteil grobkörniger Schotter insgesamt höher ist.

5.1.2 Tektonische Strukturen (Grossstrukturen) in Festgesteinen

5.1.2.1 Jura

Der östliche Teil des Schweizer Jura ist in seinen südlichen Bereichen gekennzeichnet durch einen ausgeprägten Faltenbau. E–W bis NNE-SSW-streichende Sättel und Mulden, welche teils flexurartig nach Norden überschoben wurden, bilden sich meist auch deutlich in der Oberflächenmorphologie ab: So bestehen die Ketten der Sättel oft aus Malmkalken, während die Mulden oberflächlich von älteren, mittel- bis unterjurassischen Sedimenten gebildet werden. Durch die Erosion der Antiklinalen (Sattelformen) können die ursprünglich vorhandenen Sattelkämme aus erosionsresistenteren Gesteinen fehlen, so dass in den darunter liegenden weicheren Schichten grössere morphologische Hohlformen entstanden sind.

Typisch ist ein Gebirgsbau mit relativ grossräumigen Faltenstrukturen; nur im Bereich von Flexuren sind kleinräumige Verfaltungen häufig. Nach Norden grenzt der Faltenjura an den Tafeljura, welcher durch Bruchschollentektonik mit Auf- und Abschiebungen, Blockverstellungen und teilweise auch Transversalverschiebungen gekennzeichnet ist. Kleinere Überschiebungen finden sich auch im Tafeljura, wie z.B. die Mandacher und die Mettauer Überschiebung.

Grössere Störungen können sowohl als hydraulische Barrieren als auch als hydraulische Verbindungen wirken. Da nur in seltenen Fällen die tatsächlichen hydraulischen Eigenschaften und die genaue Lage und Fortsetzung von Störzonen bekannt ist, stellen sie einen wesentlichen Unsicherheitsfaktor bei der Einschätzung der Gefährdung durch artesisches Grundwasser im Tafeljura dar.

Bei grösseren Überschiebungen, deren Abscherhorizonte in der Regel aus ton- und sulfathaltigen Gesteinen bestehen, kann davon ausgegangen werden, dass sie, als Folge der intensiven Zertrümmerung des Korngefüges der Gesteine und der Ver-

schleppung von Material aus feinkörnigeren Schichten, eher hydraulische Barrieren darstellen.

5.1.2.2 Mittelland

Die Molassegesteine des Mittellandes zeichnen sich im Allgemeinen durch eine (sub-) horizontale Lagerung aus. Die Schichtneigungen liegen meist bei einigen wenigen Graden. Im Übergang zu Faltenjura und subalpiner Molasse bestehen Übergänge im Baustil mit zunehmender Verkippung und Verfaltung der Molassegesteine. Jüngere Brüche (Störzonen) weisen meist ein typisches regionales Richtungsmuster auf. Die hydraulischen Eigenschaften können, ähnlich wie oben dargestellt, sehr unterschiedlich sein. Insgesamt ist ihr Einfluss auf die Grundwasserfliesssysteme im Mittelland gering.

5.1.2.3 Subalpine Molasse/Alpennordrand

Der nördliche Alpenrand ist gekennzeichnet durch einen ausgeprägten Deckenbau, wobei Deckenstirnen häufig morphologisch deutlich erkennbar den Gebirgsrand markieren. Die Falten haben meist eine relativ grosse Wellenlänge, es herrschen nach N offene, nordvergente liegende Falten mit flexurartigen Umbiegungen vor. Die Schichtneigung ist im liegenden Schenkel oft flach, ansonsten können alle Schichtneigungen auftreten. Auch in der subalpinen Molasse kommen bedeutende Überschiebungen vor.

5.1.3 Topografie

5.1.3.1 Jura

Der Jura ist durch ein starkes Relief geprägt. Der Talboden liegt meist auf Höhen zwischen 400 und 600 m ü.M. Die grösseren Höhenzüge des Jura erreichen im Teilgebiet Basel - Luzern Höhen von 1000 bis ca. 1200 m ü.M. Insgesamt folgt die Topografie deutlich den geologischen Strukturen; die Täler und Höhenzüge des Jura verlaufen entsprechend vorwiegend WSW-ENE bis W-E. Die Höhenzüge sind durchbrochen von N-S bis NW-SE verlaufenden Klusen.

5.1.3.2 Mittelland

Das Mittelland zeichnet sich im Bereich des Teilgebietes Basel - Luzern durch NNW-SSE verlaufende Täler aus, welche in die nahe des Jurasüdfusses nach ENE fliessende Aare münden,. Die Basis der Täler liegt zwischen 400 und 500 m ü. M., die Höhe der talparallelen Höhenzüge übersteigt kaum 700 m ü.M.. Die Hangneigungen sind

moderat. Eine Ausnahme davon stellt das Napfgebiet dar, wo das Relief wesentlich ausgeprägter ist. Die Bedeckung mit quartären Deckschichten gering. Das Entwässerungssystem und damit die Täler sind mehr oder weniger konzentrisch um die höchsten Erhebungen angeordnet, welche Höhen von über 1400 m ü.M. erreichen.

5.1.3.3 Subalpine Molasse/Alpennordrand

Südlich der nördlichen Hauptüberschiebung der Alpen ist das Relief sehr ausgeprägt. Während die Haupttäler wie beim Brienzer See und beim Vierwaldstättersee noch auf 450 resp. 570 m ü.M. liegen, erreichen die umliegenden Gipfel Höhen von um 1500 m ü.M. und teilweise deutlich darüber.

Die Topografie folgt zum grossen Teil den geologischen Grossstrukturen. Die quer dazu verlaufenden Täler sind im Vergleich zum Jura aber wesentlich ausgedehnter und verursachen deutlich grössere Höhenunterschiede mit entsprechend tief liegenden Vorflutniveaus.

5.2 Typische Beispiele von Artesern im Teilgebiet Basel – Luzern und seiner Umgebung

5.2.1 Jura

5.2.1.1 Festgestein

In Abbildung 9 sind für das Auftreten von artesischem Grundwasser im Jura potenziell günstige tektonisch-stratigrafische Verhältnisse am Beispiel des Vallée des Tavannes (ausserhalb des Testgebietes) dargestellt. Durch jungtertiäre tektonische Kompression ist die jurassisch-tertiäre Schichtfolge muldenförmig verformt worden. Als durchlässige Schichten (Aquifere) kommen hier die geklüfteten und teilweise verkarsteten Malmkalke vor. Gering durchlässige tertiäre Mergel und Tone decken die Malmkalke nach oben ab. Die verkarstete Oberfläche der Malmkalke ist durch alttertiäre Bildungen weitgehend verfüllt worden. Eine mächtige Folge von miozänen, gering bis mässig durchlässigen Molassegesteinen sowie junge Deckschichten bildet den Abschluss der Mulde nach oben.

An der Südflanke der Mulde befindet sich eine Bohrung in den Malmkalken, welche einen artesischen Überdruck von ca. 40 m zeigt. Der Höhenunterschied zwischen Brunnenkopf und Ausbiss der Malmkalke an den Rändern der Profilschnitte beträgt gegen 200 m. Nach Süden und Norden stehen mit den Jura-Aufwölbungen aus Malmkalken effektive Infiltrationsgebiete zur Verfügung, die den Aquifer speisen können.

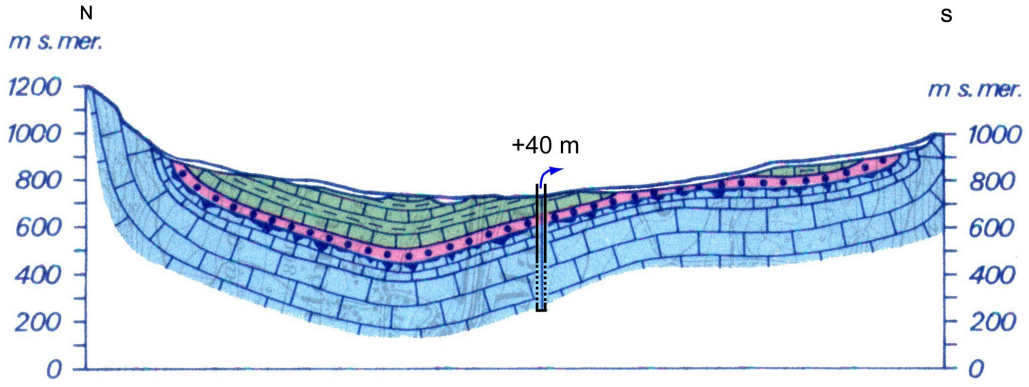


Abbildung 9: Talquerschnitt IV im Vallée de Tavannes westlich Bélivard. Blau: Karstgrundwasserleiter, meist Malmkalke; Violett: vorw. undurchlässige oligozäne Molasse-Mergel, grün: gering durchlässige Molasse-Wechselfolge. Das Grundwasser ist bis 40 m über Terrain gespannt (Schindler 1977).

Im Streichen des Vallée des Tavannes finden sich weitere Bohrungen mit artesischem gespanntem Grundwasser bei ähnlichen geologischen Verhältnissen, allerdings beträgt der mittlere artesische Überdruck hier weniger als 1 m.

Am Jura-Südfuss befinden sich mehrere Thermalquellen, die teilweise mit Bohrungen zusätzlich zum natürlichen Austritt erschlossen sind. Abbildung 10 zeigt das Beispiel der Thermalquelle von Bad Lostorf. Die Bohrung 4 ergab artesisch gespanntes, nur leicht mineralisiertes und thermales Wasser, welches deutlich vom schwefelhaltigen Mineralwasservorkommen aus der südlichen Schuppe, welches mit einer weniger tiefen Bohrung erschlossen ist, zu unterscheiden ist. Nach Schmassmann (1977) befindet sich das Infiltrationsgebiet für das tiefere, artesische Thermalwasser hauptsächlich nördlich des Höhenzuges des Falkenstein (Burgflue) im oberen Muschelkalk. Das durchschnittlich 18 Jahre alte Wasser fliesst im teilweise verkarsteten Oberen Muschelkalk nach Süden und tritt durch die Bohrung frei fliessend wieder aus.

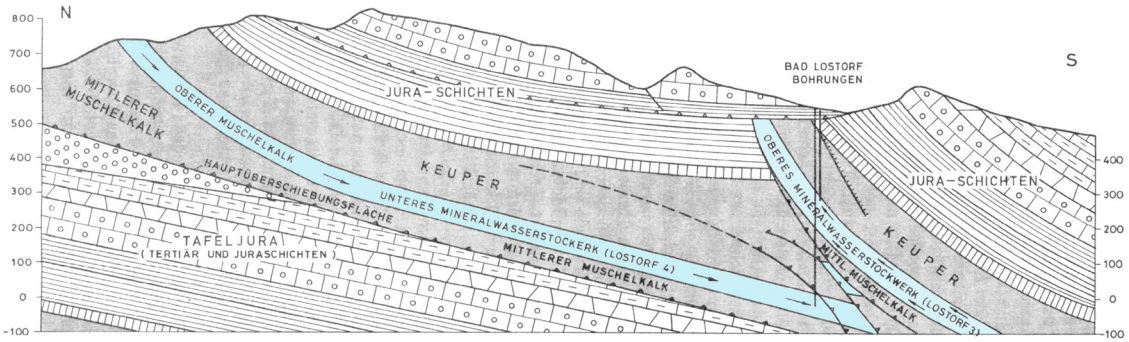


Abbildung 10: Schematisierter Profilschnitt durch den Faltenjura bei Lostorf (Schmassmann 1977). Die längste, 584 m tiefe Bohrung Lostorf 4 erschloss artesisch gespanntes Mineralwasser mit einer Temperatur von 27.4°C.

Auch die Thermalwässer in Baden und in Schinznach stammen aus gut durchlässigen Kalken. Ähnlich wie im Fall von Lostorf liegen auch dort tektonisch komplexe Verhältnisse mit einer Überschiebung von Süden vor, welche die Bildung von artesischem Grundwasser mit Aufstieg aus grösseren Tiefen begünstigt.

5.2.1.2 Deckschichten

Gering durchlässige Deckschichten oder Moränen sind im Jura nur vereinzelt und nur in geringer Ausdehnung vorhanden. Am Rheintalrand südöstlich von Rheinfelden sowie in Bereich des rechten Birsufers bei Arlesheim sind mächtigere, feinkörnige und gering durchlässige Deckschichten (Teils mit Lösslehm) vorhanden, welche bei darunter anstehenden gut durchlässigen Festgesteinen bei entsprechender Morphologie zum Auftreten von artesischem Grundwasser führen können. Im Testgebiet sind allerdings keine tatsächlichen Fälle von artesischem Grundwasser in solchen Situationen bekannt.

5.2.2 Mittelland

5.2.2.1 Moräne über Schotter in Tallage

Abbildung 11 zeigt einen Längsschnitt durch das Reppischtal bei Birmensdorf (ZH). Der Felsuntergrund aus Molassegesteinen ist hier für die Grundwasserzirkulation unbedeutend. An der Basis der hangenden quartären Lockergesteine findet sich eine gering mächtige Lage von Rissmoräne, überlagert von 10 bis 20 m mächtigen Schotter ("Schotter von Badwies"), welche flächendeckend von einigen Metern bis mehreren Zehnermeter Würm-Moränenmaterial abgedeckt sind. Im Bereich der Grundwasserfassung Badwies verstärkt sich in Talachse das Gefälle des Felsuntergrundes, der Moränendeckschicht und der Geländeoberfläche, so dass es nördlich davon im Bereich von Ober-Urdorf zu gespanntem Grundwasser in den Schottern kommt.

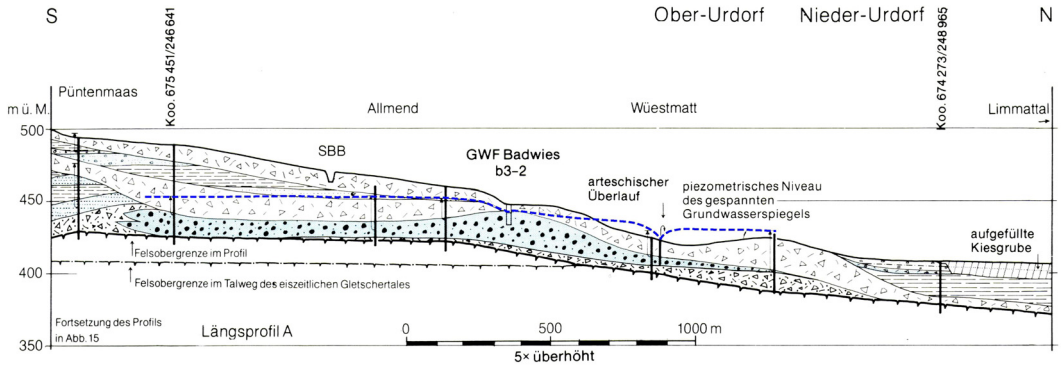


Abbildung 11: Längsprofil durch das Tal von Urdorf zwischen Birmensdorf und Urdorf (ZH). (aus: Die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich 1986, Kempf et al. (1986))

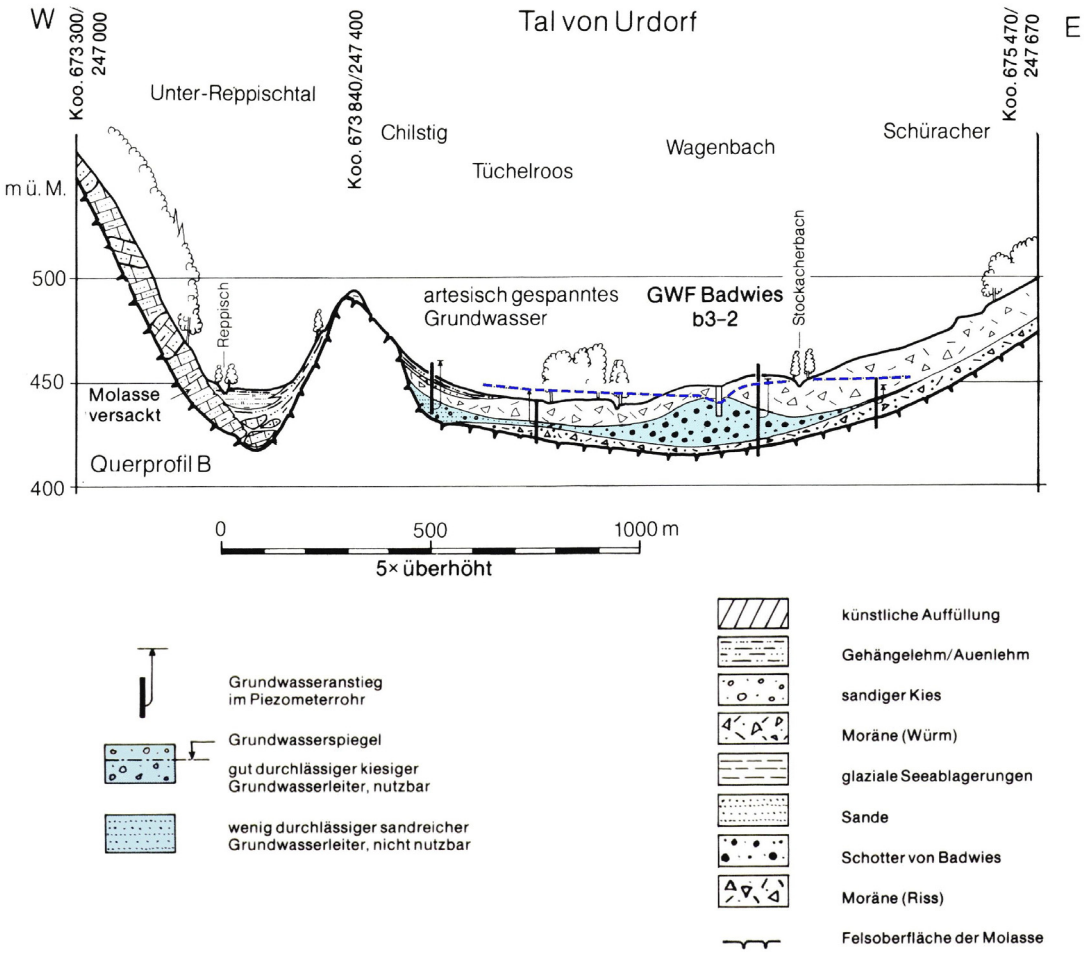


Abbildung 12: Querprofil durch das Tal bei Ober-Urdorf und durch das Reppischtal, mit Legende (aus: Die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich, Kempf et al. (1986))

Abbildung 12 zeigt einen Querschnitt durch das Tal bei Ober-Urdorf bei der oben erwähnten Grundwasserfassung. Östlich der GW-Fassung Badwies ist das Schottergrundwasser gespannt, im Bereich der Talsohle westlich der Fassung sogar artesisch gespannt.

5.2.2.2 Moräne in Hanglage

Mittel- bis gering durchlässiges Material in Hanglage, darunter vor allem Moränen des Mittellandes, können zum Auftreten artesischen Grundwassers führen. Abbildung 13 zeigt das Beispiel des Lindenberges zwischen Seetal und Bünztal. Der Bergrücken besteht aus einer älteren Moräne, in die grössere, teils zusammenhängende Körper von Schottern eingelagert sind. Diese werden seitlich durch jüngeres Moränenmaterial überdeckt, so dass das Grundwasser in den Schottern kaum ausfliessen kann. Aufgrund der Hangneigung kommt es zu leicht artesisch gespanntem Grundwasser. Falls

in einem ähnlichen Beispiel unter der jüngeren Moräne Schotter anstünden, wäre der artesische Überdruck noch weitaus deutlicher.

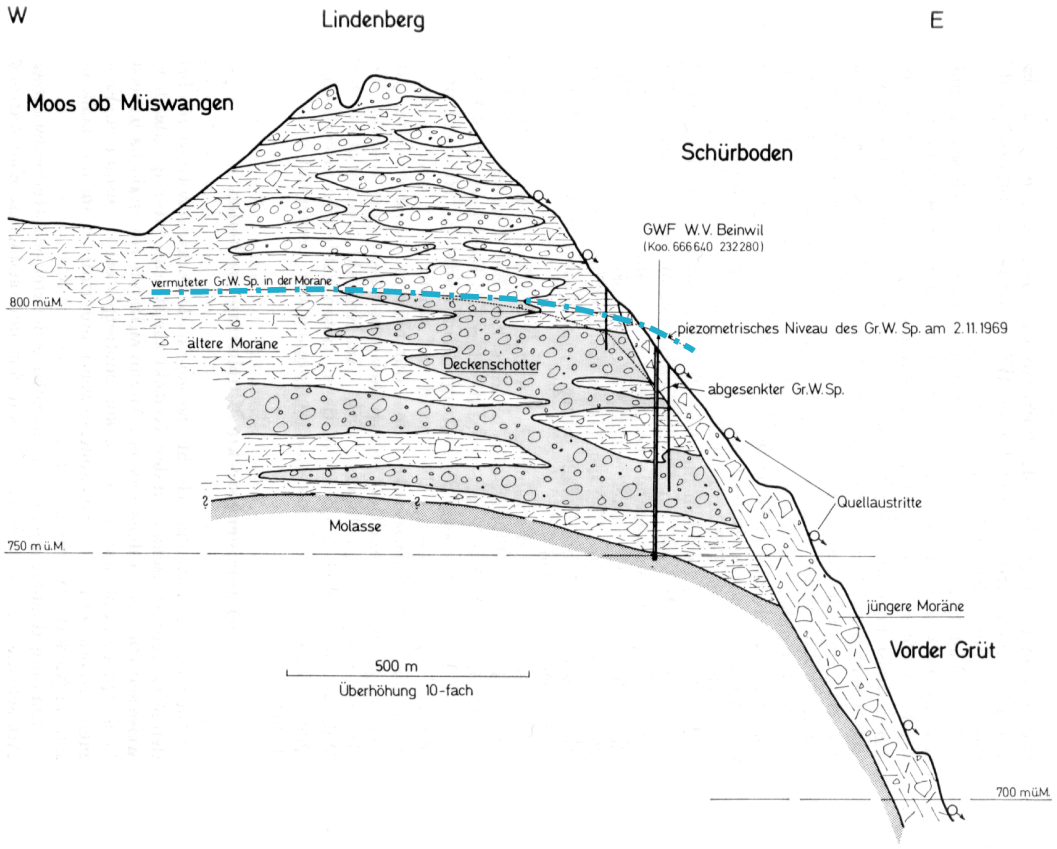


Abbildung 13: Querprofil durch den Lindenberg (zwischen Seetal und Bünztal). Gering durchlässiges Moränenmaterial deckt die Deckenschotter der östlichen Talflanke ab und führt zu artesischem Grundwasser im Bereich des Hanges (Kempf et al. (1986)).

5.2.2.3 Übertiefte Täler

Im Bereich des Mittellandes haben die kaltzeitlichen Gletschervorstösse des Quartärs die Nord-Süd bis Nordwest-Südost verlaufenden Täler teils tief erodiert. Sedimente der jeweils vorhergehenden Kaltzeit wurden zum grössten Teil ausgeräumt. In einigen Tälern liegen aber noch mächtige Reste von risszeitlichen Ablagerungen (z.B. Abbildung 14).

Gut durchlässige Schotter an der Basis der Talfüllungen, wie in Abbildung 14 dargestellt, sowie eingelagerte Schotterkörper mit hydraulischer Verbindung zu kleineren Grundwasservorkommen im Fels (ähnlich wie in Abbildung 15 für ein Alpental dargestellt) können gespanntes oder artesisch gespanntes Grundwasser führen.

Der genaue Aufbau des Untergrundes solcher übertieften Täler ist nur in Ausnahmefällen gut bekannt. Besonders die Ausdehnung von gering mächtigen Schotterlinsen lässt sich nur schwer abgrenzen. Daher muss insgesamt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens artesischer Grundwässer in glazial übertieften Tälern als mässig eingeschätzt werden.

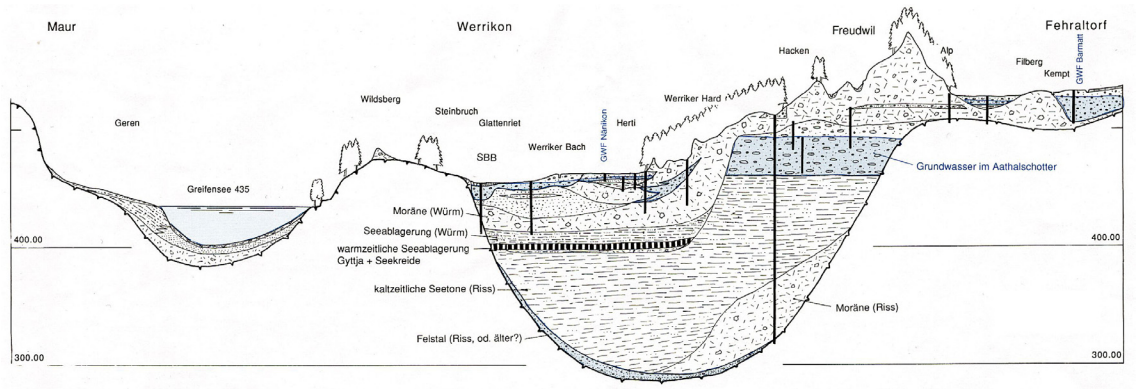


Abbildung 14: Hydrogeologisches Querprofil durch das obere Glattal bei Uster aus Haering et al. (1994). Unter mächtigen kaltzeitlichen Seetonen findet sich ein geringmächtiger Schotter-Grundwasserleiter, welcher weiter südlich im weiteren Verlauf des Tales subartesisch gespannt ist.

5.2.3 Subalpine Molasse/Alpennordrand

5.2.3.1 Festgestein

Im Rahmen der Recherchen für die Arteserkarte (Teilgebiet Basel - Luzern) sind keine Gebiete mit eindeutig auf die Festgesteinsfolge zurückzuführende artesisch gespannte Verhältnisse ermittelt worden. Aus Tiefbohrungen sind solche Verhältnisse durchaus bekannt (z.B. im oberen Kandertal, ausserhalb des Testgebietes).

Das artesisch gespannte Grundwasser bei Ennetbürgen, welches sich in einer tieferen, nach oben durch feinkörnige Sedimente abgedichteten grobkörnigen Deltaablagerunge befindet, wird wahrscheinlich seitlich von gespanntem Felsgrundwasser gespiesen.

5.2.3.2 Quartäre Talfüllungen

Abbildung 15 zeigt einen Querschnitt durch das Seeztal SE von Flums (ausserhalb des Testgebietes). Der heterogene Aufbau des Untergrundes gibt die wechselvolle postglaziale geologische Geschichte wieder. Von Nordosten haben sich immer wieder Bach- und Hangschuttfächer zum Tal hin ausgebreitet. Von der Talmitte nach Südwesten liegen bei 425 m und 435 m ü.M. zwei talquerende Ausläufer solcher mässig bis gut durchlässigen Fächer vor. Diese sind nach unten und oben durch gering durchläs-

sige Seeablagerungen abgeschlossen. Aus dem Fels erfolgt von Nordosten ein Zufluss in diese Schotter und bewirkt einen artesischen Überdruck von einigen Metern in den Schuttfächern, da die nordöstliche Talflanke durch schlecht bis mässig durchlässigen Hangschutt abgedeckt ist.

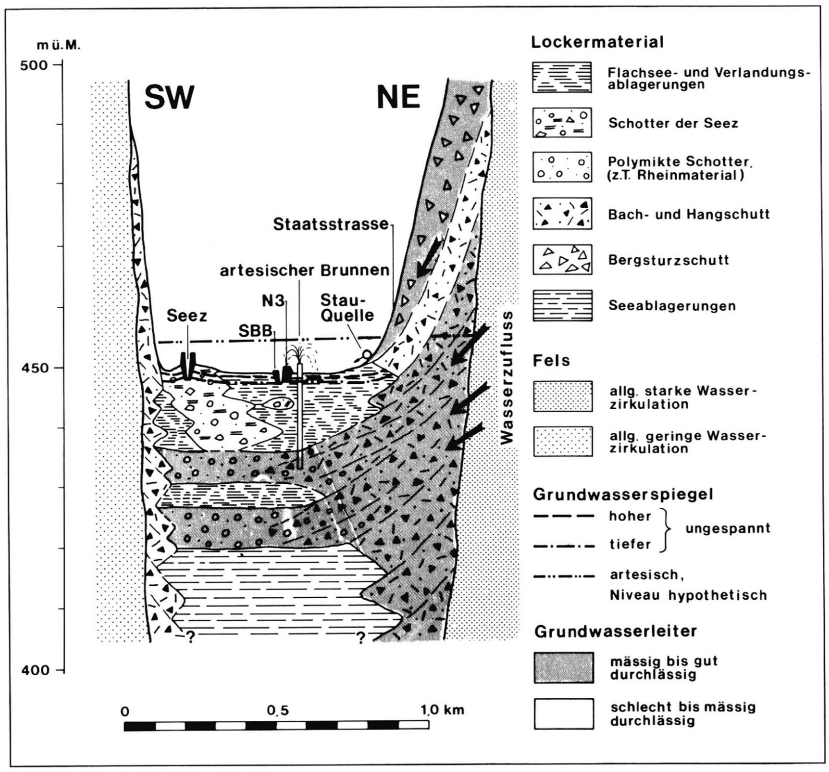


Abbildung 15: Seitlicher Zufluss aus dem Fels in durchlässige Lockergesteinsschichten des Talbodens mit artesischem Grundwasser im Seeztal (aus: Erläuterungen zu Hydrogeologischen Karte 1:100'000 Blatt Toggenburg, Haering et al. (1994)).

6 Arteserkarte für das Teilgebiet Basel – Luzern im Massstab 1:500'000

6.1 Inhalte der Arteserkarte

6.1.1 Flächensignaturen

Dargestellte Einheiten

Wegen der grundsätzlich verschiedenen hydrogeologischen Voraussetzungen für artesisches Grundwasser werden die Gebiete Jura / Alpennordrand und Mittelland / Subalpine Molasse getrennt dargestellt.

6.1.1.1 Jura / Alpennordrand

A. Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe - Grosse Gefährdung durch artesisches Grundwasser

Eine grosse Wahrscheinlichkeit des Auftretens artesischen Grundwassers besteht in nach Süden einfallenden, mässig bis gering verfalteten Schichten des Oberen Muschelkalkes sowie im Hauptrogenstein und den Malmkalken, wenn sie durch hangende, gering durchlässige Schichten abgedeckt sind. Diese Situation findet sich aufgrund des tektonischen Baustils häufig am Jurasüdfuss, im Bereich von Muldenstrukturen innerhalb des Faltenjuras (vgl. 5.2.1), sowie am Fuss der nördlichen Randketten der Helvetischen Decken am Alpennordrand (z.B. im Gebiet Vierwaldstädtersee).

B. Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe - Mässige Gefährdung durch artesisches Grundwasser

Im Faltenjura und am Alpennordrand besteht generell eine mässige Wahrscheinlichkeit des lokalen Auftretens artesischen Grundwassers. Geringmächtige gut durchlässige Schichten, die nicht zu den oben genannten zählen, Störzonen, lokale tektonische Komplikationen und Verkarstungserscheinungen können bei geeigneter Schichtneigung und Morphologie lokal zu artesischem Grundwasser führen.

6.1.1.2 Mittelland

A. Gebiete mit mächtiger Moränenbedeckung (meist >20 m) in Hang- oder Tallage - Mässige Gefährdung durch artesisches Grundwasser

Gering bis mässig durchlässige Moränen haben einen starken Einfluss auf die regionale Hydrogeologie, erkennbar z.B. am Zusammenhang von Quellhorizonten mit der Verbreitung von Moränen. In der Karte sind Moränen mit mindestens ca. 20 m Mächtigkeit dargestellt, welche sich entweder in Hanglage (s. Beispiel 5.2.2) oder im Bereich des Talbodens befinden. Kleinere Verbreitungsgebiete wurden wegen der geringen erwarteten Abdichtungswirkung nicht dargestellt.

B. Glazial übertiefte Täler mit heterogener Lockergesteinsfüllung - Mässige Gefährdung durch artesisches Grundwasser

Vor allem die Täler des aargauischen Mittellandes sind während des Quartärs teilweise tief ausgeschürft worden. Im Verbreitungsgebiet der Gletscher sind während der verschiedenen Rückzugstadien heterogen aufgebaute Talfüllungen entstanden. Darunter finden sich vor allem Moränensedimente, feinkörnige warm- und kaltzeitliche Seeablablagerungen sowie kiesreiche Schotter (Abbildung 14).

Die dargestellte Flächensignatur beruht im Wesentlichen auf einer Auswertung der Karte der übertieften Täler von Wildi (1984)**.** Dargestellt wurden Talabschnitte, bei denen die Festgesteinsoberfläche mindestens einige Zehnermeter unter der Geländeoberfläche liegt und somit das Vorhandensein heterogen aufgebauter Quartärschichten relativ gross ist. Der tatsächliche geologische Aufbau wird dabei nur bedingt berücksichtigt, da er meist nicht ausreichend bekannt ist.

C. Gebiete mit nachgewiesenen artesischem Grundwasser - Grosse Gefährdung durch artesisches Grundwasser

Gebiete, für die artesisches Grundwasser nachgewiesen wurde, sind in der Karte dargestellt. Diese Gebiet entsprechen zum grossen Teil denjenigen der kantonalen Grundwasserkarten. Sie dienen als Zusatzinformation zur Einschätzung der Artesergefährdung.

6.1.1.3 Gesamtes Teilgebiet Basel - Luzern

A. Lockergestein: Gering durchlässige Deckschichten in Hanglage über durchlässigen Aquiferen - Mässige Gefährdung durch artesisches Grundwasser

Als gering durchlässige Deckschichten sind Löss- und Lösslehm in Hanglagen dargestellt, welcher häufig solifluidal (Bodenkriechen während der Kaltzeiten) umgelagert wurde. Voraussetzung für die Darstellung ist, dass unter diesen Deckschichten ein Lockergesteins- oder Felsaquifer ansteht, bei dem durch die abdichtende Wirkung der Deckschichten artesisch gespanntes Grundwasser vorkommen kann.

B.: Gebiete mit geringer Wahrscheinlichkeit des Auftretens artesischen Grundwassers (geringe Gefährdung, Festgestein und Lockergestein)

Für die verbleibenden Gebiete verbleibt eine geringe Wahrscheinlichkeit des Auftretens artesisch gespannten Grundwassers. Aufgrund kleinräumiger, in dem Bearbeitungsmassstab nicht erfassbarer, sowie nicht bekannter hydrogeologischer Verhältnisse können lokal kleinere artesische Grundwasservorkommen auftreten. Dies gilt auch für Gebiete ohne (bekannte) nutzbare Grundwasservorkommen.

6.1.2 Punktsignaturen

6.1.2.1 Natürliche und erbohrte Thermalquellen

Da frei ausfliessende Thermalquellen normalerweise auf artesisch gespanntes Grundwasser in tieferen Reservoirs zurückgehen, sind diese, wie auch die mit Bohrungen gefassten Thermalquellen, ebenfalls dargestellt.

6.1.2.2 Erdwärmesonden

Erdwärmesonden, bei denen während des Bohrens Probleme hinsichtlich artesisch oder subartesisch gespanntem Grundwasser aufgetreten sind, werden in zwei Signaturen dargestellt. Für subartesisch gespanntes und artesisches Grundwasser werden unterschiedliche Signaturen verwendet.

6.1.2.3 Bohrungen mit artesisch gespanntem Grundwasser

Bekannte Brunnen und Bohrungen mit artesischem Grundwasser werden als Punktdaten dargestellt. Bohrungen mit nur temporär artesischem Grundwasser werden dabei ebenfalls berücksichtigt. Es werden nur solche Bohrungen berücksichtigt, bei denen artesisches Grundwasser in weniger als 200 m Tiefe aufgetreten ist.

6.2 Informationsdichte und -genauigkeit

Als Datengrundlagen dienten die im Anhang genannten Dokumente. Da nicht mit georeferenzierten GIS-Datensätzen gearbeitet werden konnte, sind der Genauigkeit der Karte Grenzen gesetzt. Das betrifft nicht nur die korrekte Projektion und Verzerrung der verschiedenen Karten untereinander, sondern auch die resultierenden Flächensignaturen. Bei Punktsignaturen konnten meist die Koordinaten genutzt werden. Die Ungenauigkeit beträgt hierbei geschätzt einige Zehnermeter. Einzelne Punktgruppen wurden zugunsten der besseren Lesbarkeit generalisiert und ihre Anzahl auf repräsentative Punkte reduziert.

Grössere prinzipielle Ungenauigkeiten bestehen bei der flächenhaften Darstellung der Artesergefährdung in den Festgesteinen. Die Ausdehnung der dargestellten Gebiete beruht im Wesentlichen auf der Auswertung geologischer Profilschnitte. Die Gebiete zwischen zwei Profilen werden interpoliert. Weiterhin weisen solche Profilschnitte meist einen relativ grossen Interpretationsspielraum auf, bei dem die Unsicherheiten mit der Tiefe zunehmen.

Die Datengrundlagen selbst sind unterschiedlich zu bewerten. Zu Vorkommen von Artesern im Testgebiet sind im Allgemeinen nur vereinzelte, punktuelle Abgaben vorhanden, d.h. artesisches Grundwasser ist nur an wenigen Stellen dokumentiert. In Gebieten mit höherer Besiedlungsdichte und der damit verbundenen höheren Zahl von Bohrungen liegen häufig auch mehr Daten zu artesischem Grundwasser vor.

Der geologische und hydrogeologische Aufbau des Felsuntergrundes darf für die meisten Gebiete bis in eine Tiefe von einigen Zehnermetern als bekannt gelten, in vielen Gebieten auch bis in grössere Tiefen. Der Aufbau des Lockergesteinsuntergrundes jedoch ist durch glaziale Prozesse häufig sehr heterogen und ausserhalb von erfassten Grundwasservorkommen oder bei geringer Dichte von Bohrungen oft nicht genau bekannt.

Wie oben im Abschnitt 3.3 erwähnt, wurde die hier betrachtete Tiefenbereich wegen der nicht flächendeckend vorhandenen Datengrundlagen auf 0-200 m unter Terrain beschränkt. Grundsätzlich gilt, dass die Genauigkeit der Datengrundlage und somit auch der Arteserkarte selbst mit der Tiefe abnimmt. Bei der Umsetzung der vorhandenen Daten in die vorliegende Arteserkarte wurde im Zweifelsfall von einem konservativen Ansatz ausgegangen. Wo die geologischen Datengrundlagen als mässig gut eingeschätzt wurden oder der Interpretationsspielraum bezüglich der Raumlage von potenziell artesergefährdeten Schichten gross ist, wurden die Gebiete mässiger bzw. hoher Artesergefährdung relativ weit gefasst.

6.3 Aussagekraft

Gemäss dem oben dargestellten Konzept grenzt die Arteserkarte auf der Basis nachvollziehbarer Kriterien das Risiko resp. die Wahrscheinlichkeit des Antreffens artesischen Grundwassers bis in eine Tiefe von 200 m ein. Daraus kann aber keine Prognose für das tatsächliche Antreffen solchen Grundwassers abgeleitet werden.

Es kann festgehalten werden, dass

1. die ausgewählten Kriterien für die Darstellung der Artesergefährdung zielführend sind;

2. die Lage und Ausdehnung von Gebieten mit mässiger bzw. grosser Artesergefährdung mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ermittelt werden kann;

3. die Datengrundlage nur begrenzt zuverlässige Aussagen zulässt. Der geologische Aufbau des Untergrundes ist meist relativ gut bekannt; die Lage potenziell wasserführender Karststrukturen und Störzonen ist nur selten bekannt, diese können ausserdem nur selten bis in grössere Tiefen verfolgt werden. Im Jura und am Alpennordrand ist der Bergwasserspiel in den Festgesteinen meist nur näherungsweise bekannt bzw. abschätzbar;

4. lokal kann artesisches Grundwasser auch in Gebieten mit geringer Artesergefährdung auftreten.

7 Konzept für die Erstellung von detaillierte Planungsgrundlagen am Beispiel einer Arteserkarten im Massstab 1:50'000 für den Kanton Aargau

7.1 Inhalte der Arteserkarte 1:50'000 für den Kanton Aargau

Die Inhalte dieser grössermassstäblichen Arteserkarte orientieren sich an der in Kapitel 6 vorgestellten Arteserkarte 1:500'000 für das Teilgebiet Basel – Luzern. Als Bearbeitungsmassstab wurde 1:25'000 gewählt. Ein zu betrachtender Tiefenbereich von 0-200 m wurde auch für diesen Massstab als sinnvoll erachtet.

Im Unterschied zur Arteserkarte 1:500'000 ist es beim Massstab 1:50'000 besser möglich, Punktdaten zu Bohrungen und Erdwärmesonden darzustellen. Ausserdem können weitere Informationen z.B. die Tiefenlage von wahrscheinlichen Vorkommen artesischen Grundwassers in der Karte dargestellt werden. Die entsprechenden Angaben konnten für die vorliegende Karte (Beilage 3) weitgehend der existierenden „Karte der Nutzungsgebiete für Erdwärmesonden im Kanton Aargau 1:25’000“ entnommen werden. Damit kann abgeschätzt werden, ab welcher Tiefe unter Terrain die artesergefährdete Festgesteinsschicht ansteht.

7.2 Form der Arteserkarte 1:50'000 für den Kanton Aargau

Die vorliegende Arteserkarte 1:50'000 für den Kanton Aargau wurde mittels Grafikprogramm (Adobe Illustrator) als Papierversion erstellt. Mit verhältnismässig geringem Aufwand kann sie in eine GIS-Version übergeführt werden, womit – falls erwünscht - auch eine Publikation im Internetportal des Kantons möglich wäre.

8 Konzept für eine gesamtschweizerische Arteserkarte

8.1 Folgerungen aus der Bearbeitung der Arteserkarte im Massstab 1:200'000

Die Bearbeitung der Arteserkarte für das Teilgebiet Basel - Luzern im Massstab 1:200'000 hat gezeigt, dass anhand der gewählten nachvollziehbarer Kriterien die Kartierung von Gebieten mit ähnlicher Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von artesischem Grundwasser machbar und zielführend ist.

Der Massstab der Kartengrundlagen für die Bearbeitung des Teilgebietes Basel – Luzern war recht heterogen (1:25'000 bis 1:100'000, im Ausnahmefall auch 1:200'000). Ähnliches gilt für die Auswertung von Profilschnitten, anhand derer die Artesergefährdung in Festgesteinen ausserhalb des Mittellandes abgeschätzt wurde. Sie liegen häufig im Massstab 1:25'000 vor.

8.2 Vorgehen für eine gesamtschweizerische Arteserkarte

Für eine Arteserkarte 1:500'000 der Gesamtschweiz kann am prinzipiellen Vorgehen, den Karteninhalten und der Darstellung festgehalten werden (vgl. Kap. 3 und Kap. 6). Die Bearbeitung im Massstab 1:200'000 hat sich bewährt; für den Schritt zum Massstab 1:500'000 sind nur punktuell, in Gebieten mit zu hoher Informationsdichte Generalisierungen notwendig.

Vom Gesichtspunkt der Lesbarkeit her wäre allenfalls eine Erstellung im Massstab 1:200'000 zu überlegen. In diesem Fall müsste das dargestellte Gebiet, falls die Karte als Printprodukt publiziert würde, auf 4 Blätter aufgeteilt werden.

Die Verwendung des geologischen GIS-Datensatzes Geo500 würde die Bearbeitung erleichtern. Zum einen können Gebiete mit Moränen in einem geeigneten Massstab übernommen werden. Diese müssten dann noch nachbearbeitet und ggfs. generalisiert werden. Zum anderen können anhand der Gebiete der per definitionem generell artesergefährdeten Festgesteine die genauer zu bearbeitenden Regionen gut abgegrenzt werden.

Ein weiterer Vorteil in der GIS-basierten Bearbeitung ist die höhere kartografische Genauigkeit, da alle eingescannten Kartengrundlagen, vor allem aber die Punktdaten georeferenziert sind und somit gegen versehentliches Verschieben geschützt sind. Punktdaten können zudem über eine Datenbank eingebunden werden. Diese Datenbank kann auch zur Abfrage von Informationen über Bohrungen und EWS-Sonden genutzt und mit wenig Aufwand ergänzt werden.

Die Definition der artesergefährdeten Festgesteinseinheiten muss dem erweiterten Gebiet angepasst resp. zusätzliche Einheiten festgelegt werden. Insbesondere ist auf Faziesunterschiede (gebietsweise unterschiedliche Ausbildung stratigrafisch gleicher Schichtglieder) zu achten. Inwieweit andere, im Testgebiet allfällig nicht vorhandene Kriterien bei der Erstellung der Arteserkarte 1:500'000 mit einbezogen werden, muss dabei ständig überprüft werden.

Die Ermittlung der Artesergefährdung für die Alpenregionen ist zu verfeinern. Für die Festgesteine liegen relativ wenig Daten zu artesischem Grundwasser vor. Das starke Relief, sehr unterschiedliche und meistens nicht bekannte Bergwasserspiegel machen die Abschätzung der Artesergefährdung schwierig. Dies zeigt sich auch im wenig differenzierten Bild im Südteil der vorliegenden Arteserkarte 1:200'000. Weiterhin ist gemäss Abbildung 1 die Anzahl der im Alpengebiet installierten EWS gering und i.w. auf die Talsohlen beschränkt.

Vor allem in Kristallingebieten der Zentralalpen können kaum hydrogeologische Kriterien zur Abschätzung der Artesergefährdung herangezogen resp. zur Erstellung der Arteserkarte genutzt werden. Die Lage des Bergwasserspiegels ist beispielsweise vor allem in den Kristallingebieten der Alpen kaum bekannt. Das Auftreten artesischen Grundwassers ist dort wesentlich von der Topografie, der zu strukturellen Hauptelementen parallelen hydraulischen Anisotropie sowie dem Vorhandensein von Störzonen als permeable Elemente abhängig.

Die Topografie könnte in diesen Gebiete mit Hilfe des digitalen Höhenmodells der *swisstopo* so ausgewertet werden, dass Täler mit steilen Talflanken und einem zu bestimmenden Höhenunterschied als artesergefährdet erscheinen. Ansonsten müssten diese Gebiete unter Hinweis auf die weitgehend fehlenden Datengrundlagen undifferenziert als generell mässig artesergefährdet ausgewiesen werden.

Alternativ ist zu überlegen, ob eine gesamtschweizerische Karte der Artesergefährdung 1:500'000 nur auf den ausseralpinen Bereich beschränkt werden sollte, resp. im Alpenbereich auf die Lockergesteins-Talfüllungen.

8.3 Beurteilung der gesamtschweizerischen Datengrundlage

Die geologisch-hydrogeologische Informationsdichte ist für das ausseralpine Gebiet ist in der übrigen Schweiz ähnlich der des Teilgebietes Basel - Luzern. Unterschiede bestehen vor allem bezüglich Bohrungen und Erdwärmesonden, die von Kanton zu Kanton deutliche Unterschiede in ihrer Anzahl, Archivierung und Verfügbarkeit der Daten aufweisen.

9 Empfehlungen für den Umgang mit Artesern am Beispiel des Kantons Aargau (Checklisten Arteserbewältigung)

Seitens der zuständigen Fachstelle des Kantons Aargau (Baudepartement, Abteilung für Umwelt) wurden wir ersucht, Dokumente zu erstellen, welche den sachgerechten Umgang der Behörden mit bei EWS-Bohrungen auftretenden Artesern sicherstellen sollen. Entsprechende Dokumente wurden von uns in Zusammenarbeit mit dem zuständigen Sachbearbeiter (Herr Eduard Jakob) erarbeitet. Sie sind im Anhang 1 enthalten. Folgende Dokumente wurden erstellt:„Artesisch austretendes Grundwasser bei Erdwärmesonden-Bohrungen“

- Checkliste 1: Meldung des Wasseraustrittes
- Checkliste 2: Bohrstellenbesuch
- Checkliste 3: Erfolgskontrolle der Abdichtung

Ziel war es, eine vollständige und eindeutige Zusammenstellung der relevanten Daten der betroffenen Bohrung und der beteiligten Stellen, Firmen und Personen, eine knappe Dokumentation der Ereignisse, Befunde und Massnahmen sowie der Anordnungen seitens der Behörden zu erreichen.

Vor bohrtechnischer Seite ist es unbedingt angeraten, ein auf das Risiko des Antreffens von artesischem Grundwasser abgestimmtes Vorgehen zu wählen. Die zu erwartenden Drücke am Bohrkopf sind in den weitaus meisten Fällen bei Bohrungen für Erdwärmesonden moderat und liegen bei wenigen Metern bis maximal einigen Zehnermetern. Der Einsatz von aufwändigen Drehpreventern wäre daher unverhältnismässig. Allerdings sollte bohrtechnisch eine Möglichkeit bestehen, das freie Auslaufen der Bohrungen zu verhindern und die entsprechenden Vorrichtungen zum Verfüllen der Bohrung sollten zumindest in kurzer Zeit beschaffbar sein.

Baden, 2. Dezember 2004

Matousek, Baumann & Niggli AG

Beratende Geologen USIC

Dr. Volker Lützenkirchen Dr. Hansruedi Graf

Artesisch austretendes Grundwasser bei Erdwärmesonden-Bohrungen

Checkliste 1: Meldung des Wasseraustrittes

Grunddaten

Bewilligungsnummer / Gemeinde ...../.....
Bewilligte Bohrtiefe .....
Bauherrschaft: .....
Kontaktperson .....
Adresse der Bohrstelle .....
Koordinaten der Bohrstelle .....

Befund

Beginn des Wasseraustrittes .....
Zeitpunkt der Meldung / durch wen .....
Tiefe des Wasserzutrittes .....
Austretenden Wassermenge .....l/min zunehmend ☐ abnehmend ☐
Temperatur des Wassers .....

Beteiligte

Bohrfirma / Bohrmeister .....
Bauleitung / Architekt .....
Geologe .....

Betroffene / Schadensszenarien

Angrenzende Parzellen	ja ☐	nein ☐
Strassen (Vereisungsgefahr)	ja ☐	nein ☐
Oberflächengewässer	ja ☐	nein ☐
Quellen / Thermen	ja ☐	nein ☐

Bisherige Massnahmen

Geologe informiert ja ☐ nein ☐

Weitere Massnahmen

Weiteres Vorgehen

Bohrstellenbesuch nein ☐ Termin .....
Teilnehmer AFU ☐ Bauherrschaft ☐ Bauleitung ☐ Bohrfirma ☐
Geologe ☐ Weitere .....
.....

Artesisch austretendes Grundwasser bei Erdwärmesonden-Bohrungen

Checkliste 2: Bohrstellenbesuch

Grunddaten

Bewilligungsnummer / Gemeinde ...../.....
Bauherrschaft: .....
Kontaktperson/Bauleitung .....
Koordinaten der Bohrstelle .....

Datum, Zeit Bohrstellenbesuch .....

Teilnehmer Bohrstellenbesuch

Amt für Umwelt .....
Bauherrschaft .....
Bauleitung / Architekt .....
Bohrfirma / Bohrmeister .....
Geologe .....
Weitere .....
.....

Angetroffene Situation

Wasseraustritt aktiv ☐ zunehmend ☐ abnehmend ☐
versiegt ☐ abgedichtet ☐
Schüttungsmenge ..... l/min
Temperatur des Wassers ..... °C
Wasserprobe notwendig ☐ nicht notwendig ☐
entnommen ☐
durch .....

Geologische Verhältnisse

Wasseraustritt in Lockergestein .....
Wasseraustritt in Festgestein .....
Bohrproben vorhanden ☐ nicht vorhanden ☐

Vorgesehen Abdichtungsmassnahmen

Nachkontrolle vor Ort durch AFU notwendig ☐ nicht notwendig ☐

Weiteres Vorgehen für Erdwärmenutzung

Artesisch austretendes Grundwasser bei Erdwärmesonden-Bohrungen

Checkliste 3: Erfolgskontrolle der Abdichtung

Grunddaten

Bewilligungsnummer / Gemeinde ...../.....
Bauherrschaft: .....
Kontaktperson/Bauleitung .....
Koordinaten der Bohrstelle .....

Kontrolle der Abdichtung

Nachkontrolle vor Ort nicht notwendig, nicht erfolgt ☐
Datum .....
Ausgeführt durch .....

Erfolg der Abdichtungsmassnahmen

Wasseraustritt aktiv ☐ abgedichtet ☐
Schüttungsmenge .....

Getroffene Abdichtungsmassnahmen

Bohrfirma / Bohrmeister .....
Massnahmen

Erstellte Erdwärmenutzungs-Anlage

Ergebnisse der Wasserprobe

nicht notwendig, nicht erfolgt ☐

erfolgt ☐

Massnahmen bezüglich Planungsgrundlagen

keine ☐
Aktualisierung EWS-Karte ☐
Aktualisierung Arteserkarte ☐

Arteser in der Grundwasserkarte AG/ZH

In unten stehender Tabelle sind die in hydrogeologischen Karten oder Grundwasserkarten der Kantone AG und ZH angegebene Quellen und Bohrungen/Brunnen mit artesischem Überdruck aufgelistet.

Blatt	R	H	Art	Geologie
Baden	667'000	261'500	Grundwasser artesisch gespannt (bei Freienwil)	
Baden	666'000	259'100	Thermalquellen Baden	Muschelkalk
Wohlen	655'010	252'220	Thermalquelle (Bohrung, Jodquelle)	
Frick	654'740	265'520	Thermalquelle Schinznach, natürlich & erbohrt	
Muri	656'740	232'000	gespanntes GW in GWF Russrainmatten (S' Menziken)	
Muri	657'500	241'500	GW artesisch gespannt (N-Ende Halllwiler See	
Muri	666'500	233'200	GWF 36-301 artesisch	Moräne/Schotter
Muri	666'650	232'230	GWF 8.19 artesisch	Moräne/Schotter
Zurzach	663'980	271'230	Bohrungen Thermal Zurzach, artesisch 40°C	
Albis	679'200	239'800	GW artesisch gespannt, Reppischtal	
Albis	679'500	240'500	GW artesisch gespannt, Reppischtal	
Albis	679'800	240'800	GW artesisch gespannt, Reppischtal	
Andelfingen	698'500	270'000	GW artesisch gespannt, SW Thalheim (Thur)	
Diessenhofen	699'200	280'000	Tieferes GW-Stockwerk subartesisch bis artesisch gespannt	
Diessenhofen	700'300	280'200	gespanntes GW in 54 m u. OKT	
Kanton Zug	674'180	218'650	Quelle ("Aufstoss")	
Zürich	675'700	244'750	tieferes GW-Stockwerk artesisch gespannt (Reppischtal bei Birmensdorf	
Zürich	677'500	243'800	tieferes GW-Stockwerk artesisch gespannt (Wettswil a.A.)	
Zürich	674'600	247'500	GW z.T. artesisch gespannt (S' Oberurdorf)	
Zürich	684'500	252'400	GW z.T. artesisch gespannt (0-3 m ü. OKT, Oerlikon)	
Zürich	689'500	252'500	tieferes GW-Stockwerk artesisch gespannt (Brüttisellen)	

Verwendete Literatur

(Auswahl, v.a. Karten und Dokumente mit Profilschnitten)

Amt für Umweltschutz und Energie Basel-Landschaft (2003): Hydrographisches Jahrbuch 2003.

Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern (1997): Grundwasserkarte des Kantons Luzern 1:50'000. Kanton Luzern, Militär-, Polizei- und Umweltschutzdepartement.

Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern (1997): Grundwasservorkommen im Reusstal und Rontal. Hydrogeologische Verhältnisse, Bewirtschaftung und Schutz des Grundwassers. Schlussbericht der Untersuchungsperiode 1989-1997. Kanton Luzern, Militär-, Polizei- und Umweltschutzdepartement.

Amt für Umweltschutz des Kantons Uri, Abteilung Gewässerschutz (1990): Hydrogeologische Grundlagen Urner Reusstal. Verschiedene Karten 1:10'000.

Amt für Umweltschutz des Kantons Uri, Abteilung Gewässerschutz (1994): Hydrogeologische Grundlagen Urserental. Verschiedene Karten 1:10'000.

Amt für Umweltschutz des Kantons Zug (2000): Grundwasserkarte 1:25'000.

Baudepartement Basel-Stadt (1991): Grundwassersimulation Basel, Flurabstand Mittelwasser 1:10'000. Kiefer & Studer AG, Rheinach. z.H.v. Baudepartement Basel-Stadt, Gewässerschutzamt.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (1993): Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Baden.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (1993): Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Wohlen.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz(1994): Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Aarau.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (1994): Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Zofingen.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (1994): Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Schöftland.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (1995): Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Zurzach.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (1996): Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Laufenburg.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (1996): Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Rheinfelden.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (1996): Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Frick.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (1997): Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Muri.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (1997): Grundwasserkarte 1:25'000, Blatt Sins.

Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (2000): Hydrogeologisches Jahrbuch des Kantons Aargau. Oberflächengewässer, Grundwasser. Aarau.

Binz, N. (1953): Geologische Profile 1:25'000 durch den nord-östlichen Aargauer Tafeljura, in: Diplomarbeit.

Bitterli, P. (1945): Geologie der Blauen- und Landskronkette südlich von Basel, Universität Basel, 73 S.

Bitterli-Brunner, P., Fischer, H. & Herzog, P. (1984): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1067 Arlesheim, mit Erläuterungen. Schweizerische Geologische Kommission.

Braun, L. (1919): Geologische Karte der Umgebung von Frick 1:25 000, Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft Basel, Bd.31.

Büro Werner AG (1992): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern. Hydrogeologie Rotbachtal und Oberes Langetetal, Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern (VEWD).

Buser, H. (1952): Beiträge zur Geologie von Blatt Bözen (Nr. 33) im Schweizerischen Tafeljura unter besonderer Berücksichtigung des Rhät und unteren Lias in den Nachbargebieten, Universität Zürich.

Buxtorf, A. (1907): Geologische Karte des Weissensteintunnelgebietes 1:25'000.

Buxtorf, A. (1910): Geologische Karte der Pilatus - Bürgenstock - Rigihochfluhkette. Blatt II Bürgenstock.

Buxtorf, A., Baumberger, E., Niethammer, G. & Arbenz, P. (1913): Geologische Karte der Pilatus - Bürgenstock - Rigihochfluhkette. Blatt III, Rigihochfluhkette.

Buxtorf, A., Tobler, A., Niethammer, G., Baumberger, E., Arbenz, P. & Staub, W. (1916): Geologische Vierwaldstättersee - Karte 1:50'000.

Freeze, R. A. und Cherry, J.A. (1979): Groundwater. Eaglewood, New Jersey, Prentice-Hall.

Fröhlicher, H. (1948): Geologische Profile durch die Molasseregion von Aarwangen und Umgebung 1:50'000. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, Geotechnische Serie 26(2).

Gerber, E. (1950): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 22 Fraubrunnen, Wynigen, Hindelbank, Burgdorf, mit nördlichem Teil von Blatt Bigenthal. Schweizerische Geologische Kommission.

Gerber, M.E., Kopp, J. & Flück, W. (1990): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 84 Sursee.. Schweizerische Geologische Kommission.

Gerber, M. E. & Wanner, J. (1984): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1128 Langenthal, mit Erläuterungen. Schweizerische Geologische Kommission.

Goldschmid, H. O. (1965): Die Geologie des Faltenjura zwischen Olten und Unterem Hauenstein. Tätigkeitsbericht der Naturforschenden Gesellschaft Baselland 24.

Gorhan, H. L. & Griesser, J. C. (1988): Geothermische Prospektion im Raume Schinznach Bad - Baden. Beitr.äge zur Geologischen Karte der Schweiz, Geotechnische Serie 76.

Graf, H. R. (in Vorb.): Stratigraphie von Mittel- und Oberpleistozän in der Nordschweiz. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz.

Gsell, F. (1968): Geologie des Falten- und Tafeljura zwischen Aare und Wittnau und Betrachtungen zur Tektonik des Ostjura zwischen dem unteren Hauenstein im W und der Aare im E. Mitteilungen aus dem Geologischen Institut der Universität und der ETH Zürich, N.F. 91.

Gürler, B., Hauber, L. & Schwander, M. (1987): Die Geologie der Umgebung von Basel, mit Hinweisen über die Nutzungsmöglichkeiten der Erdwärme. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F. 160.

Gygi, R. A. (1969): Zur Stratigraphie der Oxford-Stufe (oberes Jura-System) der Nordschweiz und des süddeutschen Grenzgebietes. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F. 136.

Haering, Ch., Jäckli, H., Kobel, M., Kündig, R., Lienert, O., Philipp, R., Starck, P. & Wyssling, L. (1994): Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:100'000 - Toggenburg. Schweizerische Geotechnische Kommission.

Hantke, R. (1961): Tektonik der helvetischen Kalkalpen zwischen Obwalden und dem St. Galler Rheintal. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 106(1).

Hauber, L. (1960): Geologie des Tafel- und Faltenjura zwischen Reigoldswil und Eptingen (Kt. Baselland). Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F. 112.

Hauber, L. (1989): Gesteine und Tektonik im Aargauer Tafeljura zwischen Rhein und Aare (Exkursion F am 30. März 1989). Jahresbericht und Mitteilungen des oberrheinischen geologischen Vereins, N.F. 71: S. 111-120.

Hauber, L. (1991): Geologie des Bözbergtunnels. SIA-Dokumentation D 074: S. 15-22.

Hauber, L. & Pfirter, U. (1992): Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:100'000. Blatt Biel/Bienne, mit Erläuterungen. Schweizerische Geotechnische Kommission.

Herzog, P. (1956): Tafeljura und Rheintalflexur südöstlich von Basel. Eclogae geologicae Helvetiae 49(2).

Isler, A., F. Pasquier, et al. (1984): Geologische Karte der zentralen Nordschweiz (mit angrenzenden Gebieten von Baden - Württemberg) 1:100'000. Nagra Technischer Bericht, 84-25

Jäckli, B. (1981): Hydrogéologie du Vallon de St.-Imier. 108 S.

Jäckli, H. (1966): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1090 Wohlen, mit Erläuterungen. Schweizerische Geologische Kommission.

Jäckli, H. (1976): Karte der Lockergesteins-Grundwasservorkommen 1:100'000. Kantonalplanung Schwyz, Wasserhaushaltplan, Beilage 3.

Jäckli, H., Bögli, A., Locher, Th., Nabholz, W., Schindler, C., Weber, E. & Wyssling, L. (1985): Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:100'000. Blatt 3 Panixerpass, mit Erläuterungen. Schweizerische Geotechnische Kommission.

Jäckli, H. und Kempf, T. (1972): Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:100'000, Blatt Bözberg - Beromünster, mit Erläuterungen. Schweizerische Geotechnische Kommission.

Kapp, J. (1962): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 28 Luzern. Schweizerische Geologische Kommission.

Kaufmann, F. J. (1886): Emmen- und Schlierengegenden nebst Umgebungen bis zur Brünigstrasse und Linie Lungern-Grafenort. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, 24.

Kellerhals, P. und Haefeli, C. (1989): Hydrogeologie Oenztal. Wasser und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern.

Kempf, Th., Freimoser, M., Haldimann, P., Longo, V., Müller, E., Schindler, C., Styger, G. & Wyssling, L. (1986): Die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich: Erläuterungen zur Grundwasserkarte 1:25'000. Kümmerly & Frey.

Koch, R. (1923): Geologische Beschreibung des Beckens von Laufen im Berner Jura. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F. 48.

Koch, R., Lehner, E., Waibel, A. & Mühlberg, M. (1936): Geologischer Atlas der Schweiz, Laufen - Bretzwil - Erschwil - Mümliswil. 1:25'000. Schweizerische Geologische Kommission.

Kopp, J. (1945): Geologischer Atlas der Schweiz1:25'000, Beromünster - Hochdorf - Sempach - Eschenbach. Schweizerische Geologische Kommission.

Kopp, J., Bendel, L. & Buxtorf, A. (1955): Geologischer Atlas der Schweiz, Luzern. 1:25'000. Schweizerische Geologische Kommission.

Ledermann, H. (1978): Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt 72 Solothurn: mit Erläuterungen. 1:25'000. Schweizerische Geologische Kommission.

Lehner, E. (1920): Geologische Profile durch Blatt Bretzwil. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F. 47(II).

Matousek, F., Wanner, M., Baumann, A., Graf, H.R., Nüesch, R. & Bitterli, T. (2000): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1050 Zurzach, mit Erläuterungen. Schweizerische Geologische Kommission.

Mohler, H. (1966): Stratigraphische Untersuchungen in den Giswiler Klippen (Préales Médianes) und ihrer helvetisch-ultrahelvetischen Unterlage. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F. 129.

Mollet, H. (1921): Karte und Profilserie zur geologischen Karte Schafmatt-Schimberggebietes (Kt. Luzern) 1:25'000. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F., 47(3).

Motor, C. I. (1981): Hydrogeologie Laufental. Wasser und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern.

Mühlberg, F. (1901): Geologische Karte der Lägernkette 1:25 000.

Mühlberg, F. (1904): Geologische Karte des unteren Aare - , Reuss - und Limmat - Tales 1:25'000.

Mühlberg, F. (1908): Geologische Karte der Umgebung von Aarau 1:25'000.

Mühlberg, F. (1910): Geologische Karte der Umgebung des Hallwilersees und des obern Winen - und Surtales 1:25'000.

Mühlberg, F. (1914): Geologische Karte des Hauensteingebietes 1:25 000 (Waldenburg-Olten).

Mühlberg, F. (1914): Geologische Profile durch das Hauensteingebiet 1:25 000 & 1:36 500.

Mühlberg, F. (1915): Geologische Karte des Hauensteingebietes 1:25'000.

Mühlberg, F. und Niggli, P. (1913): Geologische Karte des Gebietes Roggen - Born - Boowald 1:25'000.

Niggli, P. (1912): Geologische Karte von Zofingen 1:25'000.

Notz, R. (1924): Geologische Untersuchungen an den östlichen Lägern. Dissertation Universität Zürich.

Ochsner, A. (1969): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1133 Linthebene, mit Erläuterungen. Schweizerische Geologische Kommission.

Ottiger, R., Freimoser, M., Jäckli, H., Kopp, J.& Müller, E. (1990): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, 1131 Zug.. Schweizerische Geologische Kommission.

Partner, W. (1997): Hydrogeologie Bipperamt, Wasser und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern.

Pasquier, F., Bouzelboudjen, M. & Zwahlen, F. (1999): Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:100'000. Blatt 6 Sarine/Saane, mit Erläuterungen. Schweizerische Geotechnische Kommission.

Pfirter, U. and L. Hauber (1991): Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:100'000. Blatt 4 Biel/Bienne. Schweizerische Geotechnische Kommission.

Schider, R. (1913): Geologische Profilserie durch die Schrattenfluh. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F. 43.

Schider, R. (1913): Geologische Karte der Schrattenfluh 1:25'000.

Schindler, B. (1977): Hydrogéologie de la Vallée de Tavannes, Wasser und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern.

Schindler, C. (1977): Zur Geologie von Baden und seiner Umgebung. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen ; Nr. 67.

Schmassmann, H. (1977): Die Mineral- und Thermalwässer von Bad Lostorf. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft des Kantons Solothurn (27), S. 150-290.

Schmassmann, H. (1980): Geologie und Genese der schweizerischen Mineral- und Thermalwässer. Die Mineral- und Heilquellen der Schweiz. O. Högl. Bern und Stuttgart, Verlag Paul Haupt.

Schmutz, D. C. und Haefeli, C. (1981): Hydrogeologie Oberaargau: Teilgebiete: Langenthal, Roggwiler-Terrasse, Mittleres Langetental, Oenztal, Bipperamt, Wasser und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern.

Staehelin, P. (1924): Geologische Profile durch die Juraketten bei Welchenrohr, Solothurn, 1:25'000. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F. 55(3).

Vuataz, F.-D. (1982): La zone thermale de Zurzach. Hydrogéologie, géochimie et géothermie des eaux thermales de Suisse et des régions alpines limitrophes, Kümmerly & Frey, 174 S.

Wiedenmayer, C. (1923): Geologie der Juraketten zwischen Balsthal und Wangen a.A. : (Abschnitte der Weissenstein- und Farisberg-Graiterykette). Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, N.F. 48(3).

Wildi, W. (1972): Geologische Profile durch den Tafeljura zwischen Leibstadt und Sulz, in: Diplomarbeit.

Wildi, W. (1975): Die Mettauer Überschiebung im Aargauischen Tafeljura (Nordschweiz). Eclogae geologicae Helvetiae 68(3): S. 483-489.

Wildi, W. (1984): Isohypsenkarte der quartären Felstäler in der Nord- und Ostschweiz, mit kurzen Erläuterungen. Eclogae geologicae Helvetiae 77(3): S. 541-551.

Wittmann, O., Hauber, L., Fischer, H., Rieser, A. & Staehelin, P. (1971): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 59 Basel, mit Erläuterungen. Schweizerische Geologische Kommission.

Bundesamt für Energie
Karte der Artesergefährdung

1 : 500 000



gross

- Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe
- Gebiete mit nachgewiesenem artesischem Grundwasser

Gefährdung durch artesisches Grundwasser

mässig

- Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe
- Gebiete mit mächtiger Moränenbedeckung (meist >20 m) in Hang- oder Tallage
- Glazial übertiefte Täler mit heterogener Lockergesteinsfüllung
- Gebiete mit gering durchlässigen Deckschichten in Hanglage über durchlässigen Aquiferen

Falls mehrere Flächensignaturen übereinander liegen, kann sich die totale Artesergefährdung erhöhen.

gering

- Gebiete mit *geringer* Wahrscheinlichkeit des Auftretens von artesischem Grundwasser

Zeichen

- Natürliche und erbohrte Thermalquellen
- 28 m — Bohrungen mit artesisch gespanntem Grundwasser bis 200 m Tiefe (teilweise mit Angabe der Tiefe des Auftretens)
- Bohrungen mit gespanntem Grundwasser bis 200 m Tiefe oder artesisch gespanntem Grundwasser tiefer als 200 m
- Erdwärmesonde mit artesischem Grundwasser
- Erdwärmesonden mit gespanntem Grundwasser

1 : 500'000

0 4 8 12 16 20 24 32 40 Kilometer

Baden, im November 2004

Matousek, Baumann & Niggli AG
Beratende Geologen USIC

Bundesamt für Energie
Karte der Artesergefährdung

1 : 200 000

Gefährdung durch artesisches Grundwasser

gross

- Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe
- Gebiete mit nachgewiesenem artesischem Grundwasser

mässig

- Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe
- Gebiete mit mächtiger Moränenbedeckung (meist >20 m) in Hang- oder Tallage
- Glazial übertiefte Täler mit heterogener Lockergesteinsfüllung
- Gebiete mit gering durchlässigen Deckschichten in Hanglage über durchlässigen Aquiferen

Falls mehrere Flächensignaturen übereinander liegen, kann sich die totale Artesergefährdung erhöhen.

gering

- Gebiete mit *geringer* Wahrscheinlichkeit des Auftretens von artesischem Grundwasser

Zeichen

- Natürliche und erbohrte Thermalquellen
- 28 m — Bohrungen mit artesisch gespanntem Grundwasser bis 200 m Tiefe (teilweise mit Angabe der Tiefe des Auftretens)
- Bohrungen mit gespanntem Grundwasser bis 200 m Tiefe oder artesisch gespanntem Grundwasser tiefer als 200 m
- Erdwärmesonde mit artesischem Grundwasser
- Erdwärmesonden mit gespanntem Grundwasser

1 : 200'000

0 2 4 8 12 16 20 Kilometer

Baden, im November 2004

Matousek, Baumann & Niggli AG
Beratende Geologen USIC



Kanton Aargau
Karte der Artesergefährdung

1 : 50'000
verkleinert auf 1:75'000

Baudepartement des Kantons Aargau
Abteilung Umweltschutz

Gefährdung durch artesisches Grundwasser

gross

- Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe
- Gebiete mit nachgewiesenem artesischem Grundwasser

mässig

- Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe
- Gebiete mit mächtiger Moränenbedeckung (meist >20 m) in Hang- oder Tallage
- Glazial übertiefte Täler mit heterogener Lockergesteinsfüllung
- Gebiete mit gering durchlässigen Deckschichten in Hanglage über durchlässigen Aquiferen

Falls mehrere Flächensignaturen übereinander liegen, kann sich die totale Artesergefährdung erhöhen.

gering

- Gebiete mit geringer Wahrscheinlichkeit des Auftretens von artesischem Grundwasser

Zeichen

- Natürliche und erbohrte Thermalquellen
- 28 m — Bohrungen mit artesisch gespanntem Grundwasser bis 200 m Tiefe (teilweise mit Angabe der Tiefe des Auftretens)
- Bohrungen mit gespanntem Grundwasser bis 200 m Tiefe oder artesisch gespanntem Grundwasser tiefer als 200 m
- Erdwärmesonde mit artesischem Grundwasser
- Erdwärmesonden mit gespanntem Grundwasser
- Kantonsgrenze Aargau

1 : 50'000

0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometer

Baden, im November 2004

Matousek, Baumann & Niggli AG
Beratende Geologen USIC

Karte verkleinert auf 1:75'000

Kanton Aargau
Karte der Artesergefährdung

1 : 50'000
Teil Ost

Baudepartement des Kantons Aargau
Abteilung Umweltschutz

Gefährdung durch artesisches Grundwasser

gross

- Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe
- Gebiete mit nachgewiesenem artesischem Grundwasser

mässig

- Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe
- Gebiete mit mächtiger Moränenbedeckung (meist >20 m) in Hang- oder Tallage
- Glazial übertiefte Täler mit heterogener Lockergesteinsfüllung
- Gebiete mit gering durchlässigen Deckschichten in Hanglage über durchlässigen Aquiferen

Falls mehrere Flächensignaturen übereinander liegen, kann sich die totale Artesergefährdung erhöhen.

gering

- Gebiete mit *geringer* Wahrscheinlichkeit des Auftretens von artesischem Grundwasser

Zeichen

- Natürliche und erbohrte Thermalquellen
- 28 m — Bohrungen mit artesisch gespanntem Grundwasser bis 200 m Tiefe (teilweise mit Angabe der Tiefe des Auftretens)
- Bohrungen mit gespanntem Grundwasser bis 200 m Tiefe oder artesisch gespanntem Grundwasser tiefer als 200 m
- Erdwärmesonden mit artesischem Grundwasser
- Erdwärmesonden mit gespanntem Grundwasser
- Kantonsgrenze Aargau

1 : 50'000
0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometer

Baden, im November 2004

Matousek, Baumann & Niggli AG
Beratende Geologen USIC

Kanton Aargau
Karte der Artesergefährdung

1 : 50'000
Teil West

Baudepartement des Kantons Aargau
Abteilung Umweltschutz

Gefährdung durch artesisches Grundwasser

gross

- Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe
- Gebiete mit nachgewiesenem artesischem Grundwasser

mässig

- Gebiete mit Festgesteinen bis 200 m Tiefe
- Gebiete mit mächtiger Moränenbedeckung (meist >20 m) in Hang- oder Tallage
- Glazial übertiefte Täler mit heterogener Lockergesteinsfüllung
- Gebiete mit gering durchlässigen Deckschichten in Hanglage über durchlässigen Aquiferen

Falls mehrere Flächensignaturen übereinander liegen, kann sich die totale Artesergefährdung erhöhen.

gering

- Gebiete mit *geringer* Wahrscheinlichkeit des Auftretens von artesischem Grundwasser

Zeichen

- Natürliche und erbohrte Thermalquellen
- 28 m — Bohrungen mit artesisch gespanntem Grundwasser bis 200 m Tiefe (teilweise mit Angabe der Tiefe des Auftretens)
- Bohrungen mit gespanntem Grundwasser bis 200 m Tiefe oder artesisch gespanntem Grundwasser tiefer als 200 m
- Erdwärmesonde mit artesischem Grundwasser
- Erdwärmesonden mit gespanntem Grundwasser
- Kantonsgrenze Aargau

1 : 50'000
0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometer

Baden, im November 2004

Matousek, Baumann & Niggli AG
Beratende Geologen USIC