

UNI  
BASEL

Departement Umweltwissenschaften

Universität Basel

Angewandte und Umweltgeologie



Bau- und Umweltschutzdirektion

Kanton Basel-Landschaft

Amt für Umweltschutz und Energie

# Risikoorientierte Bewilligung von Erdwärmesonden

Idstein 17. August 2011

**Peter Huggenberger, Stefan Scheidler (Universität Basel),**

**Christoph Butscher (MIT, Cambridge)**

**Adrian Auckenthaler, Dominik Bänninger (Amt für Umweltschutz und Energie)**



# Tages-Anzeiger

Die unabhängige schweizerische Tageszeitung

Montag  
12. Oktober 2009

Fr. 2.80, Ausland: € 2.30 / AZ 8023 Zürich  
117. Jahrgang Nr. 236 - Auflage 209 297

## Im Untergrund herrscht Chaos

Tiefgaragen kappen Wasserläufe, Erdwärmesonden behindern Tunnel. Bauzonen gefährden Pipelines - die Schweizer Raumplanung geht nicht in die Tiefe.

### Von Erwin Haas

Die Geologische Fachkommission des Bundes (EGK) ist beunruhigt: Die Politik vernachlässigt die Planung des Untergrunds sträflich. Die Raumentwicklung trage dem Nutzungsdruck zu wenig Rechnung. Die Geologen, die den Bundesrat beraten, verlangen Tiefenschärfe statt Oberflächlichkeit. Sie sprechen von «gegenseitigen Beeinflussungen und Gefährdungen» bei der Nutzung unter Boden. Gefragt sind Koordination und Planung auf Bundesebene. Die zunehmende Verstädterung, wachsende Naturgefahren, Lärm und Schadstoffe sowie die Erhaltung von Kultur-

und Landwirtschaftsland kämen sich in die Quere. Durch das fortschreitende Siedlungswachstum der Schweiz würden immer mehr Bauten in den Boden verlagert. Der Anspruch auf dessen Nutzung nehme stetig zu. «Die mangelnde Koordination, die wir an der Oberfläche feststellen, muss im Untergrund rechtzeitig vermieden werden, denn weitere Raumreserven stehen uns nicht zur Verfügung», schreibt die EGK in ihrem Rapport an den Bundesrat.

### Vorstoss im Parlament

Die Geologen wollen die heutige Flächenplanung dringend um die Dimen-

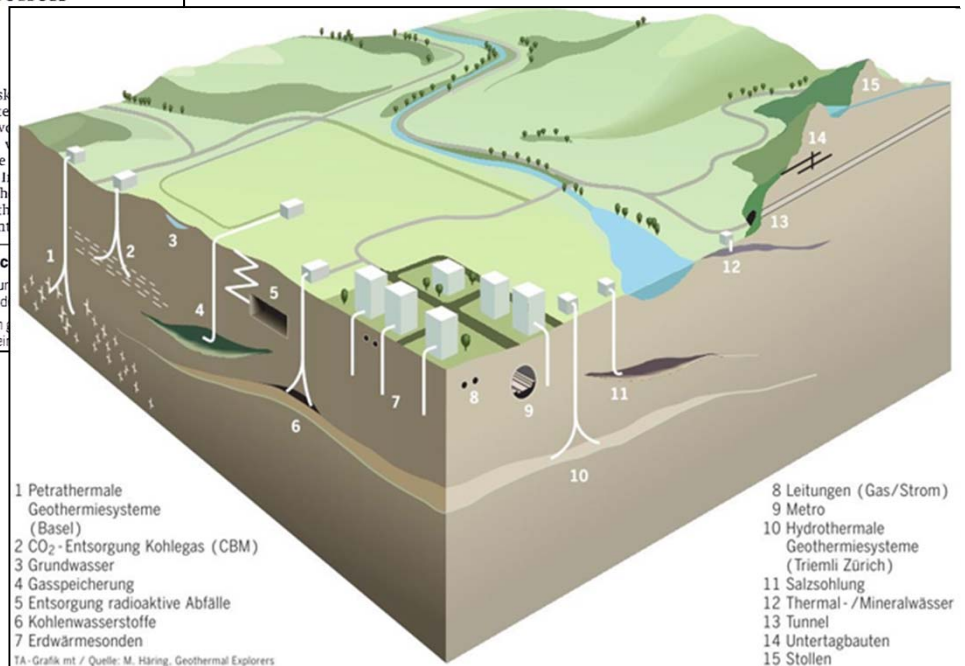
sionen Tiefe und Zeit erweitern. Der Untergrund diene den Menschen nämlich in doppelter Hinsicht. Erstens als Raum, in dem sich die Infrastruktur versorgen und Abfälle entsorgen lassen: Tunnel, Gas- und Stromleitungen, Glasfaserkabel, Wasserleitungen und Abwasserkanäle sowie CO<sub>2</sub> und radioaktive Abfälle. Zweitens ist der Untergrund ein Lager von Ressourcen - Grundwasser, Erdwärme, Mineralien, Kies und Kohlenwasserstoffe. Die vielen Ansprüche könnten sich überall in fast beliebigen Kombinationen überlagern. Um Interessenkonflikte zu vermeiden, brauche es eine weitsichtige Planung

mit Nutzungs... Die Stichworte... cherheit, Gewe... rechte sowie v... weltpolitische... Mit zwei I... siert die Zürich... Geologin Kath... konflikt im un...

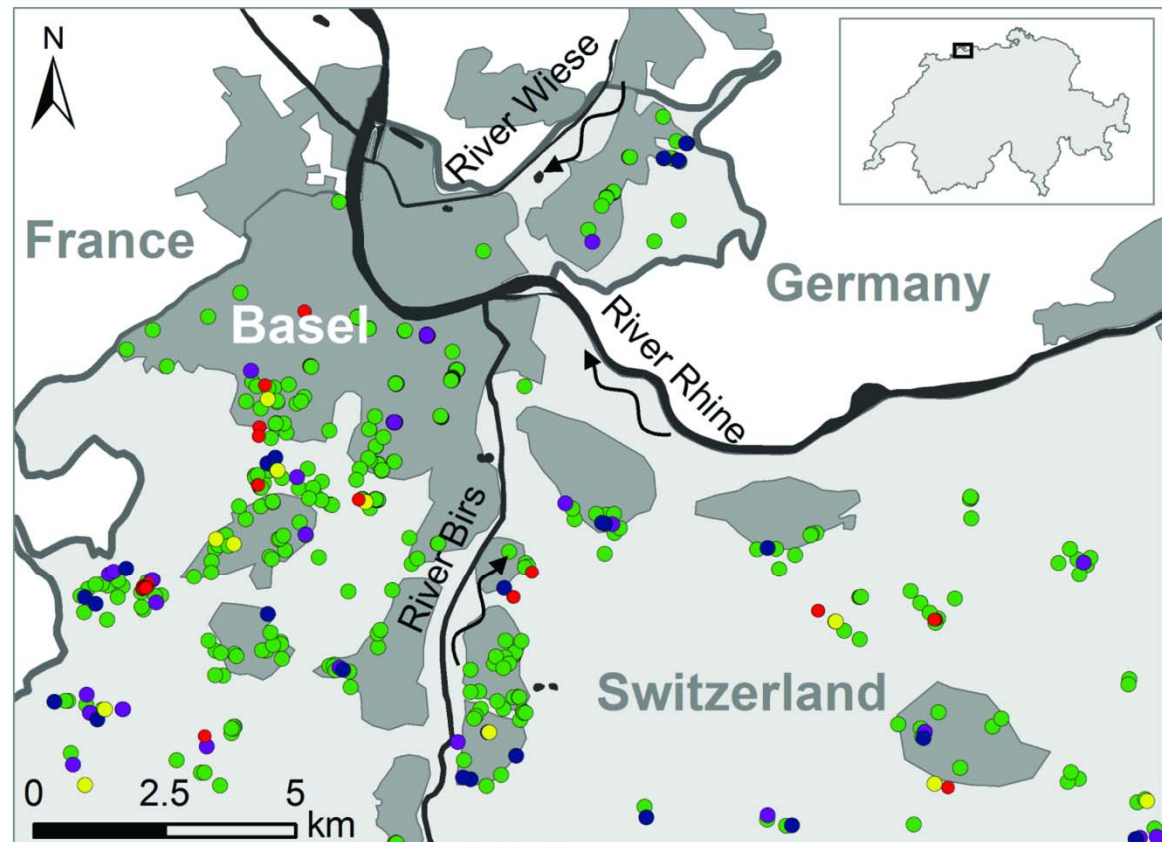
### Oberflächlich

Kommentar: Nur... Ordnung unter d... Wie im Erdreich... Ansprüche auf...

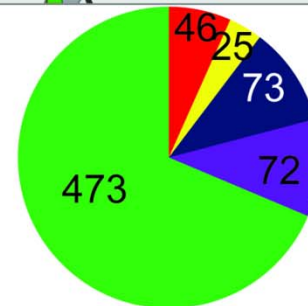
## Potenzielle Nutzungskonflikte im Untergrund



## Geothermische Anlagen im Raum Basel seit 1980



- 1980 - 1990
- 1991 - 1995
- 1996 - 2000
- 2001 - 2005
- 2006 - 2010





## Risikoorientierte Bewilligung von Erdwärmesonden

- Pilotprojekt des Kantons Basel Landschaft: Erdwärmekarte
- **Risiko = Gefährdung x Schadensausmass**
- Besonderheiten der Geologie von Basel-Landschaft im Vergleich zu anderen Kantonen (z.B. Kt. Zürich)
- Bei guten Kenntnissen des Untergrundes, differenziertere Bewilligungspraxis möglich

### Ziele der Erdwärmekarte Basel-Landschaft

- Schnelle Information zur Bewilligung von Erdwärmesonden-Vorhaben für potenzielle Nutzer, Geologiebüros und Behörden
- Interaktive Abfrage der bewilligungsrelevanten Kriterien an einem konkreten Standort
- Reduktion der Notwendigkeit hydrogeologischer Gutachten für die Bewilligung

## Wärmenutzungskonzept BL:

- **Konkrete und verbindliche Regeln für Erdwärmennutzung in BL**
- **Berücksichtigung regionale und lokale geologische Verhältnisse**



## Rechtliche Grundlagen

### Bundesebene

- Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999 (BV, SR 101)
- Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 (GSchG, SR 814.20)
- Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201)
- Wegleitung Grundwasserschutz (BUWAL, 2004)
- Vollzugshilfe Wärmenutzung aus Boden und Untergrund (BAFU, 2009)
- Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung vom 18. Mai 2005 (ChemRRV, SR 814.81)

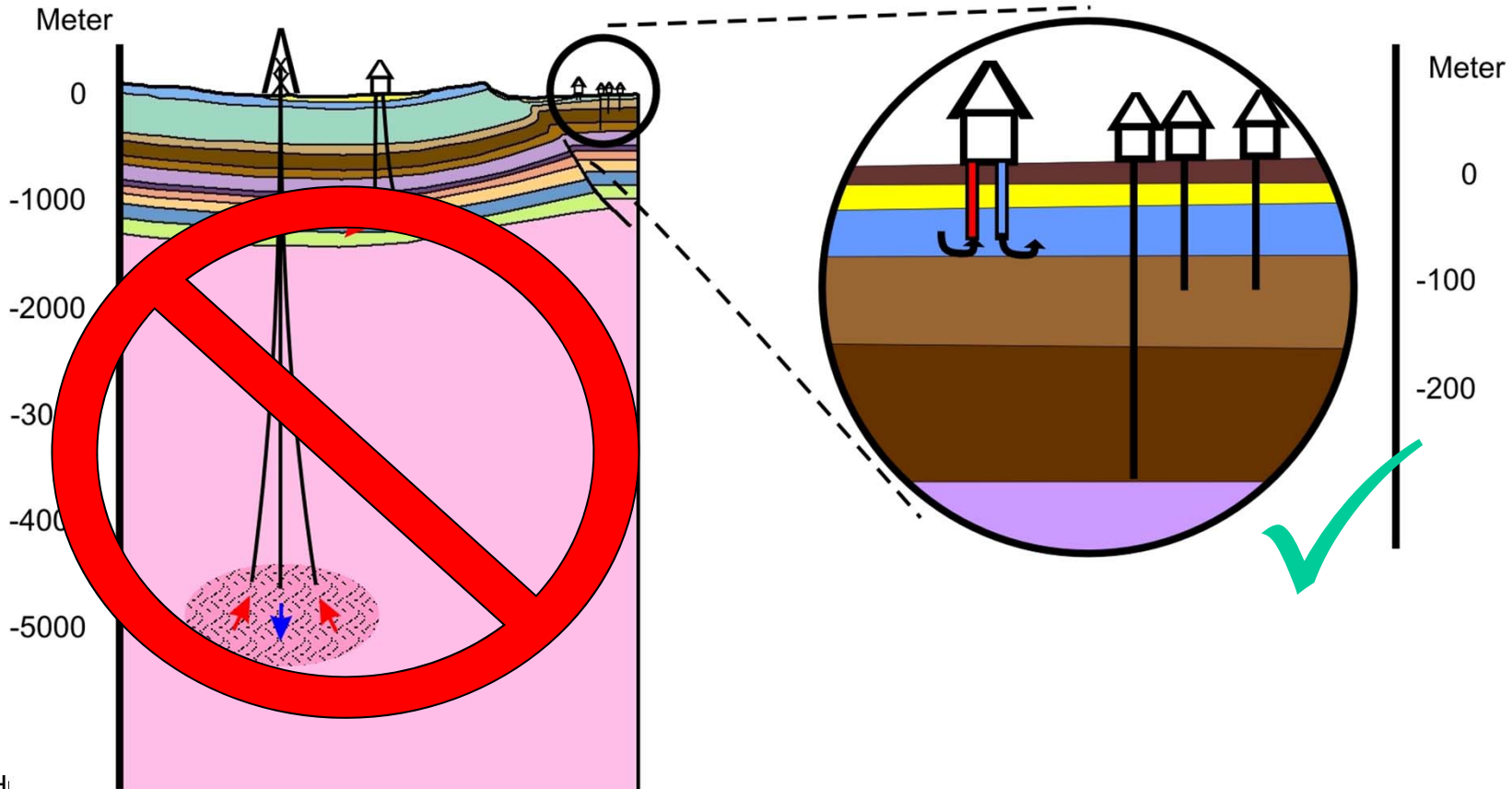
### Kantonale Ebene

- Gesetz über die Nutzung und den Schutz des Grundwassers vom 3. April 1967 (Grundwassergesetz, SGS 454)
- Verordnung über die Wasserversorgung sowie die Nutzung und den Schutz des Grundwassers vom 13. Januar 1998 (SGS 455.11)
  - Wärmenutzung aus Boden und Untergrund benötigt Bewilligung (§19, §20)

## Erdwärmesonden im Kontext Geothermienutzungen allgemein

### Oberflächennahe Geothermie (bis ca. 400 m Tiefe)

- **Geschlossene Systeme: Erdwärmesonden, Erdregister, Wärmekörbe, Energiepfähle**
- **Offene Systeme: Grundwasserwärmepumpen**



## Motivation

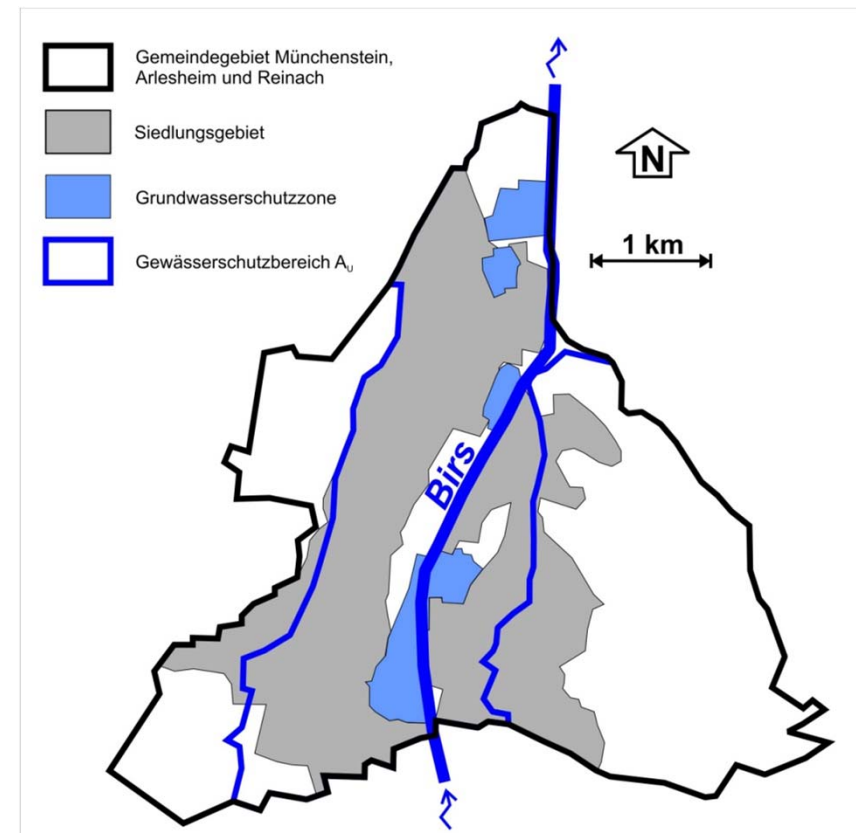
- Bisherige Bewilligungspraxis basierend auf  $A_U$  (**entspricht Schutzzone IIIB in Deutschland**) ist restriktiv → Viele Interessenten konnten keine Erdwärmesonde installieren
- **Risiken für Umwelt/Grundwasser auch ausserhalb  $A_U$  möglich.**

➔ Ziel des Erdwärmekonzepts BL:

## Differenzierte Betrachtung



Foto: dpa  
Peter Huggenberger, angesprochen Erdwärmekonzept, Basel, 11.8.2011

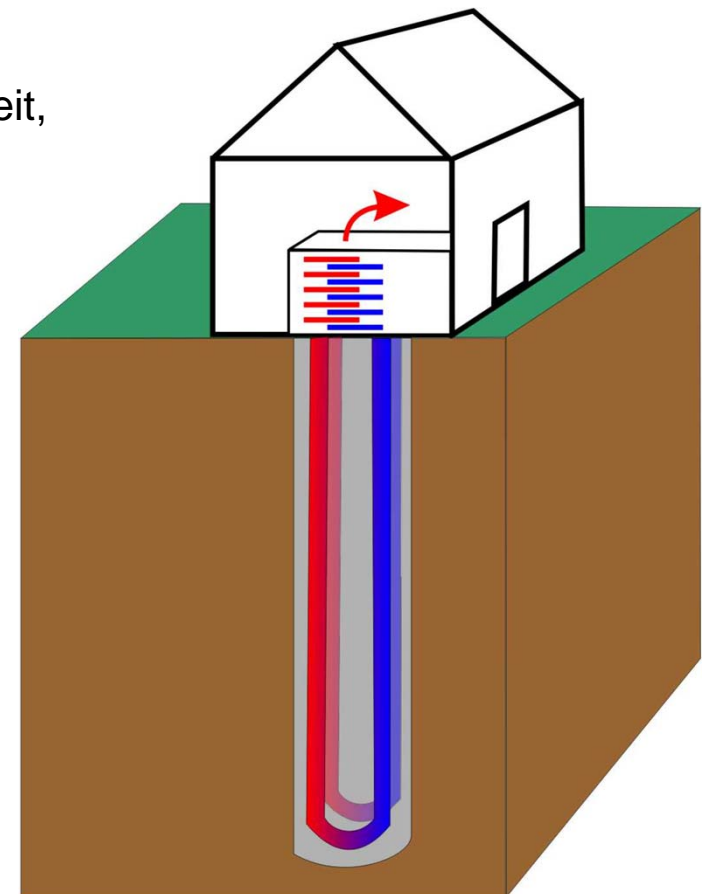


## Beschreibung

- U-förmig gebogenes (Doppel-)Kunststoffrohr
- Wärmeträgerflüssigkeit (geschlossener Kreislauf)
- Einbau in dicht hinterfülltes Bohrloch (> 50 m bis ca. 400 m)

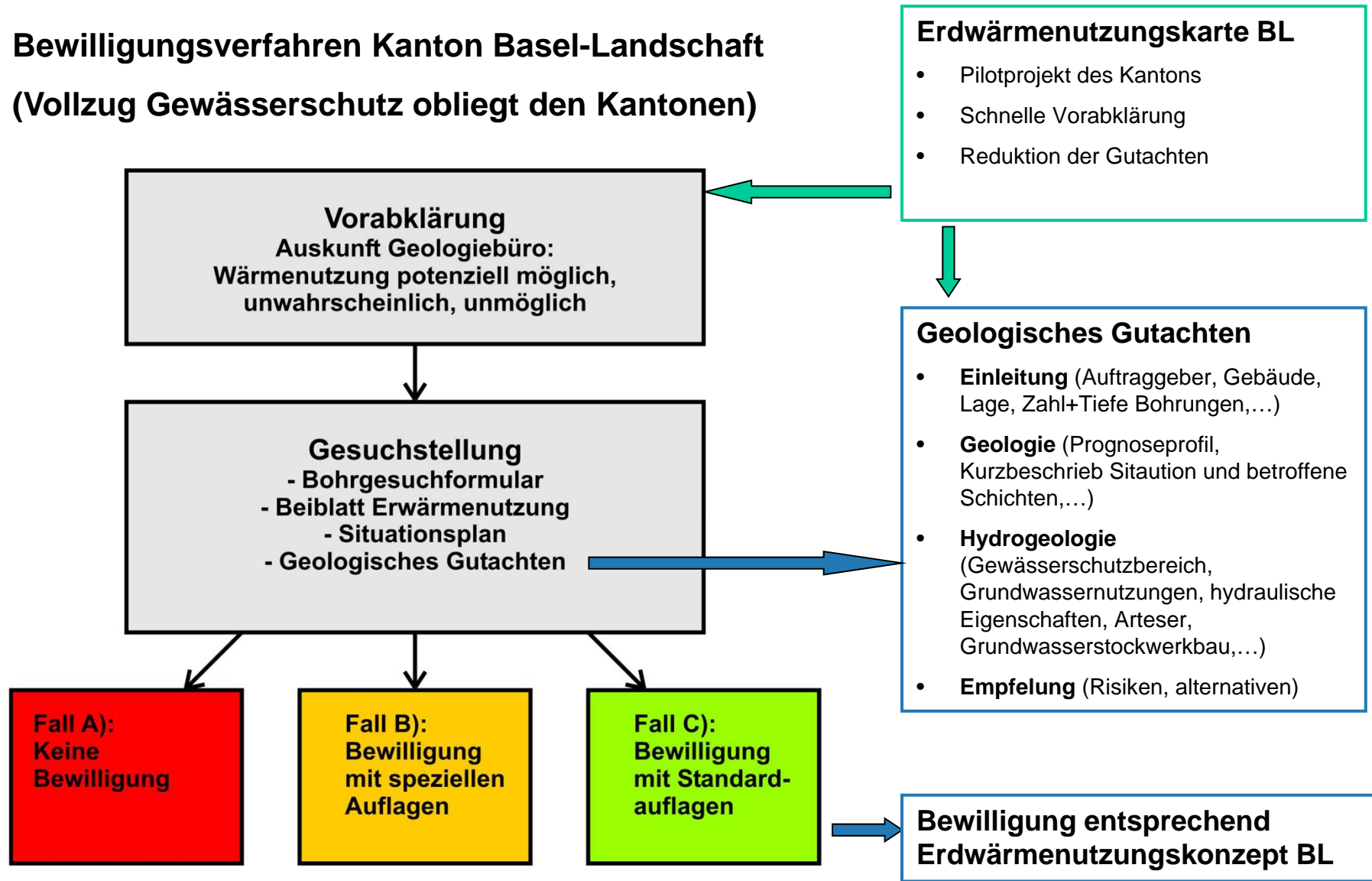
## Risiken für Umwelt und Grundwasser

- “Direkt”: Austritt Bohr-, Füllmittel, Wärmeträgerflüssigkeit, Temperaturänderung
- “Indirekt”: Durch Schaffung/Plombierung von Wasserwegsamkeiten
  - Kontamination des Grundwassers
  - Änderung Grundwasserhydraulik
  - Verbindung von Grundwasserstockwerken
  - Gebirgsquellen
  - Auslaugung/Subrosion
  - Arteser
  - Erdgasaustritt



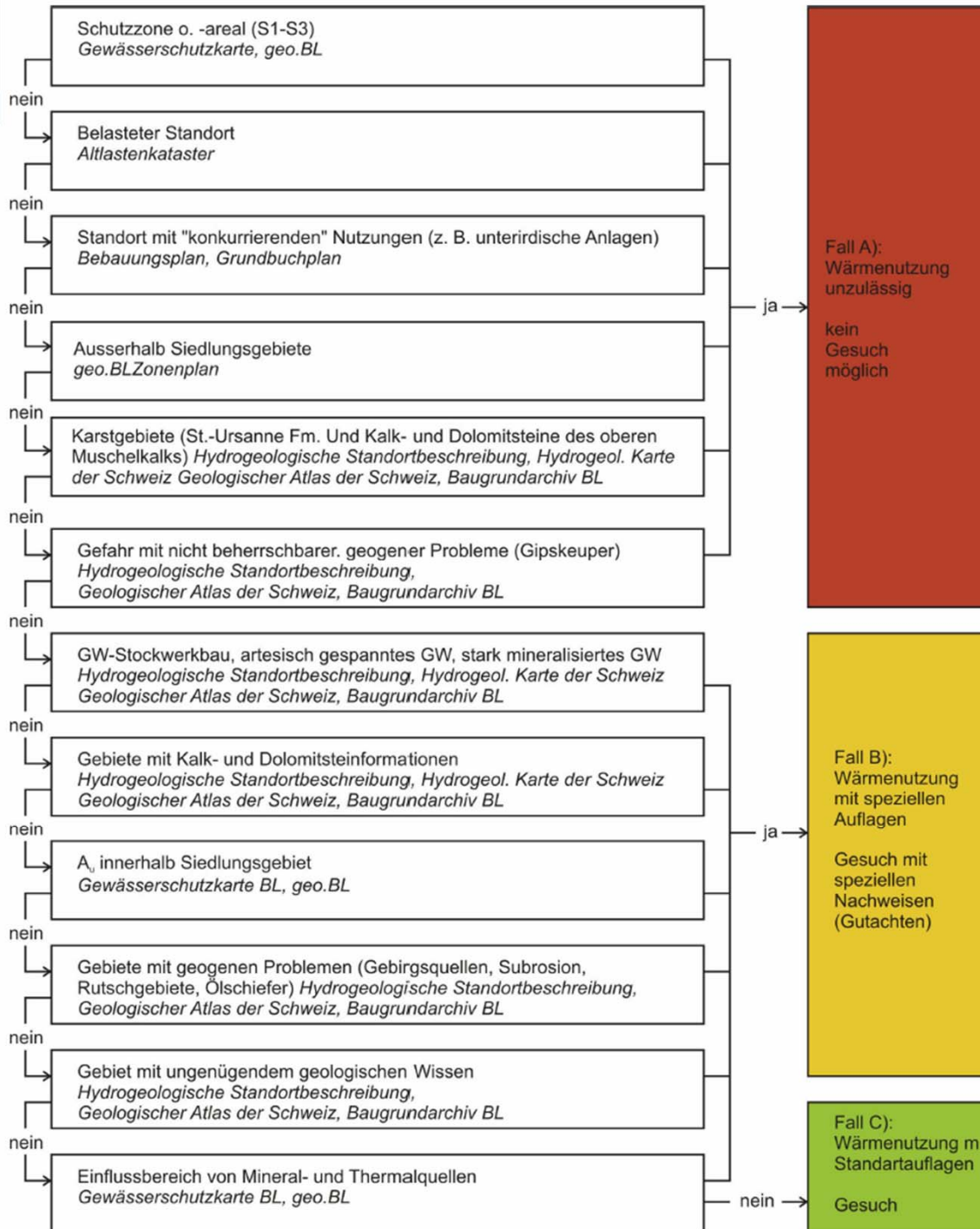


## Bewilligungsverfahren Kanton Basel-Landschaft (Vollzug Gewässerschutz obliegt den Kantonen)



## Kriterien für Bewilligung

Bewilligungskriterium	Wärmenutzung durch EWS
Grundwasserschutzzonen und –areale (S1 – S3)	unzulässig (A)
Belastete Standorte (inkl. Bauschutt und Inertstoffmaterial)	unzulässig (A)
Standorte mit „konkurrierender“ Nutzung (z. B. unterirdische Anlagen)	unzulässig (A)
Ausserhalb Siedlungsgebieten	unzulässig (A)
Karstgebiete (St. Ursanne Fm., Oberer Muschelkalk)	unzulässig (A)
Gebiete mit Gefahr des Gebirgsquellens und der Subrosion (Gipskeuper, Anhydritgruppe)	unzulässig (A)
A <sub>U</sub> innerhalb Siedlungsgebieten	mit speziellen Auflagen zulässig (B)
Gebiete mit Kalk- und Dolomitsteinformationen	mit speziellen Auflagen zulässig (B)
Grundwasserstockwerksbau, artesisch gespanntes Grundwasser oder stark mineralisiertes Grundwasser	mit speziellen Auflagen zulässig (B)
Gebiete mit geogenen Risiken (Rutschgebiete, Ölschiefer, Gasaustritte, Gebirgsquellen, Subrosion)	mit speziellen Auflagen zulässig (B)
Gebiete mit ungenügendem geologischen Wissen	mit speziellen Auflagen zulässig (B)
Einflussbereich von Mineral- und Thermalquellen	mit speziellen Auflagen zulässig (B)
Übrige Gebiete	mit Standardauflagen zulässig (C)



## „Workflow“ Standortbeurteilung

### Beurteilungsgrundlage:

Raumplanerische  
Flächeninformationen

+

Geologisch-  
hydrogeologische  
Tiefeninformationen

# Typ und Mächtigkeit der geol. Einheiten



System o. Serie	Stufe oder Formation	typische Mächtigkeit (m)	Fall	(regionaler) Grundwasser-Leiter	Weitere Eigenschaften	Bemerkungen	
Quartär		variabel	B)	nur Schotter			
Tertiär	Pliozän	bis 60	B)	nur Schotter			
	Miozän	Obere Süswassermolasse	bis 180	B)	nur Juranageleh		
		Obere Meeresmolasse	bis 25	C)			
	Oligozän	Untere Süswassermolasse (Tüllinger-Sch., Elsässer Molasse, Cyrenenmergel)	bis 510	B)	teilw. Elsässer Molasse*	Grundgips-Sch der Tüllinger-Sch, ev. Elsässer Molasse potentiell stark mineralisiertes GW	
		Untere Meeresmolasse (Meletta-Sch., Meeressand)	bis 380	B)	Meeressand, teilw. Meletta-Schichten*		
		Bunte Mergel (Haustein)	bis 100	C)			
		Streifige Mergel	bis 200	C)			
Eozän u. Paläozän		bis 50	C)				
Malm	Kalksteine des Malm (Courgenay-/Vellerat-/St.-Ursanne-Fm.)	bis 290-350	A) B)		Potenziell verkarstet	Keine Bohrung wenn die Schichten deutlich wasserführend sind. Abbruch der Bohrung, wenn beim Bohrvorgang deutliche Spühverluste resp. Druckabfälle festgestellt werden.	
	Oxford-Mergel (Liesberg-Sch./Terrain à Ch./Sengger-Tone bzw. Effinger-Sch./Birmenstorf-Sch.)	bis 80-160	C)				
Dogger	"Oberer Dogger" (Anceps-Athleta-Sch. bis Ferrugineus-Oolith)	20-70	C)				
	Hauptrogenstein-Fm.	75-150	A) B)		Potenziell verkarstet	Keine Bohrung wenn die Schichten deutlich wasserführend sind. Abbruch der Bohrung, wenn beim Bohrvorgang deutliche Spühverluste resp. Druckabfälle festgestellt werden.	
	"Unterer Dogger" (Blagdeni-Sch. bis Murchisonae-Sch.)	25-105	C)				
	Opalinuston-Fm.	70-150	C)				
Lias		15-60	B)		Ötschiefer führende Bereiche im Posidonienschiefer möglich		
Keuper	Rhät	0-5	C)				
	Obere Bunte Mergel	10-40	C)				
	Gansinger Dolomit	5-15	C)				
	Untere Bunte Mergel	0-15	C)				
	Schilfsandstein-Gruppe	0-20	B)				
	Gipskeuper	60-150	A)		Anhydrit führend und lösliche Bestandteile (Salz, Gips)	Im Au keine Bohrung. Im ÜB Hinweis auf die geologischen Risiken und Haftungsausschluss.	
	Lettenkohle	0-10	C)				
Muschelkalk	Trigonodus-Dolomit (Oberer Muschelkalk)	20-25	A)		Potenziell verkarstet. Potenziell stark mineralisiertes GW		
	Hauptmuschelkalk (Oberer Muschelkalk)	35-55	A)		Potenziell verkarstet. Potenziell stark mineralisiertes GW		
	Anhydritgruppe (Mittlere Muschelkalk)	45-130	A)	nur Dolomitzone	Anhydrit führend und lösliche Bestandteile (Salz, Gips). Nur in Dolomitzone potenziell verkarstet und potenziell stark mineralisiertes GW	Im Au keine Bohrung. Im ÜB Hinweis auf die geologischen Risiken und Haftungsausschluss.	
	Wellengebirge (Unterer Muschelkalk)	35-45	C)				
Bunt-sandstein		25-100	B)	nicht Röt			
Grundgebirge (inkl. Permokarbon)			C)				

## Geologisch-hydrogeologische Tiefeninformationen

### → Geologie Region Basel

Stratigraphische Tabelle der Region Basel mit Hinweisen zur Wärmenutzung aus dem Untergrund. Stratigraphie und Mächtigkeitsangaben nach Hermann Fischer 1969, Regio Basiliensis, HeftX/2, mit Erläuterungen auf S. 234-238.

In geologischer Einheit ist EWS

- A) nicht
- B) mit speziellen Auflagen
- C) mit Standardauflagen

zulässig

\*) nur sandige Fazies bei grosser Mächtigkeit



## **In Gebieten, in denen Erdwärmesonden mit Standardauflagen zulässig sind gilt (Auswahl):**

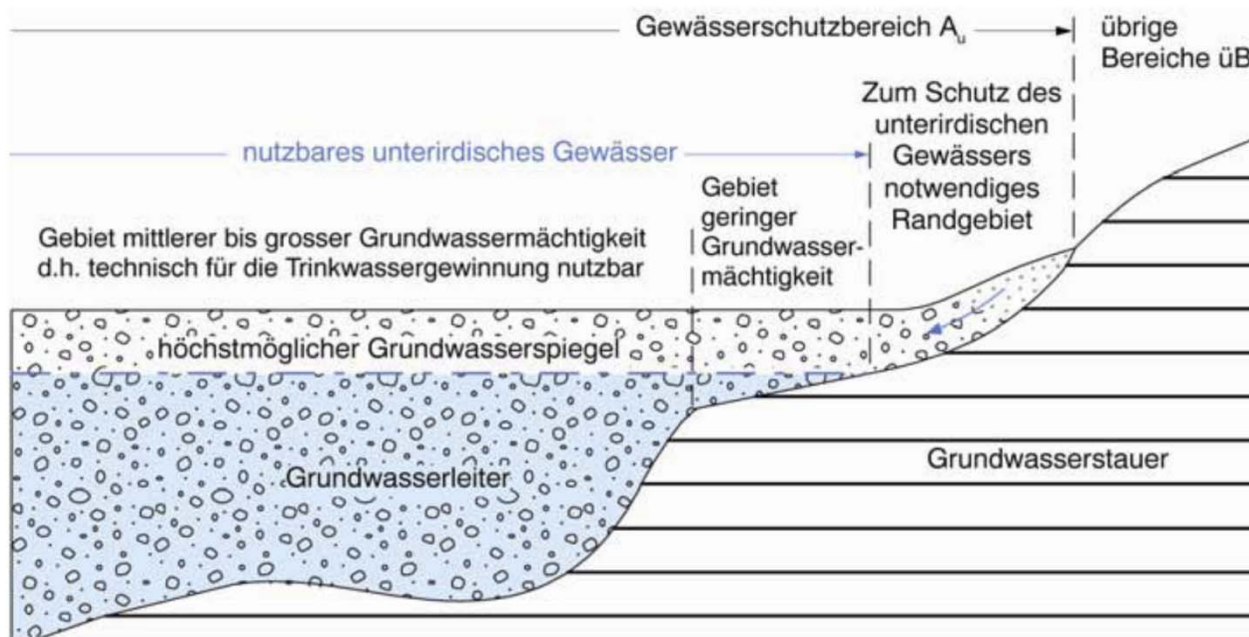
- Bestimmungen Sondierbohrung
- Max. 200 m
- Nur geschlossene Systeme
- 5 m Abstand zur Grundstücksgrenze
- Ausrüstung „entsprechend Stand der Technik“ und qualifizierte Ausbildung Personal (→ FWS Gütesiegel, Ausführung nach Normen, z.B. SIA 384/6)
- Liste Wärmeträgerflüssigkeit (BAFU 2009, 1999)
- Leckageüberwachung

## Erdwärmesonden mit speziellen Auflagen zulässig (Auswahl)

- Gewässerschutzbereich A<sub>U</sub>
- Karstgebiete
- Grundwasserstockwerkbau
- Artesisch gespanntes Grundwasser
- Gebirgsquellen und Subrosion

## Erdwärmesonden in A<sub>U</sub> mit speziellen Auflagen zulässig

### Definition A<sub>U</sub>:



Verbreitung in BL:

→ Gewässerschutzkarte

→ Geoprtal BL: [www.geoBL.ch](http://www.geoBL.ch)



## Hintergrund A<sub>U</sub>:

Wegleitung Grundwasserschutz (BUWAL 2004):

→ flächendeckender, ressourcenorientierter Grundwasserschutz

Vollzugshilfe Wärmenutzung aus Boden und Untergrund (BAFU 2009):

→ Kann fallweise durch die zuständige Behörde zugelassen werden. Bewilligung nach Art. 32 GSchV erforderlich.

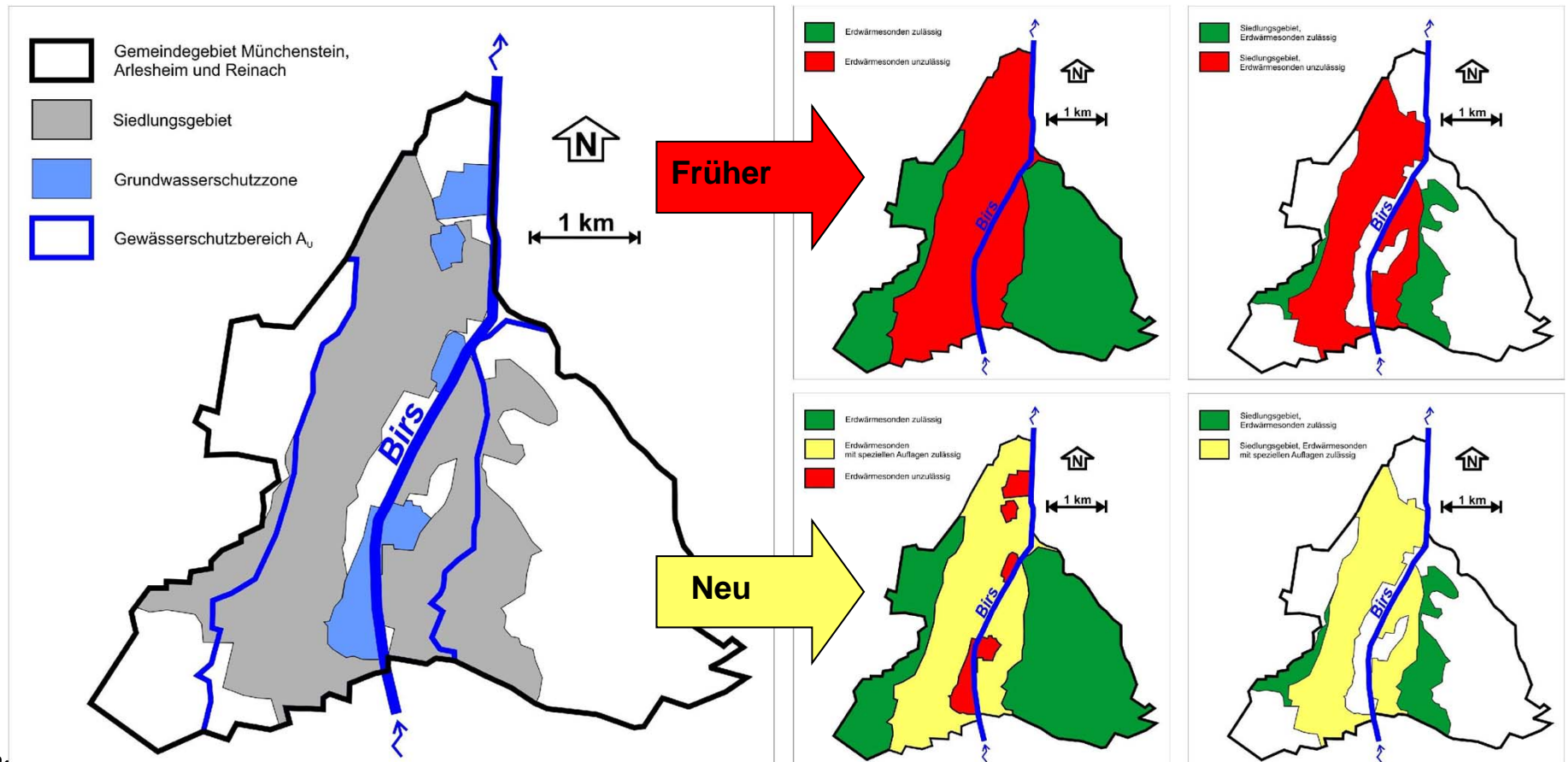
## Spezielle Auflagen in A<sub>U</sub>:

- Keine Wärmeträgerflüssigkeiten der Klassierung 1 entsprechend Liste der klassierten Flüssigkeiten, BUWAL (1999)
  - z. B. Propylenglykol, Ethylalkohol (Klassierung 2) zulässig, aber Ethylenglykol (Klassierung 1) unzulässig
- Meldepflicht einer Leckage.
- Permanente Verrohrung von Teilstrecken oder Einbringen von textilen Packern im Bereich der Lockergesteinsstrecke oder des ganzen Bohrloches bis in den Grundwasserstauer.



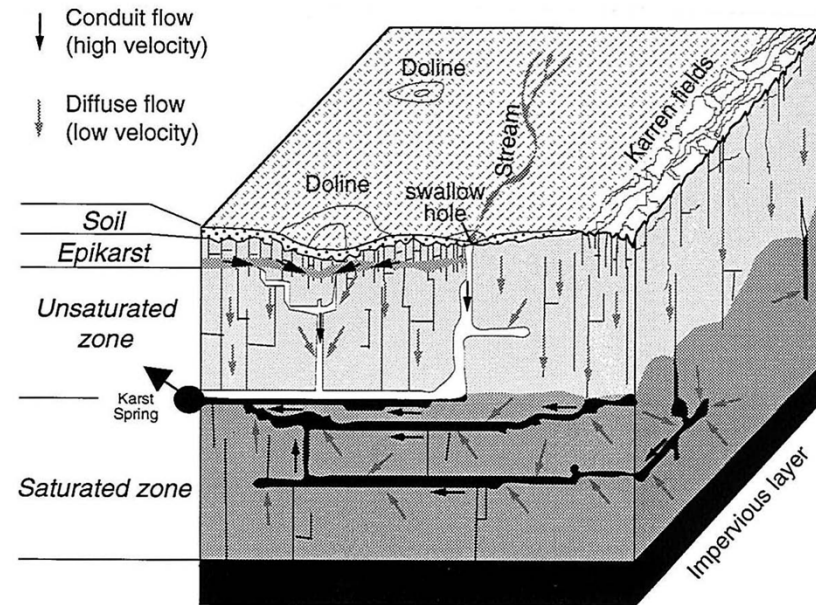
## Auswirkung Bewilligung in A<sub>U</sub> mit speziellen Auflagen:

(Bsp. Unteres Birstal, Gemeinden Münchenstein, Arlesheim, Reinach,  
 Darstellung Kriterien A<sub>U</sub> und Schutzzonen)



## Problematik:

- Unkontrollierbare Spülverluste beim Bohren
- Standfestigkeit Bohrloch
- Probleme mit Bohrlochhinterfüllung
- Hohlräumeinstürze



Doerfliger and Zwahlen (1995)

## Gefährdungen:

- Weitreichende Verschmutzung/Eintrübung des Grundwassers
- Schaffen von Wasserwegsamkeiten
- Plombieren von Wasserwegsamkeiten  
→ Änderung Fließsysteme

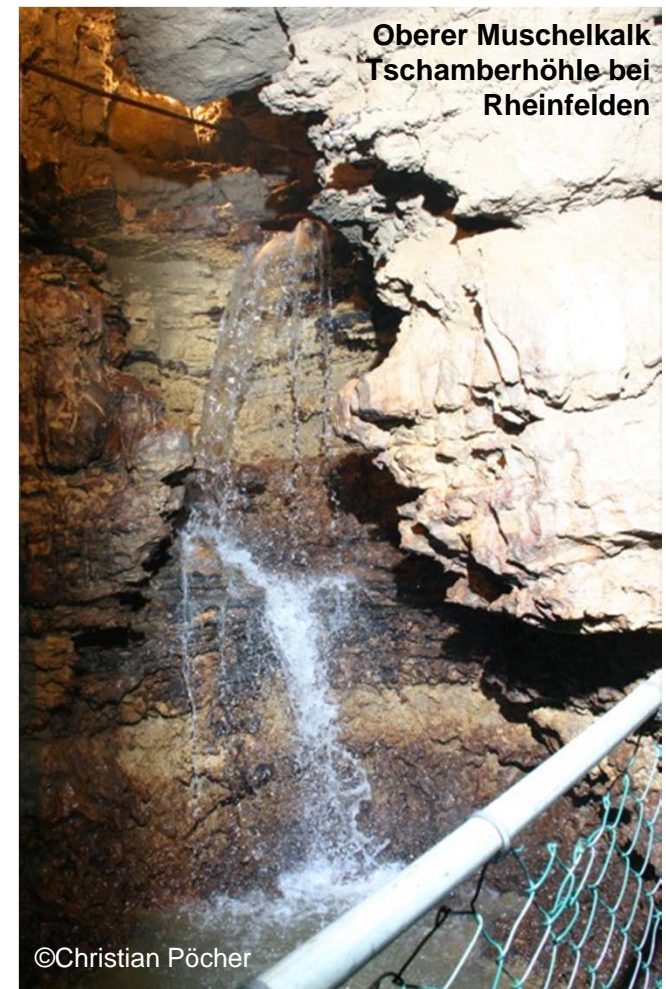
## EWS sind in Karstgebieten unzulässig

- Rauracien Korallenkalk (St. Ursanne Formation)
- Kalksteine des Oberen Muschelkalks

In anderen Kalksteinformationen sind EWS mit speziellen Auflagen zulässig.

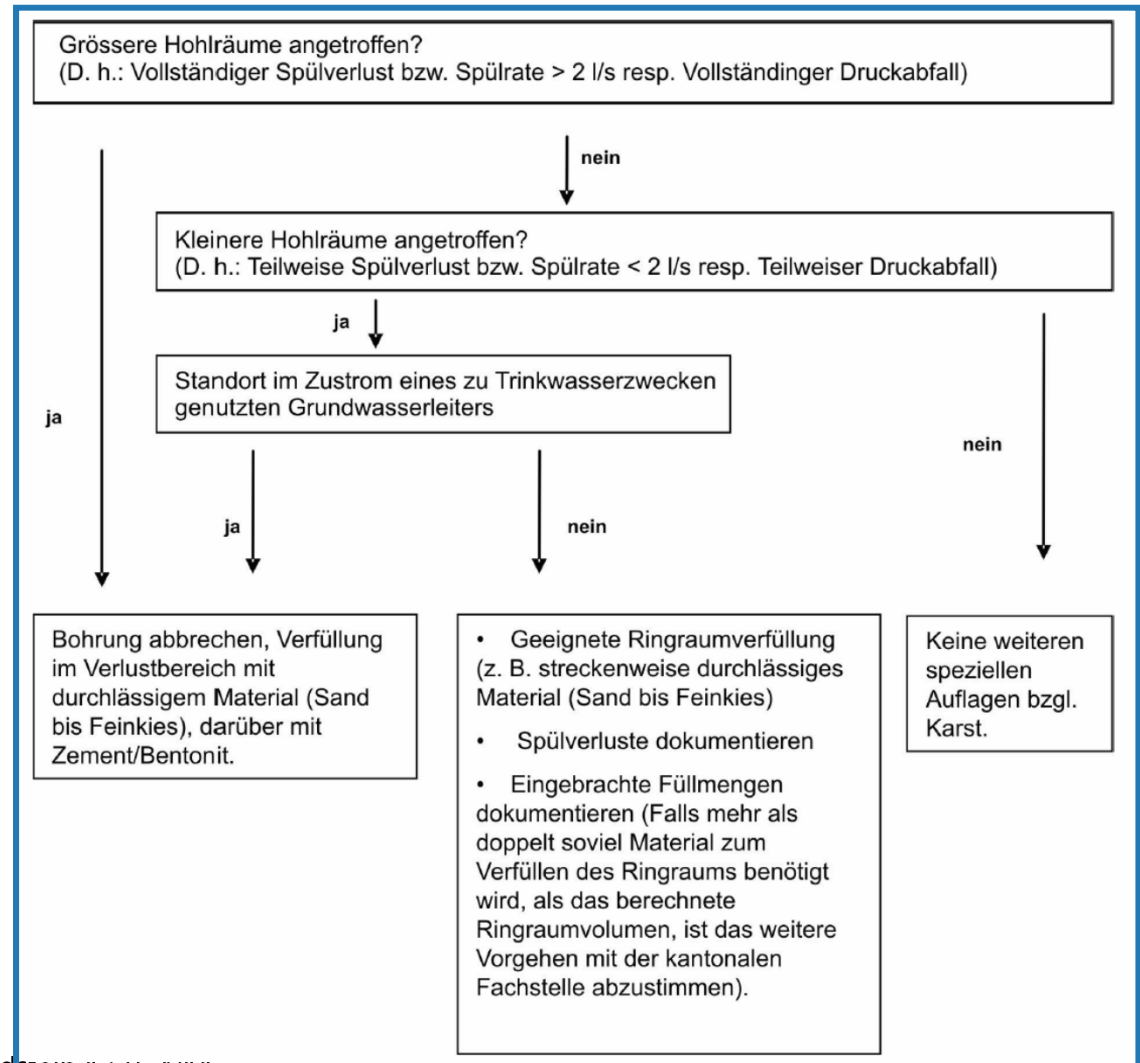
Aufsummierte Anzahl der Höhleneingänge und Ganglängen in der Region Basel-Lausanne für verschiedene Kalksteinformationen (Quelle: Bitterli 1996):

Formation	Höhlenzahl absolut	Höhlenzahl pro km <sup>2</sup>
Sequankalk	132	2.5
Rauracien-Korallenkalk	459	15.8
Hauptrogenstein	9	0.4



## Spezielle Auflagen in Karstgebieten:

- Besonderes Vorgehen bei der Erstellung des Bohrlochs abhängig von angetroffenen Hohlräumen.
- Kriterien:
  - Spülverluste/Druckverluste
  - Situation Trinkwassernutzung

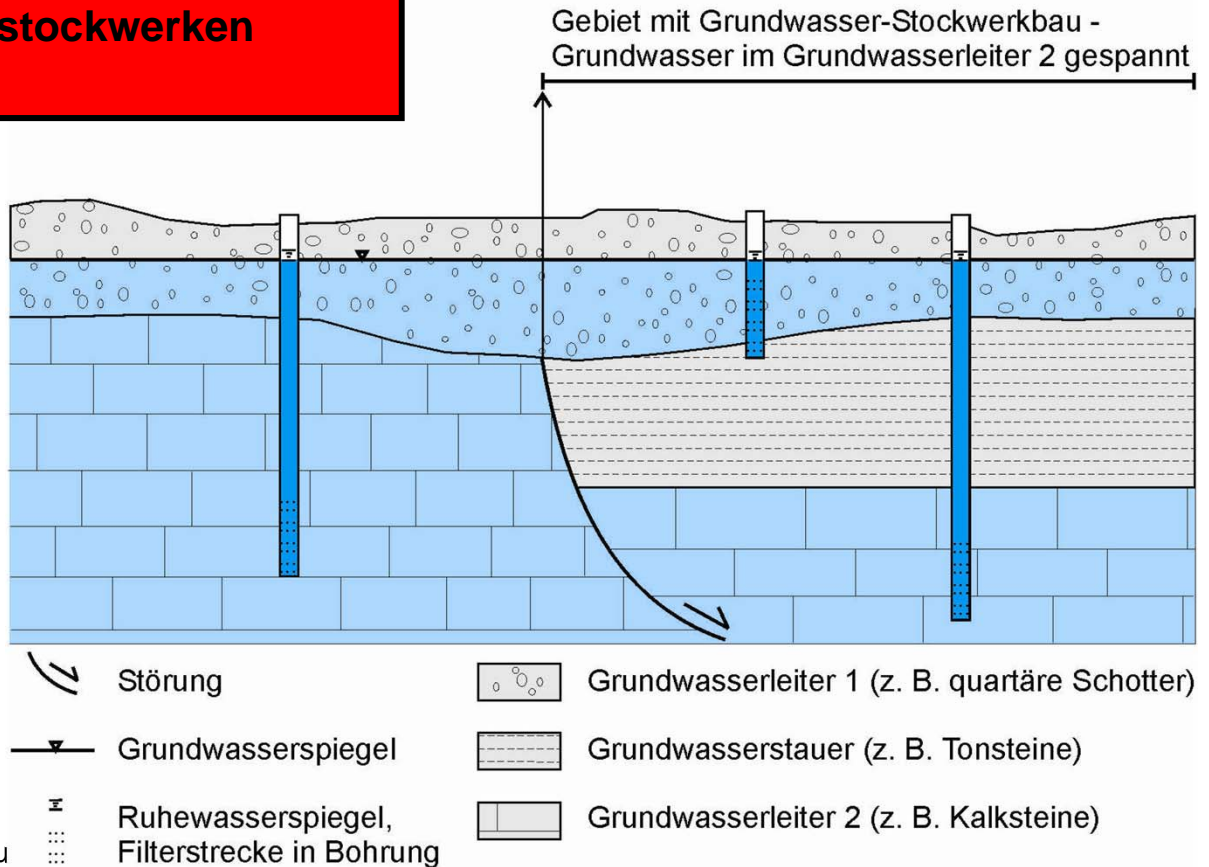


## Verbindung von Grundwasserstockwerken

- kann zu verminderter Grundwasserqualität des oberen Stockwerks führen (Wasserqualität von tieferen Grundwasserstockwerken häufig unbekannt, grössere Wahrscheinlichkeit für erhöhte Mineralisation).
- ändert hydraulische Verhältnisse mit schwer abschätzbaren Folgen.

### Verbindung von Grundwasserstockwerken unzulässig

→ **Spezielle Auflage:**  
Begrenzung der Bohrtiefe  
(Abstand zu unterem  
Stockwerk: 10% der Bohrtiefe,  
mind. 10 m), angepasste  
geologische Begleitung der  
Bohrung.



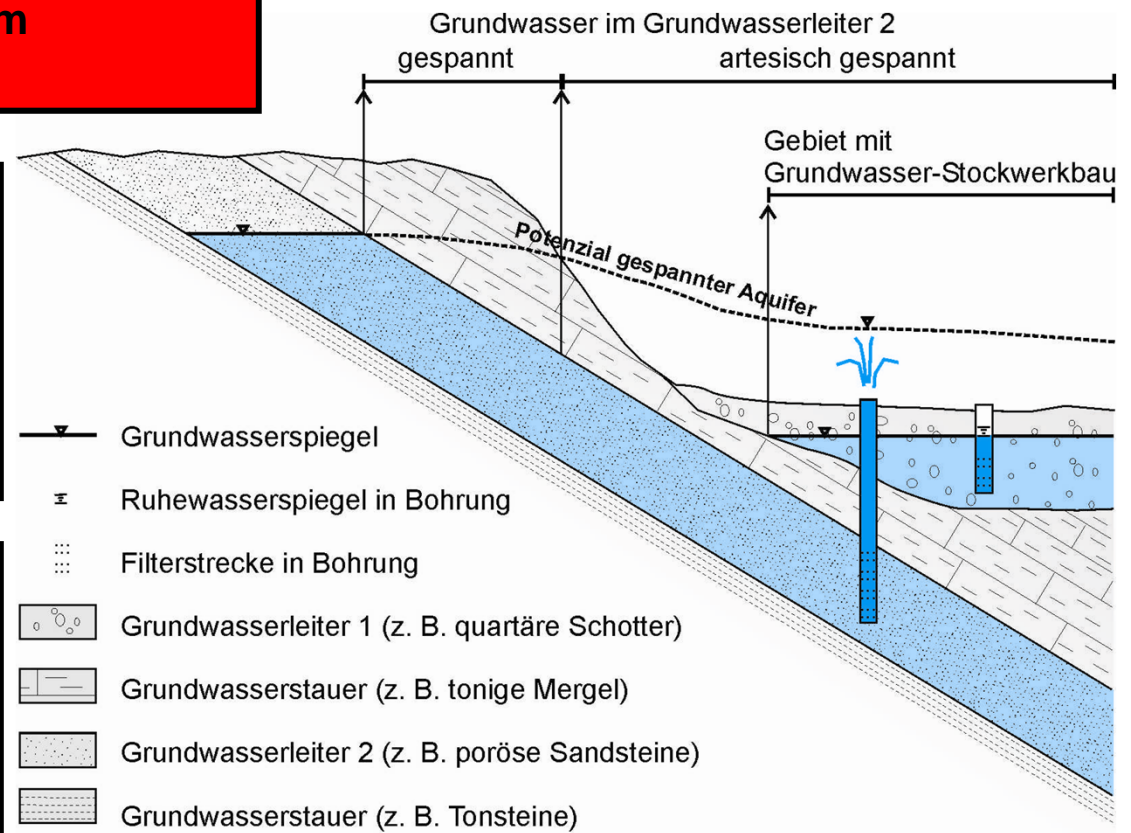
## Artesisch gespanntes Grundwasser: Gefahr durch

- Verschmutzungen (mit Wasser tritt auch Spülflüssigkeit und Dichtmaterial aus)
- Schäden.

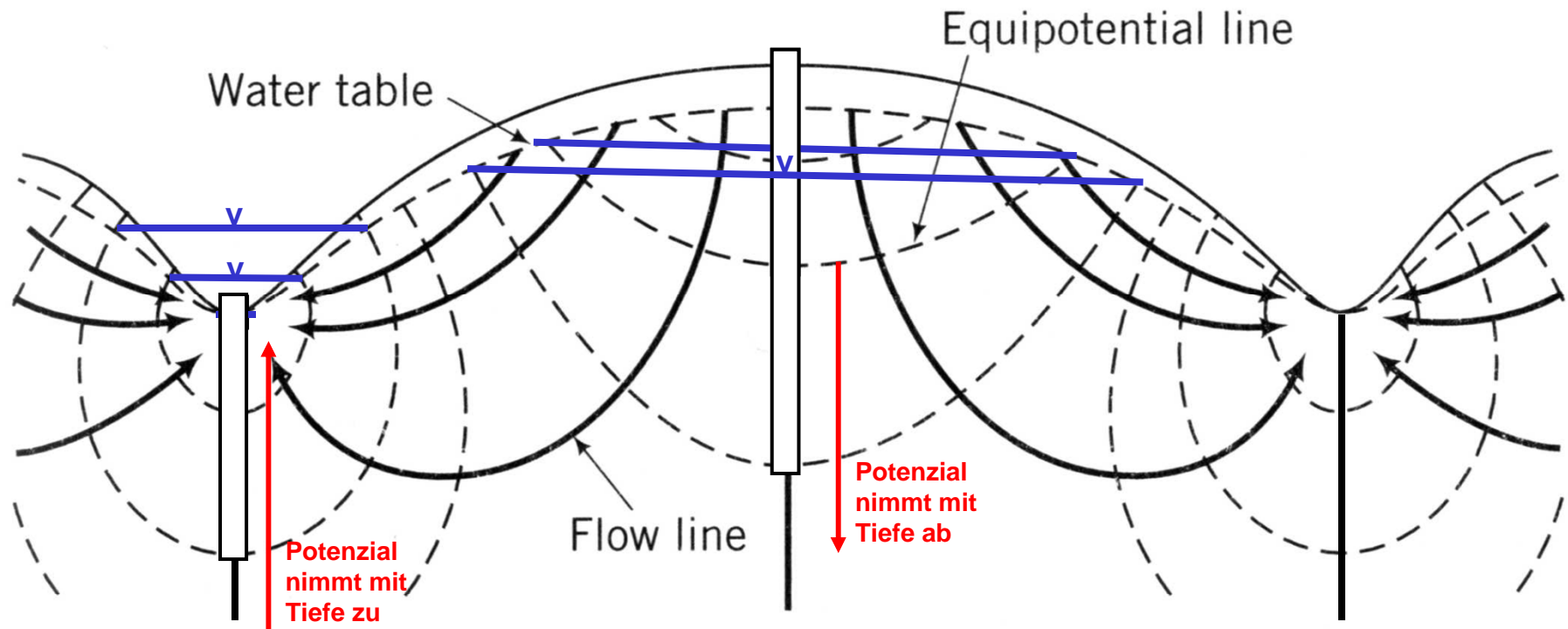
### Anbohren von artesisch gespanntem Grundwasser unzulässig

→ **Spezielle Auflage:** Begrenzung der Bohrtiefe (Abstand zu gespanntem Aquifer: 10% der Bohrtiefe, mind. 10 m), angepasste geologische Begleitung der Bohrung.

→ **Standard Auflage:** Bohrstelle muss für unerwartetes Antreffen artesisch gespannten Grundwassers ausgerüstet und Personal entsprechend ausgebildet sein

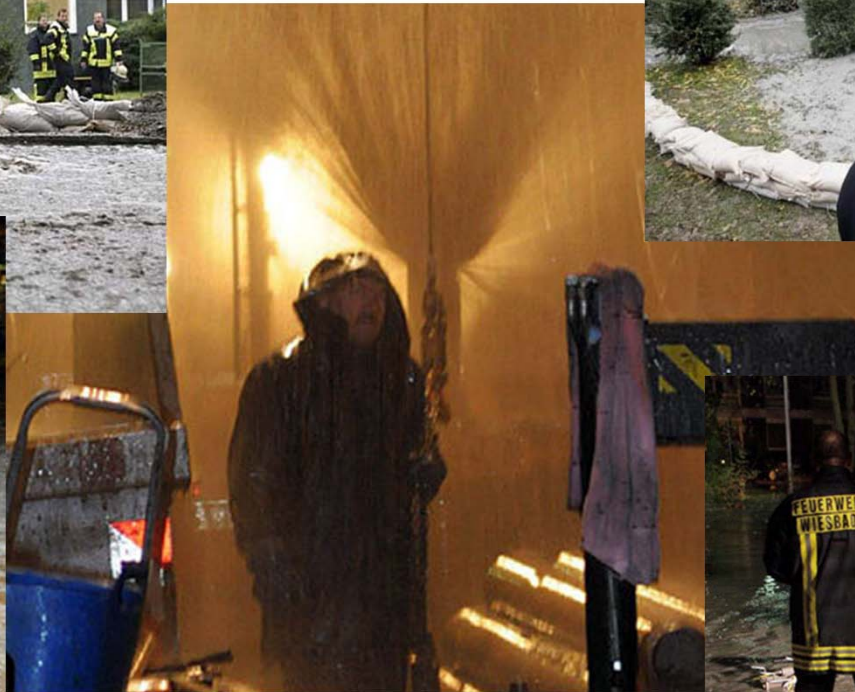


## Hydraulisches Potenzial im Bohrloch



Quelle: Hubbert (Journal of Geology, 1940)

**Beispiel Geothermiebohrung Finanzministerium Wiesbaden (D), 6.-8. November 2009:**  
Anbohren eines artesisch gespannten Aquifers in 130 m Tiefe, Austritt von bis zu 6000 l/min,  
Es dauerte 2 Tage, bis Wasserfluss gestoppt werden konnte!





**Zutritt von Wasser zu quellfähigen oder leicht löslichen Gesteinen** (Sulfathaltige Tonsteine, Salz) aufgrund von neu geschaffenen Wasserwegsamkeiten durch Bohrung

- Gefahr durch Subrosion oder Gebirgsquellen
- Senkungen oder Hebungen an Erdoberfläche

**EWS in Schichten mit Gefahr des Gebirgsquellens und der Subrosion unzulässig (Gipskeuper, Anhydritgruppe)**

→ **Spezielle Auflage:** Begrenzung der Bohrtiefe (Abstand zu Schichten mit quellfähigen oder löslichen Gesteinen : 10% der Bohrtiefe, mind. 10 m), angepasste geologische Begleitung der Bohrung.

## Beispiel Geothermiebohrung Staufen, Südbaden (D)

- Hebungsrate ~1cm/Monat (seit 2 Jahren!)
- Rund 230 Häuser betroffen (Stand: Januar 2010)



FOTO: MARKUS DONNER



FOTO: MARKUS DONNER



Fig. 2 One of the largest cracks (rainwater gutter for size comparison) in the city centre of Staufen



Fig. 3 Vertical open crack in the city centre that cuts two buildings from the ceiling to the roof

*Goldscheider & Bechtel 2009*

*Badische Zeitung, 24., 25. Oktober 2008*

Peter Huggenberger, Fachgespräch Erdwärmennutzung, Idstein 17.0.2011

In Fällen, wo Probleme auftreten, wirkten mehrere Faktoren zusammen

Staufen: 250 Häuser mit mit Schäden)

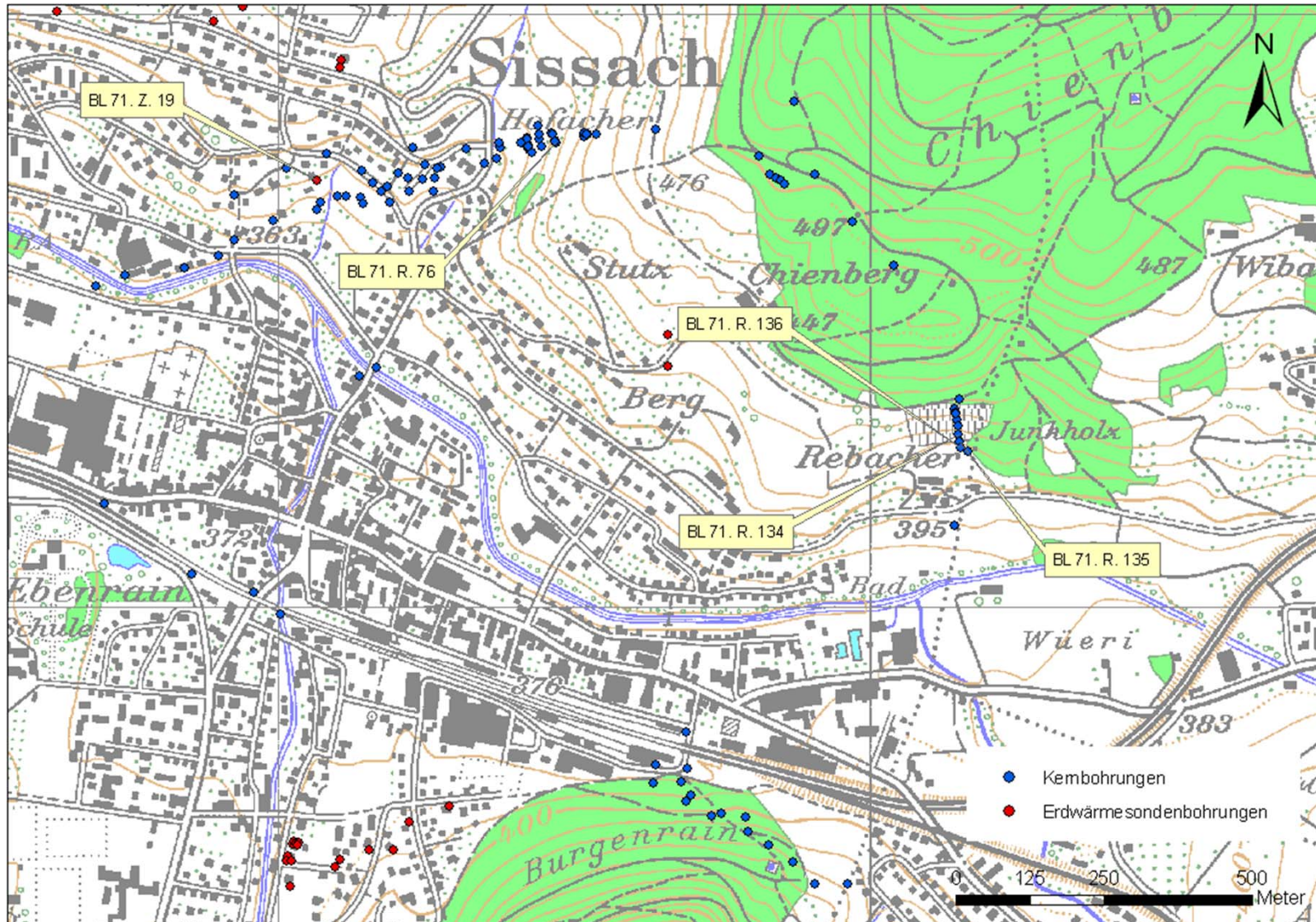
Schichtfolge: Mittlerer (Schilfsandstein und Gipskeuper) und Unterer Keuper, Gipskeuper mit Gips und Anhydrit, sowie quellfähige Tone

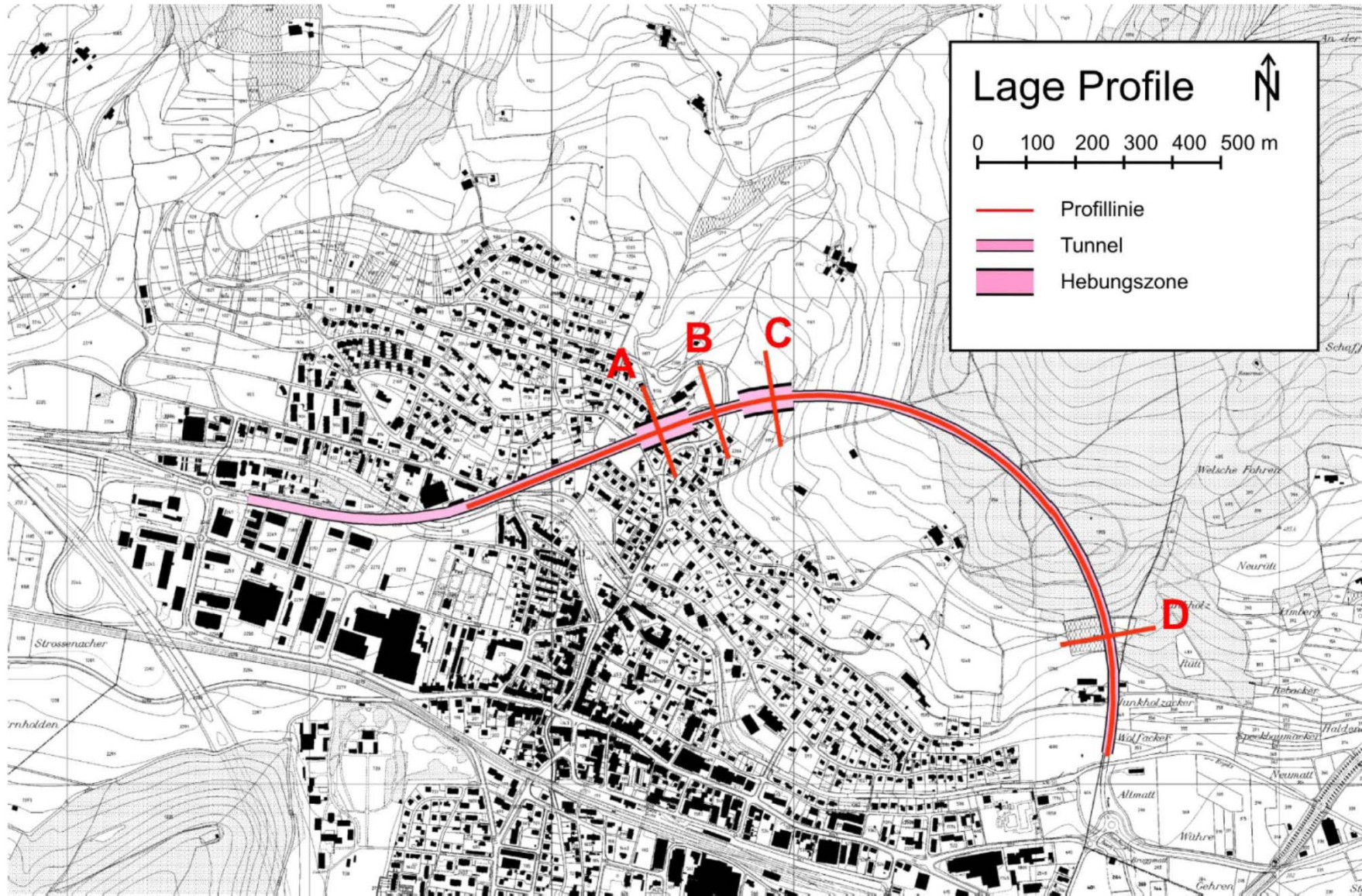
Auflagen LRA Breisgau-Hochschwarzwald: sulfatbeständiger Zement, Dokumentation verwendetes Material, Beschreibung der Abdichtung von Artesern

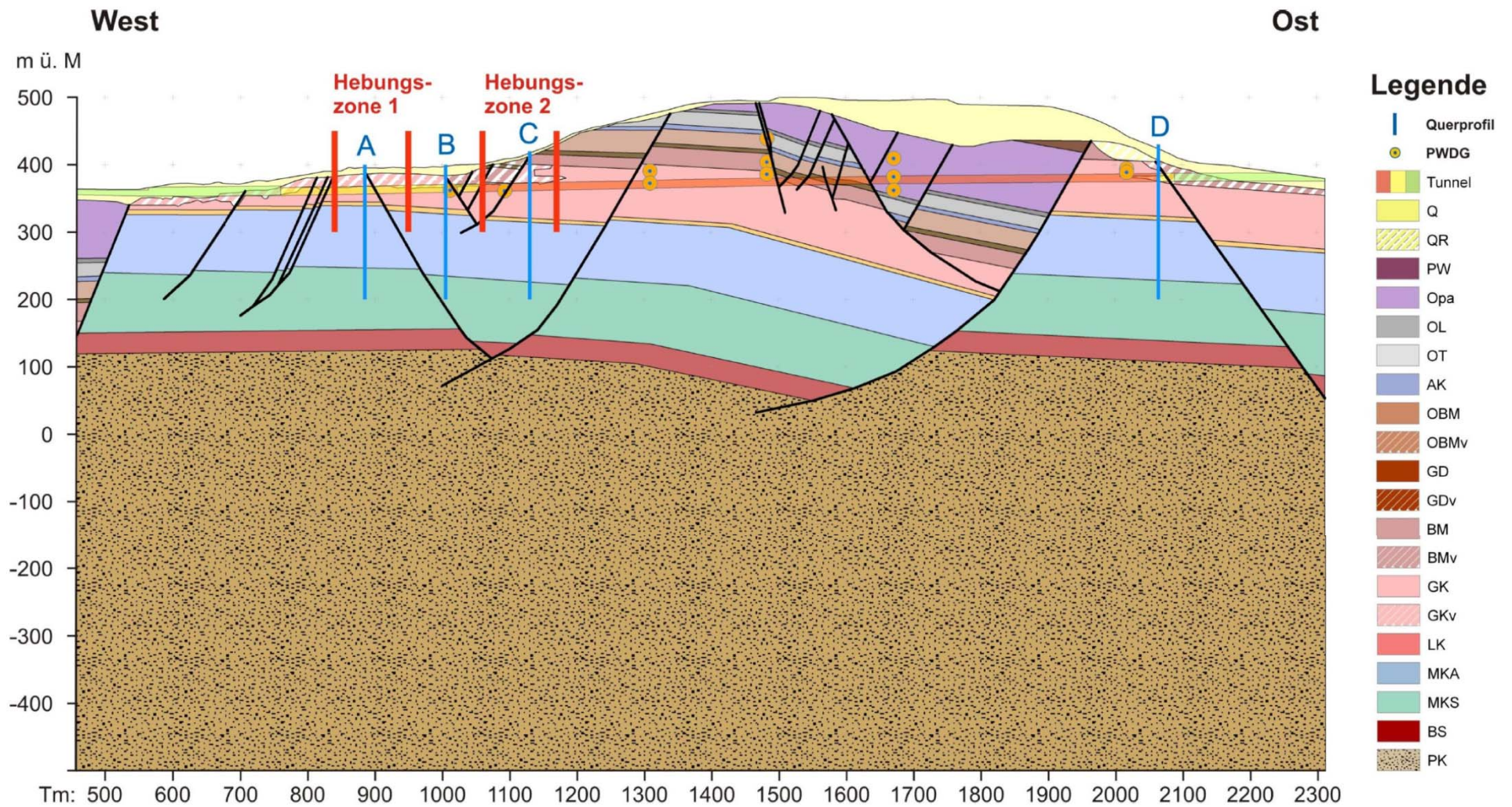
Schadensanalyse: Bohrungen weichen von der Horizontalen ab  
Zement entspricht nicht den Vorgaben  
Unzureichende Abdichtung de Ringraums der EWS (7)  
Stratigraphische Zuteilung anhand des Schichtverzeichnisses der Bohrfirma nicht möglich  
Komplizierte Tektonik

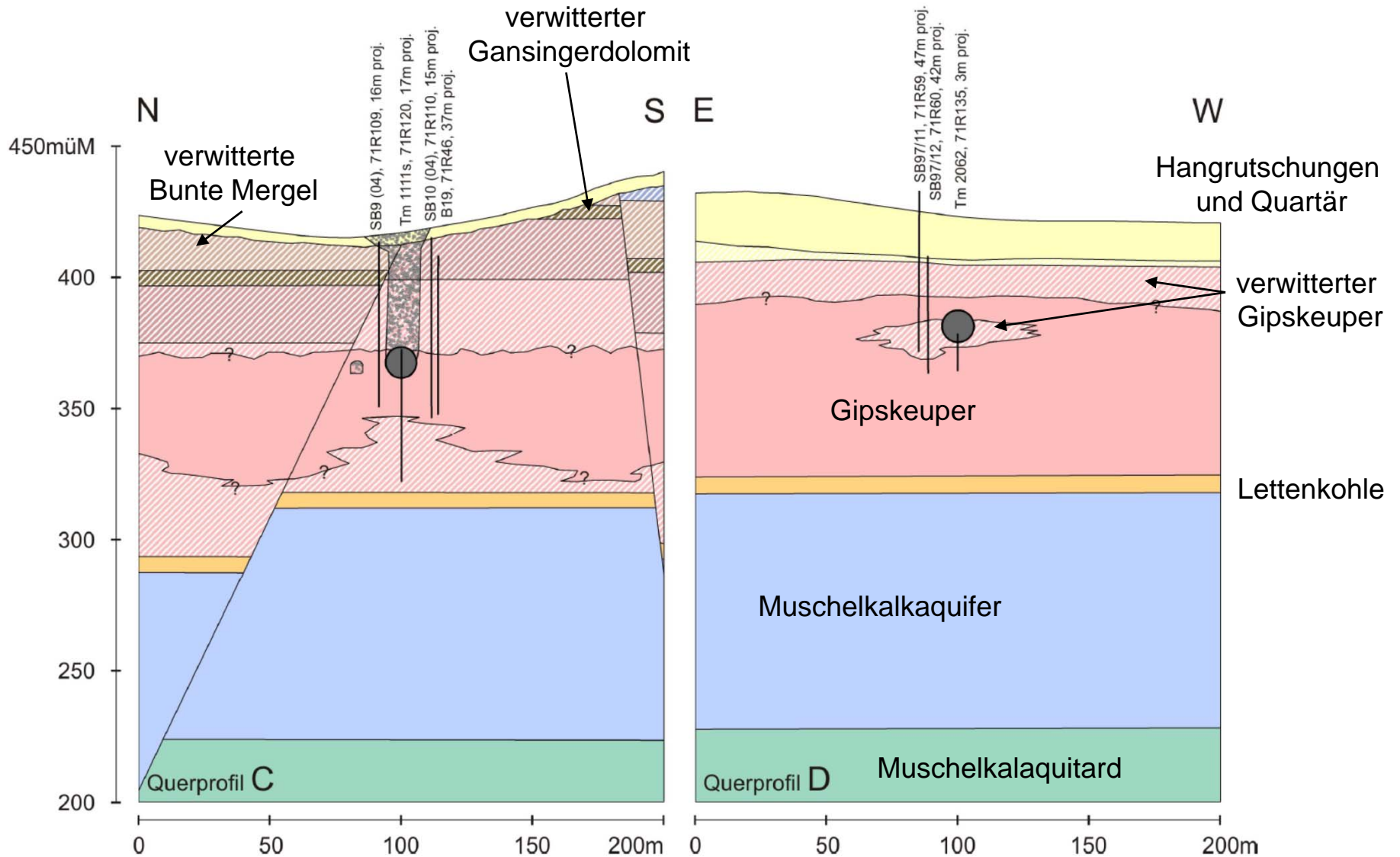
Schaden durch: Aufstieg von gespanntem Grundwasser aus dem Unter Keuper über undichte Ringraumfüllung und Übertritt von Wasser in quellfähige Abschnitte

**Demgegenüber stehen über 600 EWS Bohrungen im Gipskeuper in Baden-Württemberg ohne Schäden**

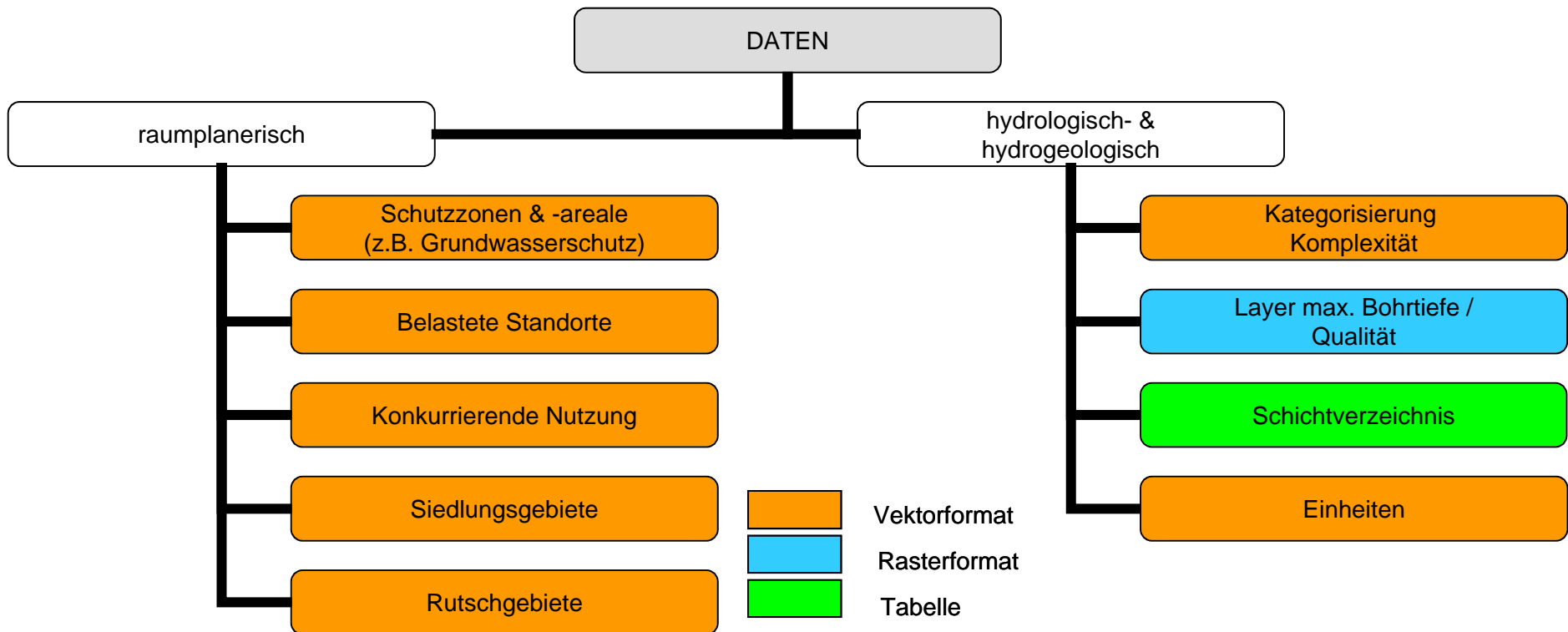






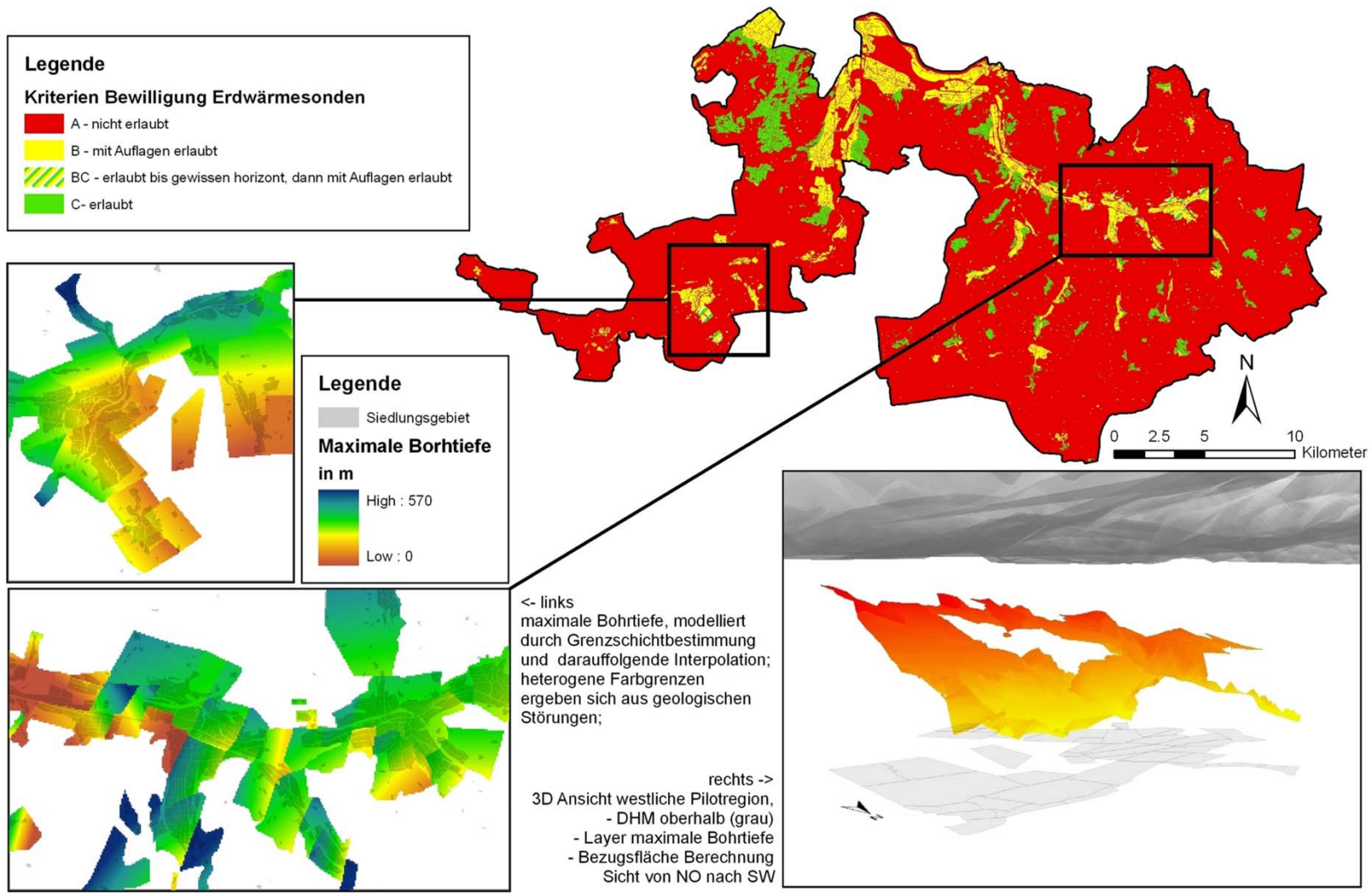


- -> Konstruktion von Mini-Modell-Flächen, die die Orts-spezifische, kritische Schicht repräsentieren (lokal modellierter Top z.B. Hauptrogenstein-Horizont)
- ->Auf diese Schichtfläche (Trend) wird zur Max. Bohrtiefen-Berechnung zurückgegriffen.





## Überblick der Methodik und Ergebnisse





- Nutzung des Untergrundes in urbanen Gebieten erfordert eine 3D Raumplanung
- Eine differenzierte Bewilligungspraxis erfordert gute Kenntnisse der Geologie/Hydrogeologie
- Einfach zugänglich und benutzerfreundliche Geoinformation
- Nutzen und Risiken müssen sorgfältig gegeneinander abgewogen werden
- Bei intensiver Nutzung (Geothermie) sind geeignete Monitoring Systeme erforderlich
- Qualitätsstandards, Förderung der technischen Entwicklungen, Qualitätssicherung durch Branchenverbände



Butscher, C., Huggenberger, P., Zechner, E., Einstein, H., 2011. Relation between hydrogeological setting and swelling potential in clay-sulfate rocks in tunneling, Engineering Geology, 11p., in press

Butscher, C., Huggenberger, P., Zechner, E. 2011. Impact of tunneling on regional groundwater flow and implications for swelling of clay-sulfate rocks, Engineering Geology, 117 (3-4). 198-206.

[http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/Fachbereiche/geothermie/is\\_geothermie](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/Fachbereiche/geothermie/is_geothermie)