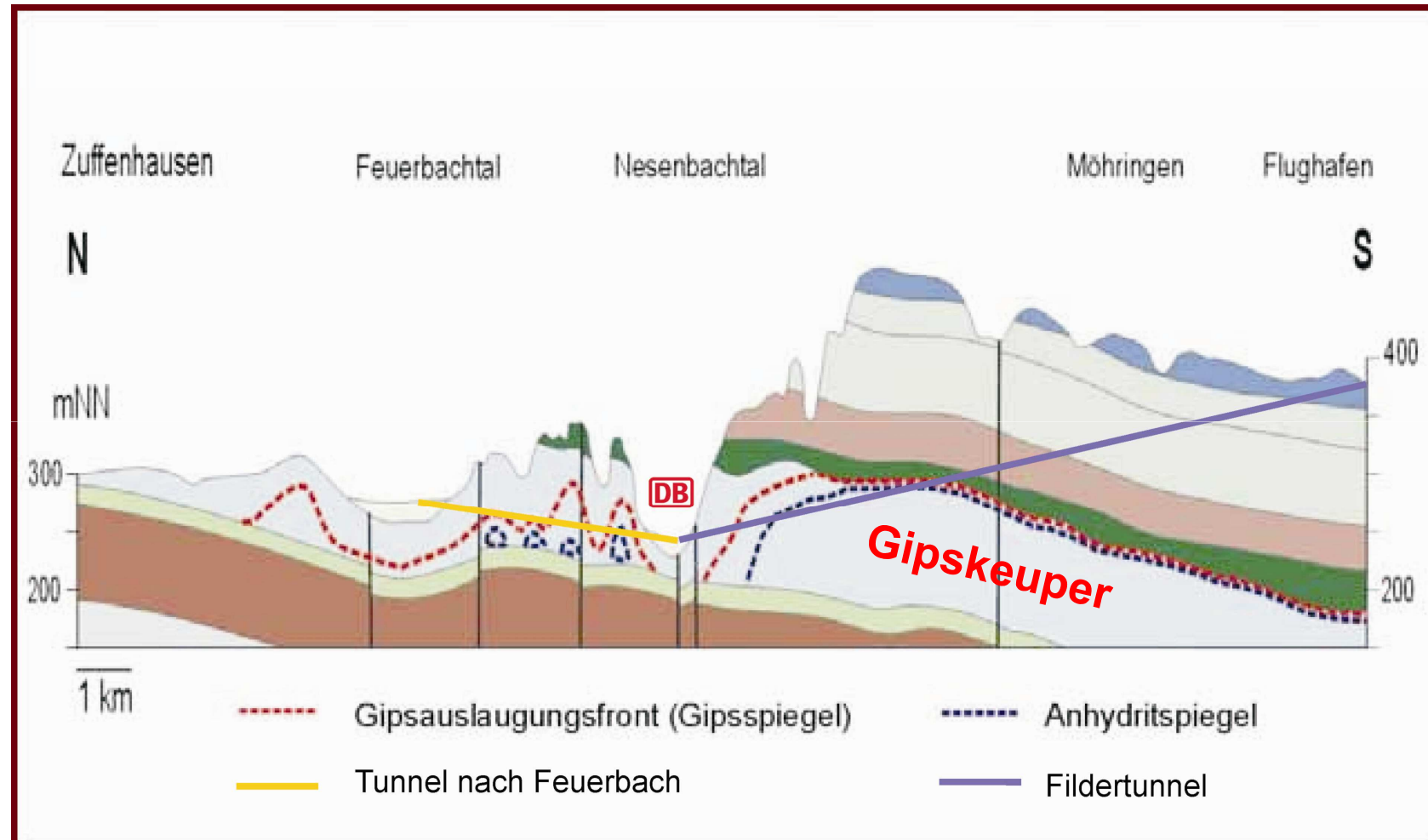


Georisiken beim Tunnelbau für Stuttgart 21

Dr. Jakob Sierig

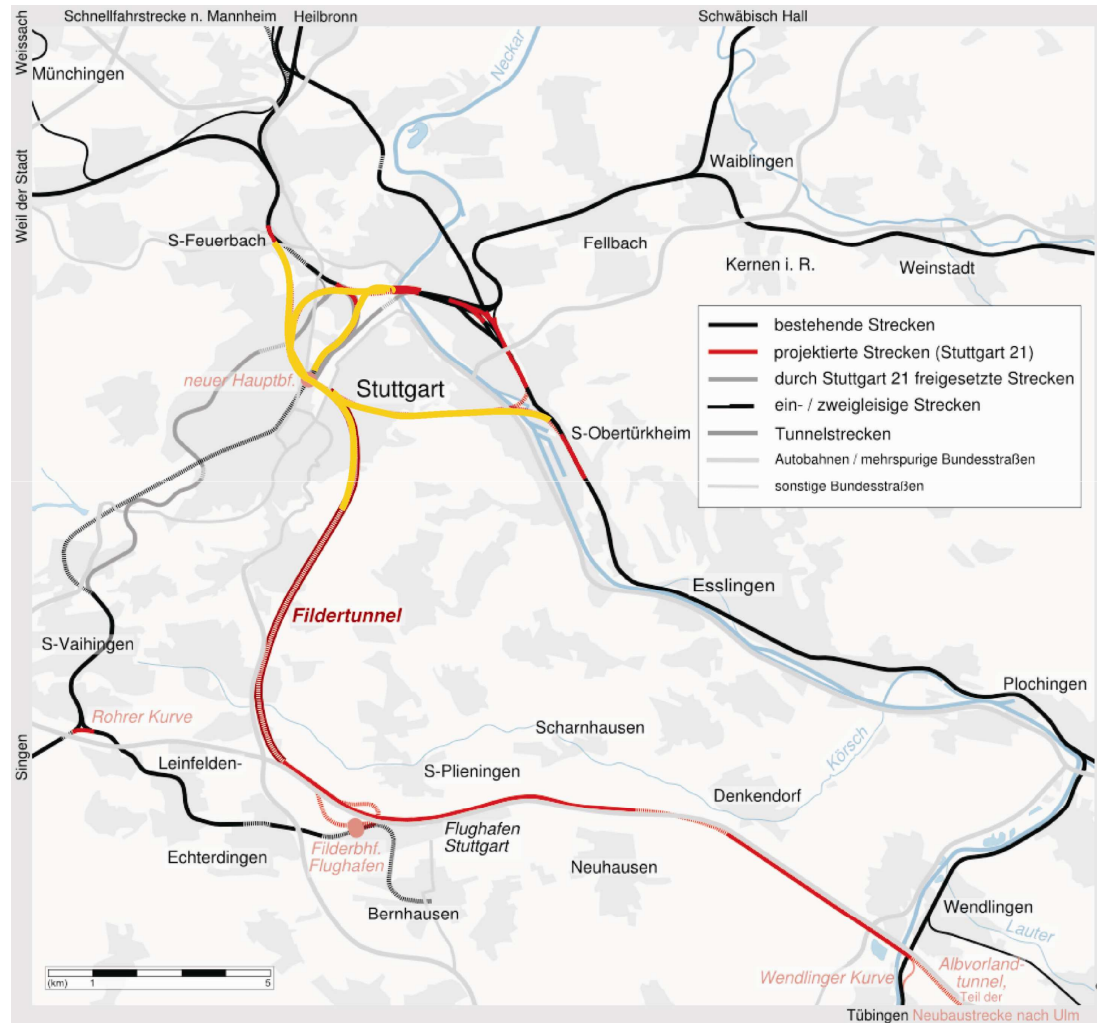
Geothermiekontor GmbH, Tübingen

Geologische Lage des Hauptbahnhofs



Quelle: W. Ufrecht

Geologische Lage des Hauptbahnhofs



Stuttgart ist nur durch den Gipskeuper erreichbar!

(gelb markierte Streckenanteile)

Probleme im Gipskeuper

**Hoher Anteil an wasserlöslichen Mineralien
(Gips und Anhydrit)**

Mit Wasser durchströmter Gipskeuper wird ausgelaugt.

Nicht ausgelaugter Zustand



Standfest (keine Hohlräume)

Ausgelaugter Zustand



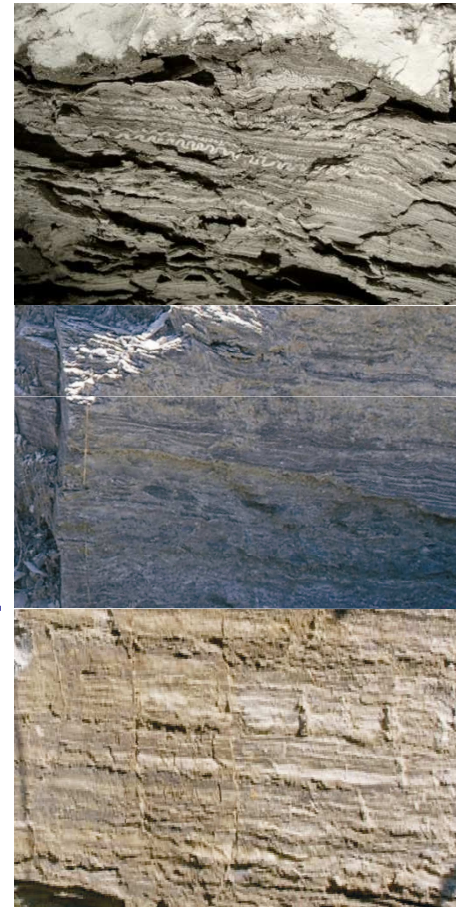
Mürbes Gestein, Hohlräume

Zonen im Gipskeuper (bez. Wassereinfluss)

----- Anhydritspiegel -----

Anhydritzone

Anhydrit, Gefahr des Aufquellens



Zonen im Gipskeuper (bez. Wassereinfluss)

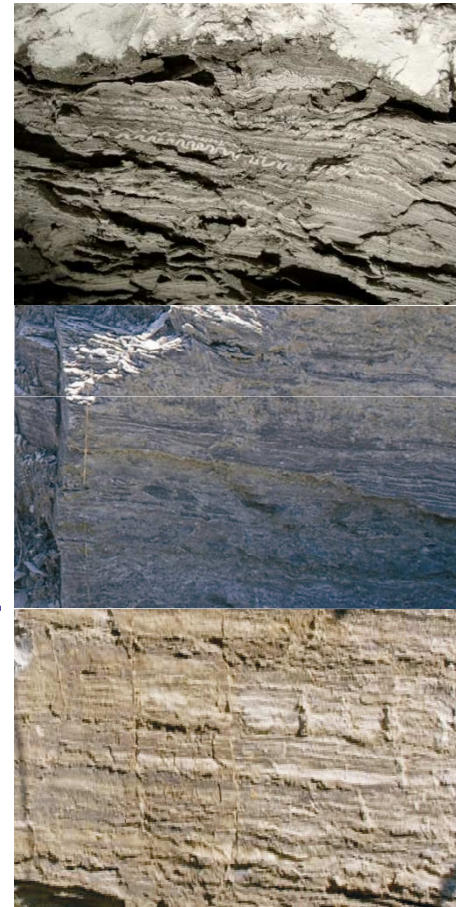
Gipszone

Gestein im ursprünglichen Verband
Quellungen bereits abgeklungen

----- Anhydritspiegel -----

Anhydritzone

Anhydrit, Gefahr des Aufquellens



Zonen im Gipskeuper (bez. Wassereinfluss)

Stuttgarter

S- und

U-bahn-

Tunnel

Auslaugungszone

Gips und Anhydrit aufgelöst,
verschwunden, oft wasserführend

----- **Gipsspiegel** -----

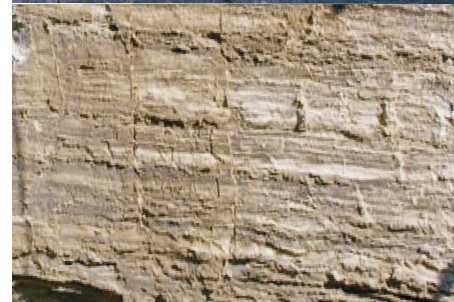
Gipszone

Gestein im ursprünglichen Verband
Quellungen bereits abgeklungen

----- **Anhydritspiegel** -----

Anhydritzone

Anhydrit, Gefahr des Aufquellens



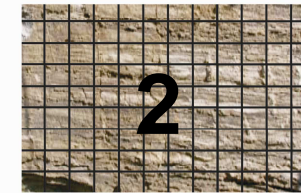
Probleme im Gipskeuper

Anhydritzone,
wasserdicht



Risse →

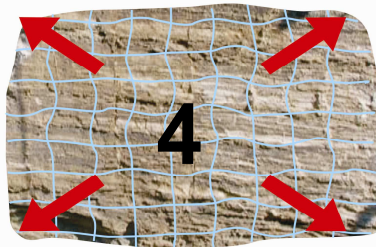
Gestörtes Gestein,
wasserdurchlässig



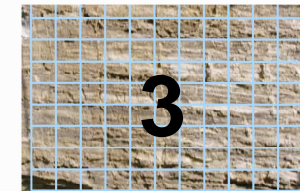
Wasser



bis 60% Volumenzunahme
bis 120 bar Druck

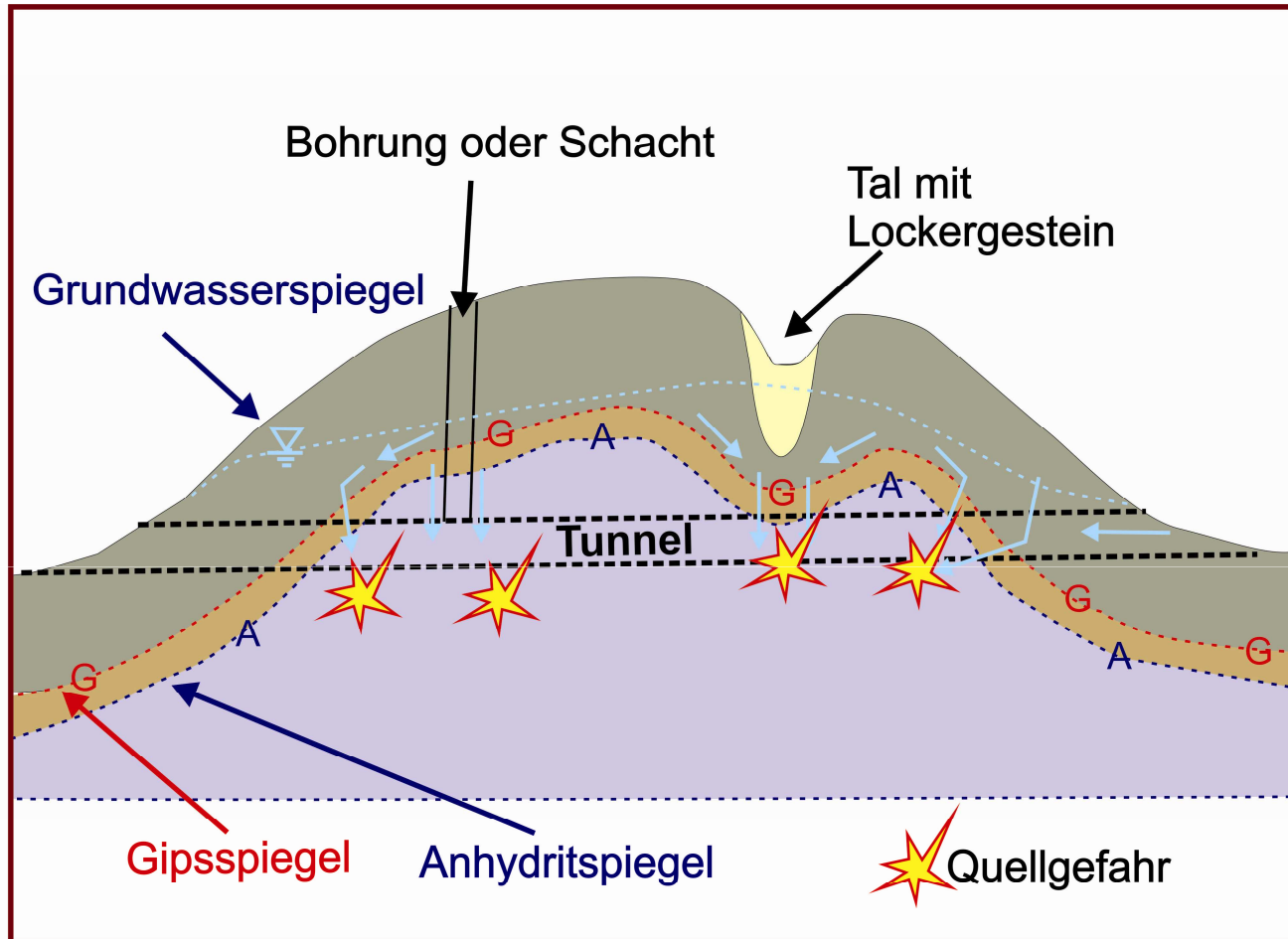


← Quellung



Mineralogisch ist der Prozess noch nicht geklärt!

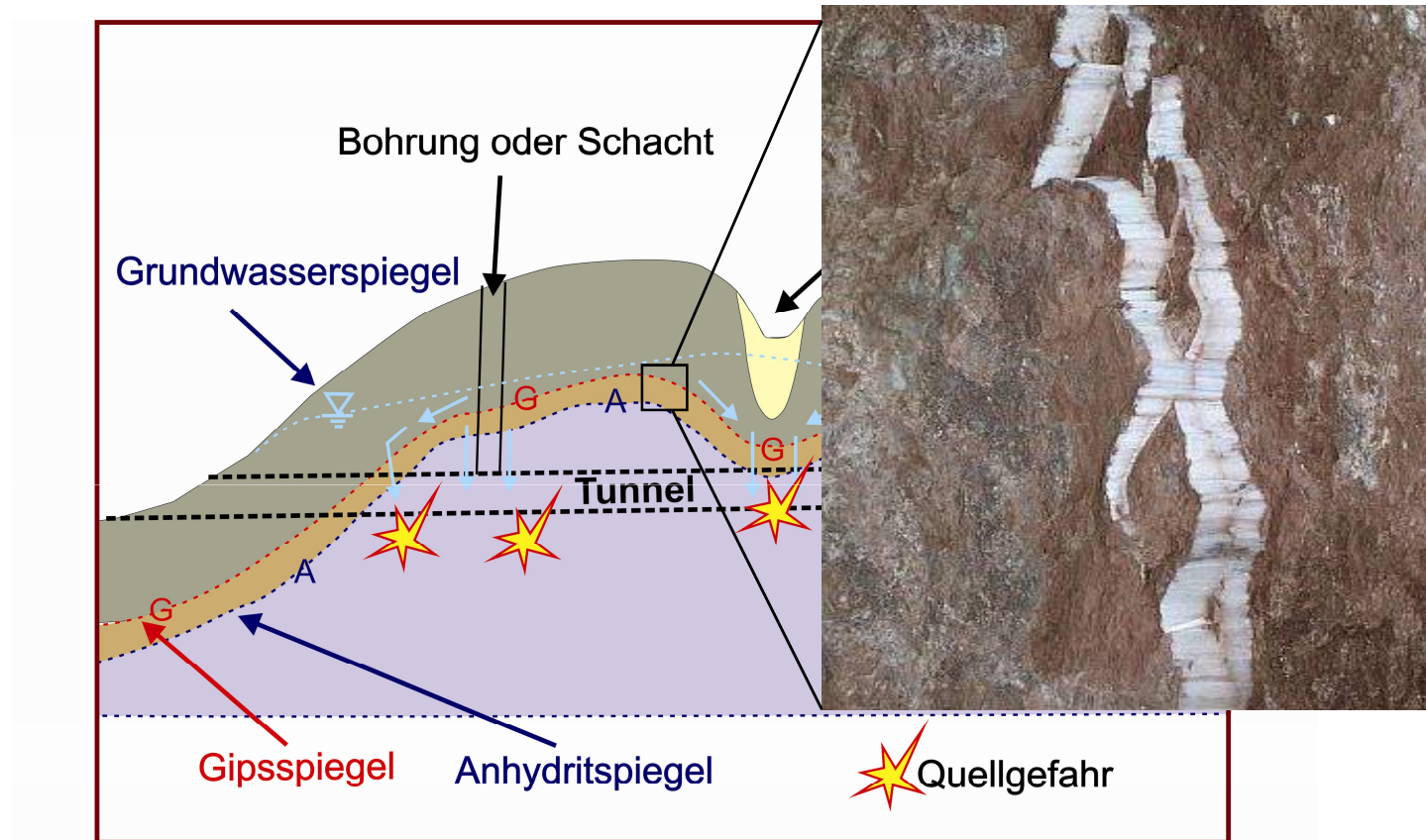
Wasserzutritt in den Anhydrit



Quelle: Rauh, 2009

- Grundwasser-Stau über dem Gipsspiegel
- Bei Durchbruch des Gips- und Anhydritspiegels fließt Wasser in den Anhydrit

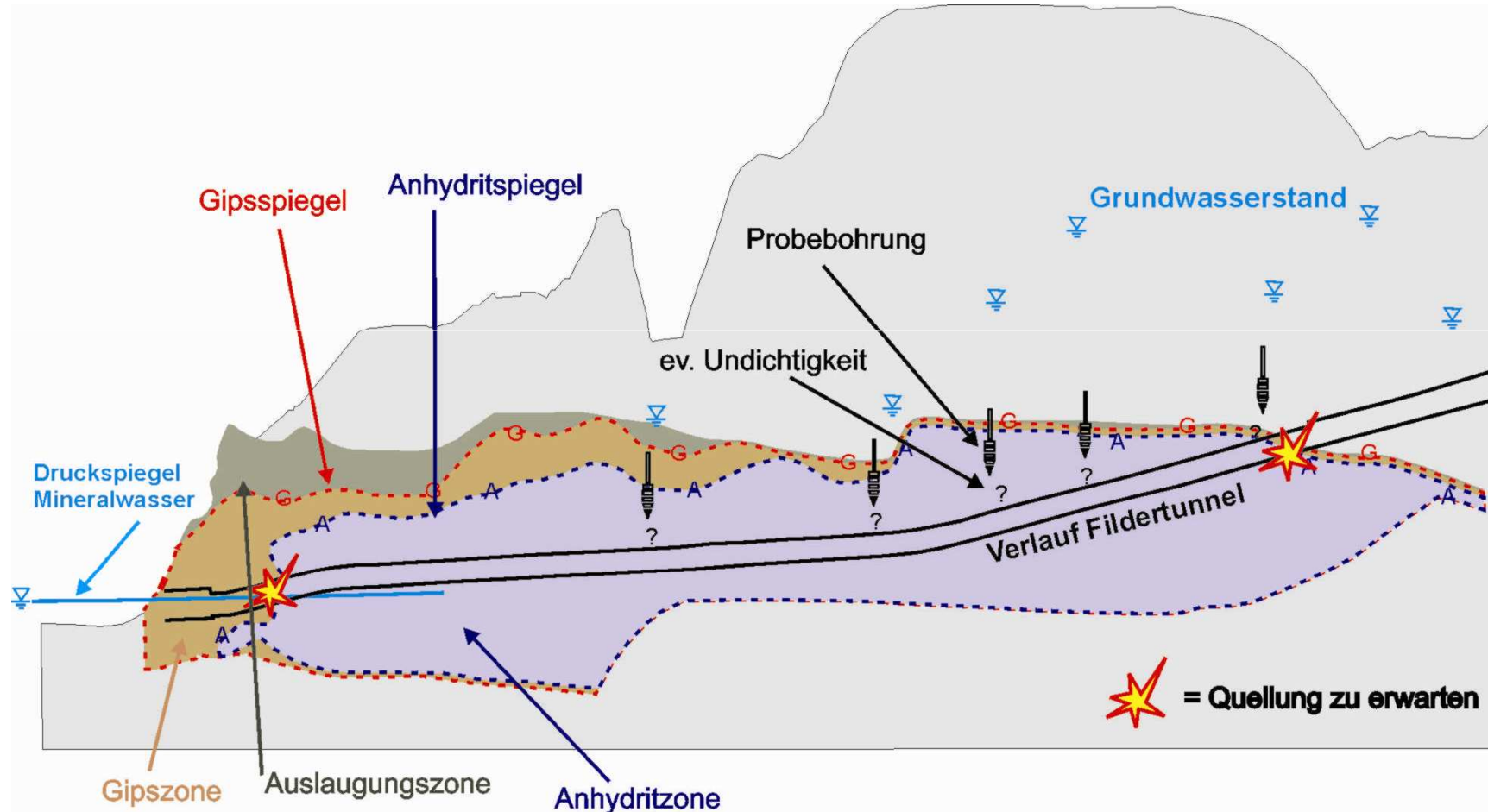
Wasserzutritt in den Anhydrit



Wasser sickert durch Spalten in das Gestein

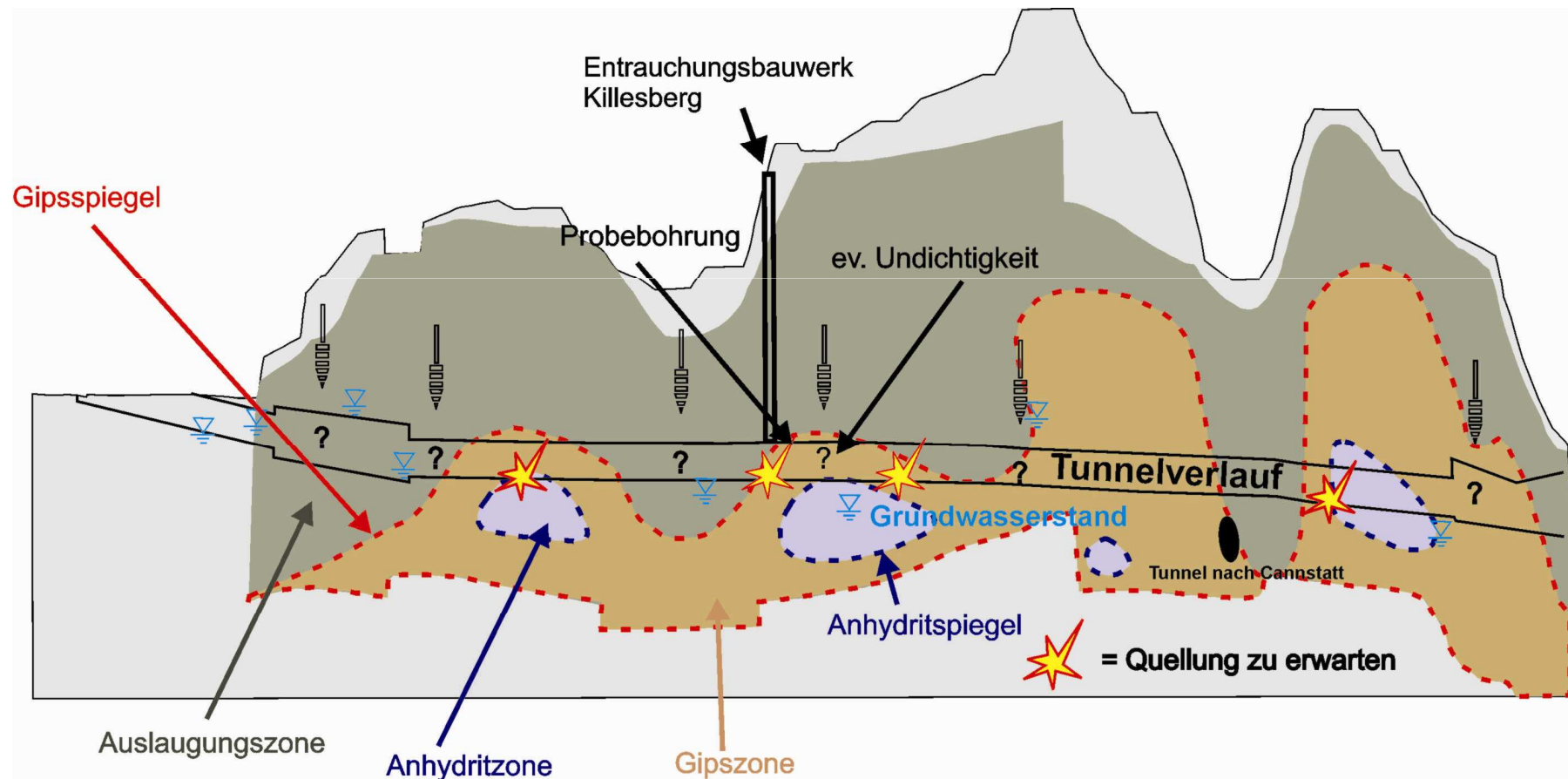
Wo sind bei S21 Wassereinbrüche zu erwarten?

Fildertunnel

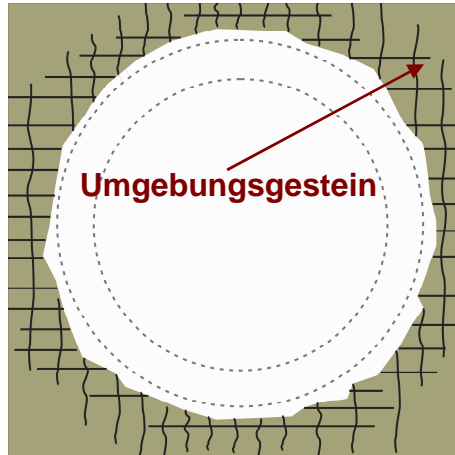


Wo sind bei S21 Wassereinbrüche zu erwarten?

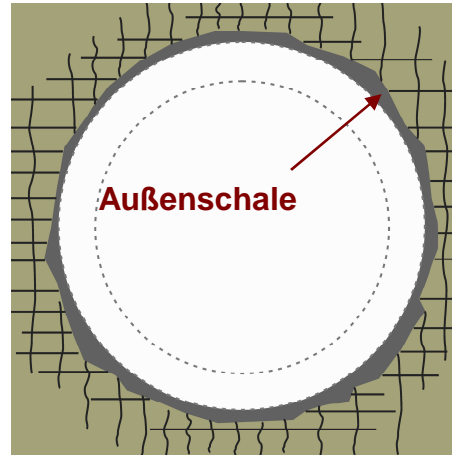
Tunnel nach Feuerbach



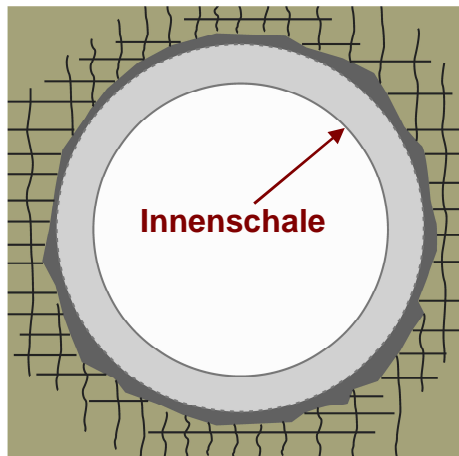
Neue Österreichische Tunnelbauweise: NÖT*



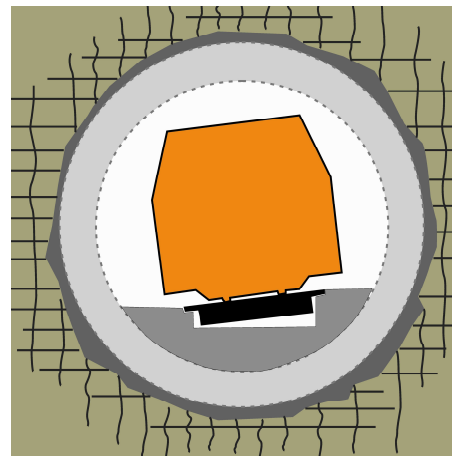
1.



2.



3.



4.

1. Sprengen und Fräsen
Rissbildung durch
Entlastung

2. Spritzbeton-Außenschale
direkt nach dem Baggern

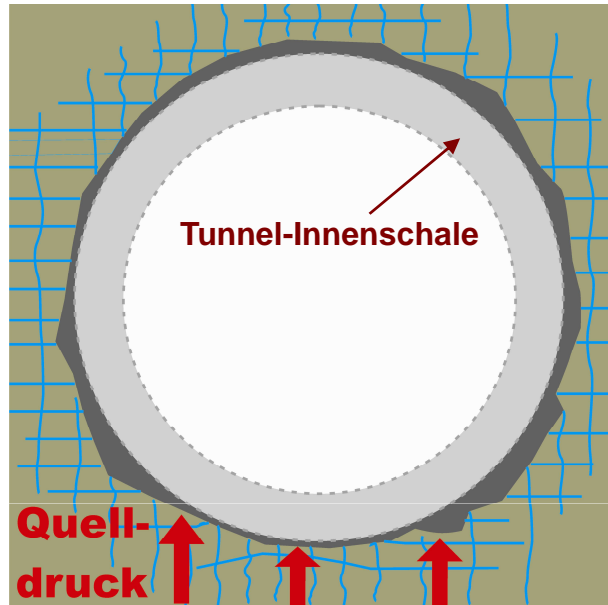
3. Betonieren der druckfesten
Innenschale (bis zwei Jahre
nach Außenschale)

4. Innenausbau

**Im Gipskeuper
riskante Bauweise**

* Derzeit ausgeschriebenes Verfahren

Techniken zur Reaktion auf quellenden Gipskeuper

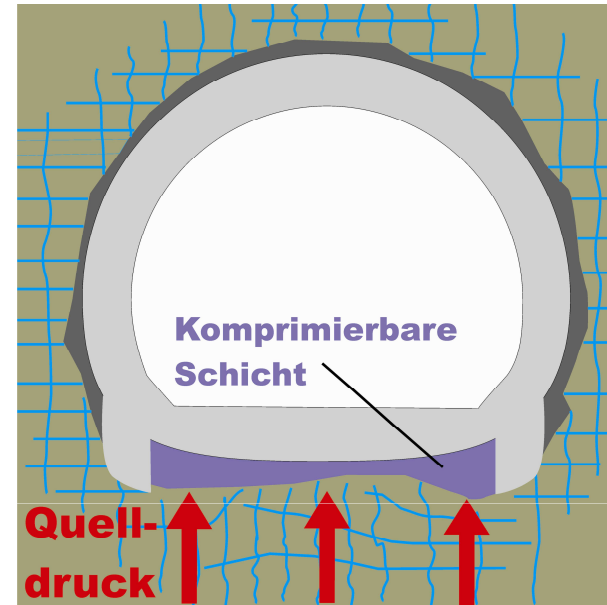


Widerstandsprinzip:

Tunnel-Innenschale soll dem angenommenen Quelledruck standhalten

Schadenbeispiel:

Adlertunnel in der Nordschweiz



Ausweichprinzip:

„Knautschzone“ aus nachgiebigen Material

Schadenbeispiel:

Engelbergtunnel bei Stuttgart

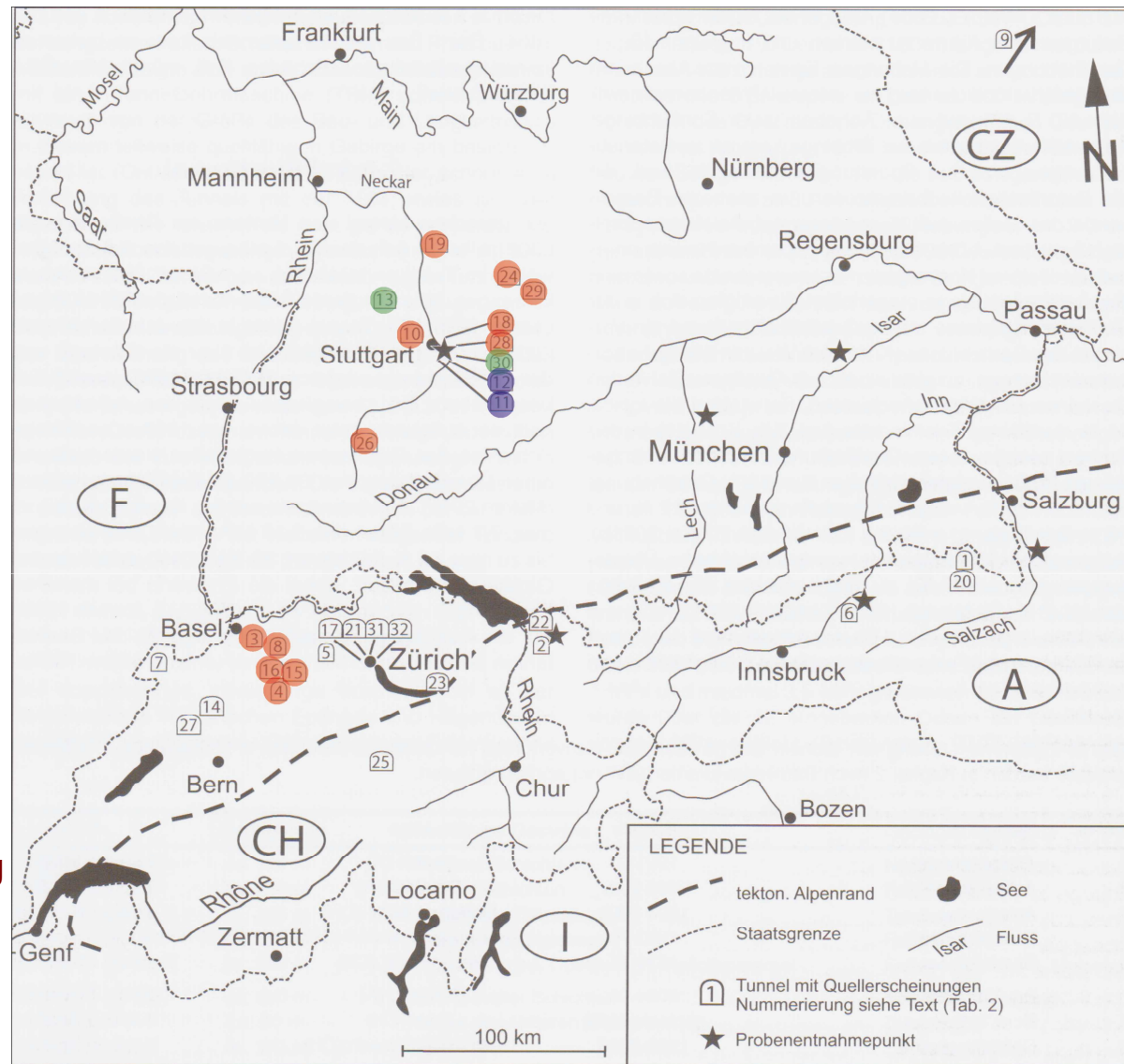
Engelbergtunnel

- **Ca. 500 Meter durch quellfähigen Gipskeuper**
- **Geplant mit Widerstandsprinzip**
(maximaler Gebirgsdruck 4 MPa = 40 bar; Rauh, 2009)
- **Nach Problemen mit Quellungen wurde auf das Ausweichprinzip umgeplant.**
- **Bisherige Mehrkosten: ca. 100 Mio. Euro für ca. 500 Meter Tunnel (Quelle: Wikipedia)**
- **Trotz Ausweichprinzip erneut Probleme**
Quelldruck kommt aus nicht erwarteten Richtungen

Tunnel durch quellfähigen Gipskeuper

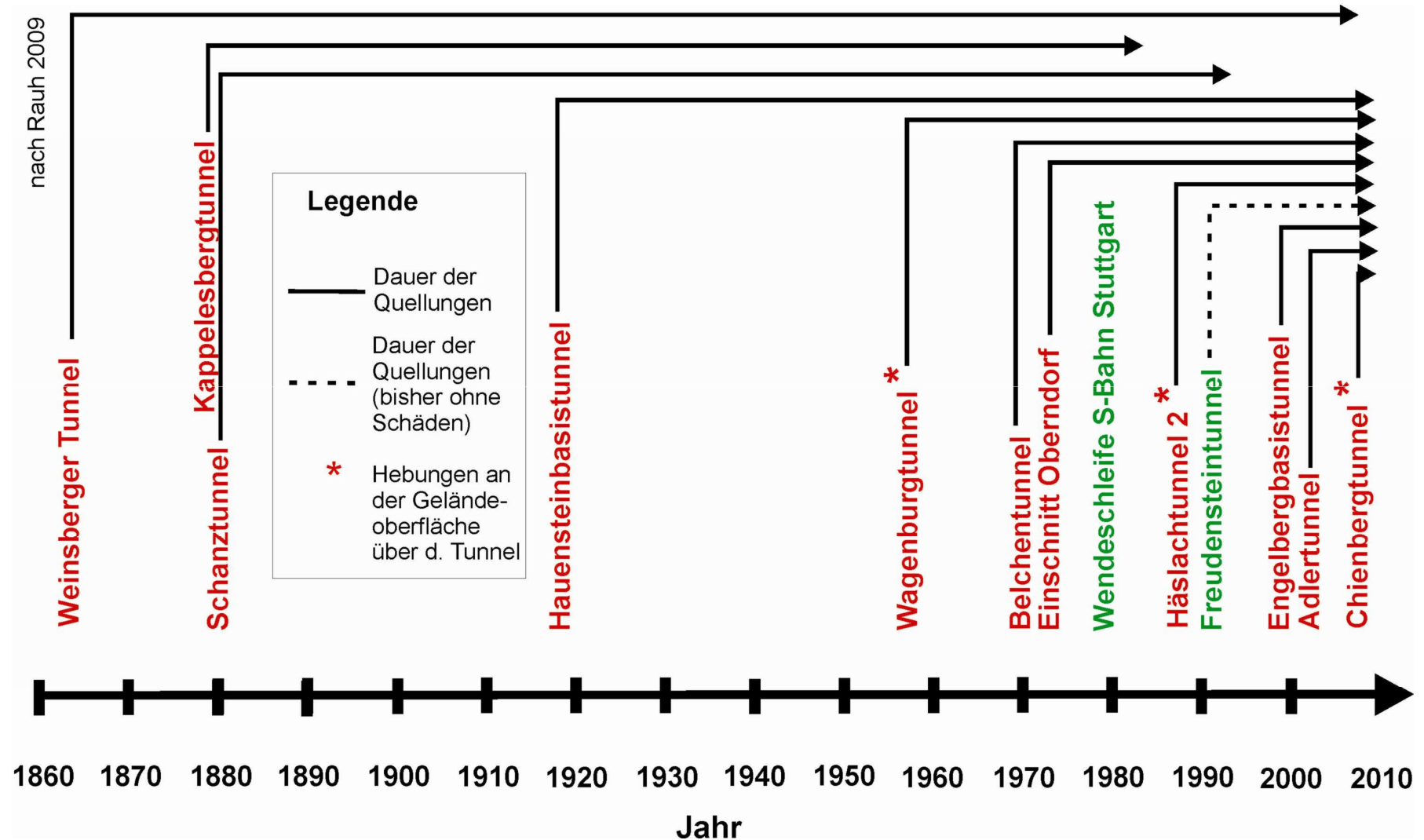
- Problematisch*
- Bisher keine Probleme
- In Planung

***Problematisch bedeutet:**
Immer wieder Sanierungen nötig
und / oder
Über dem Tunnel kommt es zu
Geländehebungen



Quelle Rauh, 2009

Wie lange kann Quellung andauern?



Sanierungsfall Adlertunnel

Fertigstellung: 1994 – 2001

Sanierung: 2010 – 2011

Sanierte Strecke: 40 Meter

Sanierungskosten: 12 Mio € + X

Zitat Baseler Zeitung:

„Bei jedem neuen Juradurchstich warnen die Geologen vor dem Gipskeuper, während die Ingenieure erklären, inzwischen habe man das Problem im Griff. Das war auch beim 5,3 Kilometer langen Adlertunnel so.“



Stütze. Betonriegel hinter den Platten (rechts an der Tunnelwand) sollen den Druck vom Tunnelboden auffangen. Fotos Daniel Desborough



Schutz. Eine Wand trennt die Baustelle und die Züge in der anderen Tunnelhälfte.



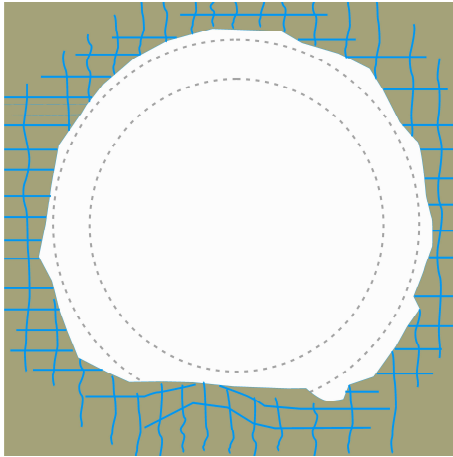
Einfahrt. Die Baustelle liegt einen Kilometer tief im Berg.

Der Berg rächt sich im Adlertunnel

SBB brauchen mehr Zeit für Sanierung – Kosten steigen in unbekannte Höhen

Quelle: Baseler Zeitung, 13.10.2010

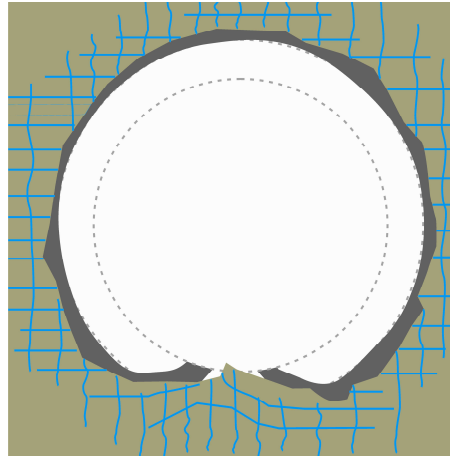
Was ist, wenn die Quellung stärker als erwartet ist?



Vor Spritzbetonschale

Sohle ausräumen

Geringe Mehrkosten

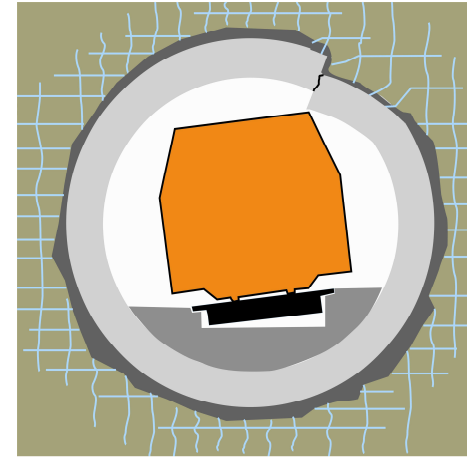


Nach Spritzbetonschale

Sohle großräumig ausräumen

Hohe Mehrkosten

Beispiel Engelbergtunnel



Nach Inbetriebnahme

Jahrelange Tunnelsanierung

Enorme Mehrkosten

Einmal begonnene Quellprozesse sind nicht mehr zu stoppen!

Bei all diesen Szenarien wird sich der Quellprozess für die nächsten 100 Jahre auf den Tunnel auswirken!

Fazit

Tunnelbau im quellenden Gipskeuper befindet sich noch im Pionier-Stadium.

Die Stuttgart 21 - Tunnels sind „Prototypen“.

Häufige reparaturbedingte Tunnelsperrungen sind zu erwarten.

15 Kilometer Tunnel im quelfähigen Gipskeuper bringen unkalkulierbare Mehrkosten.

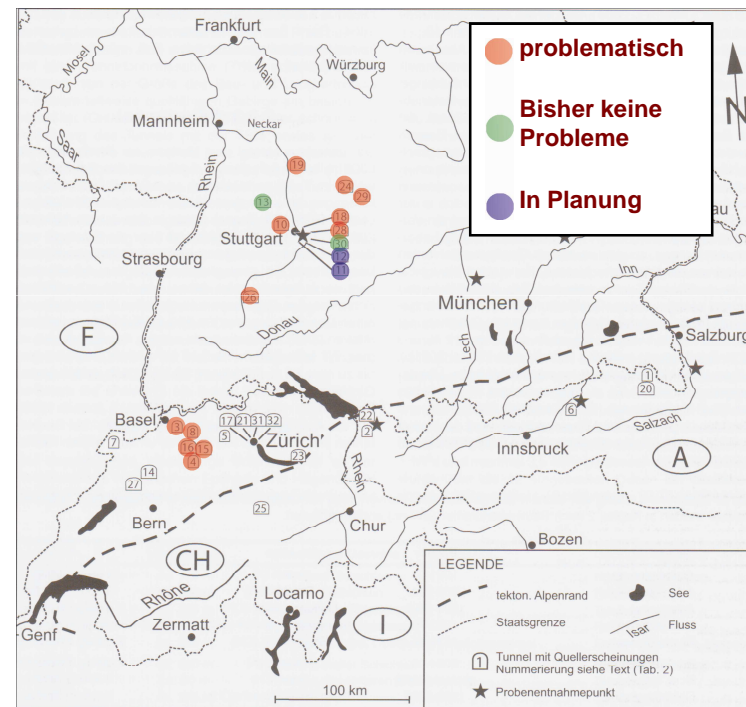
Im Gegensatz zu Geothermiebohrungen gibt es im Tunnelbau seit Jahrzehnten verlässliche Erfahrungen im Umgang mit dem Gipskeuper*

Erfahrungen Erdwärme-Bohrungen



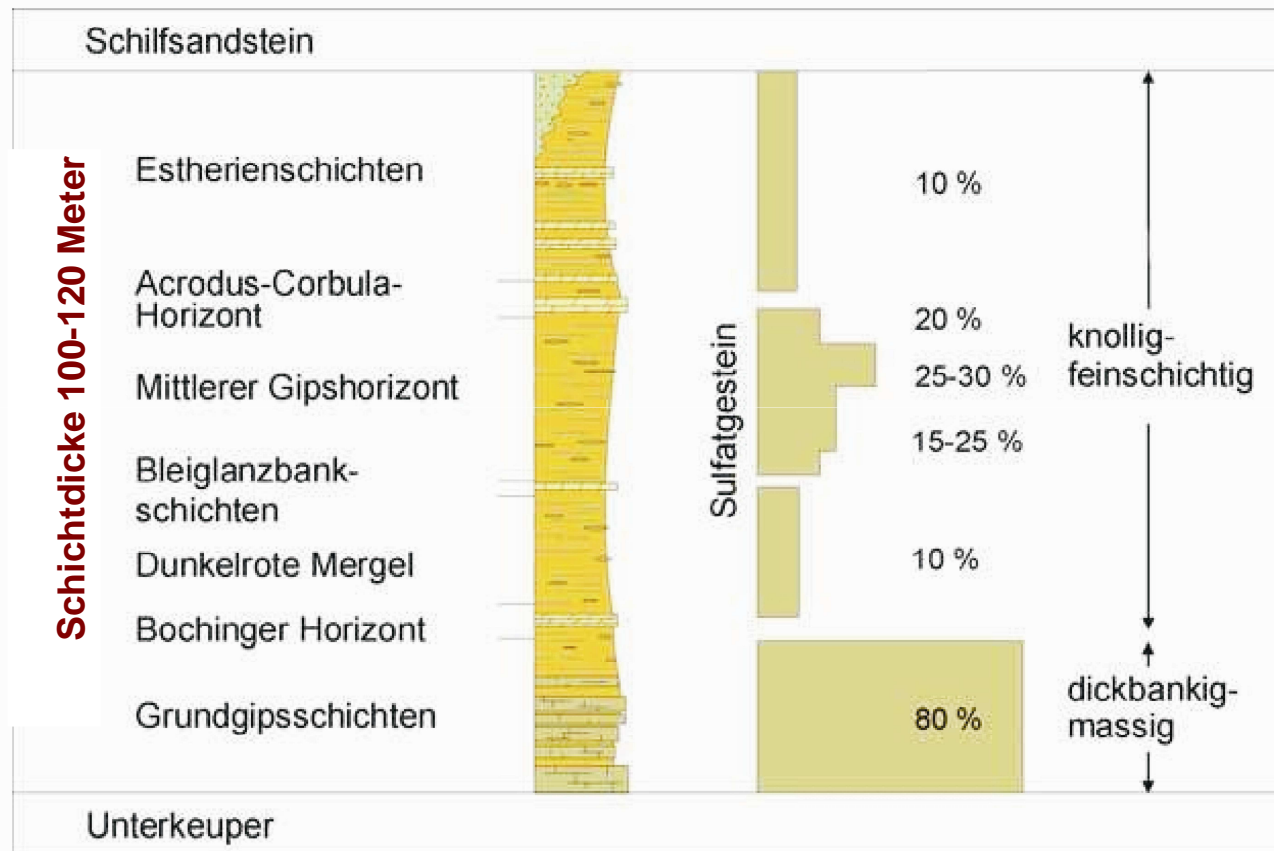
Landesregierung: „Erdwärmesonden sind problematisch, da vertikal gebohrt“

Erfahrungen im Tunnelbau



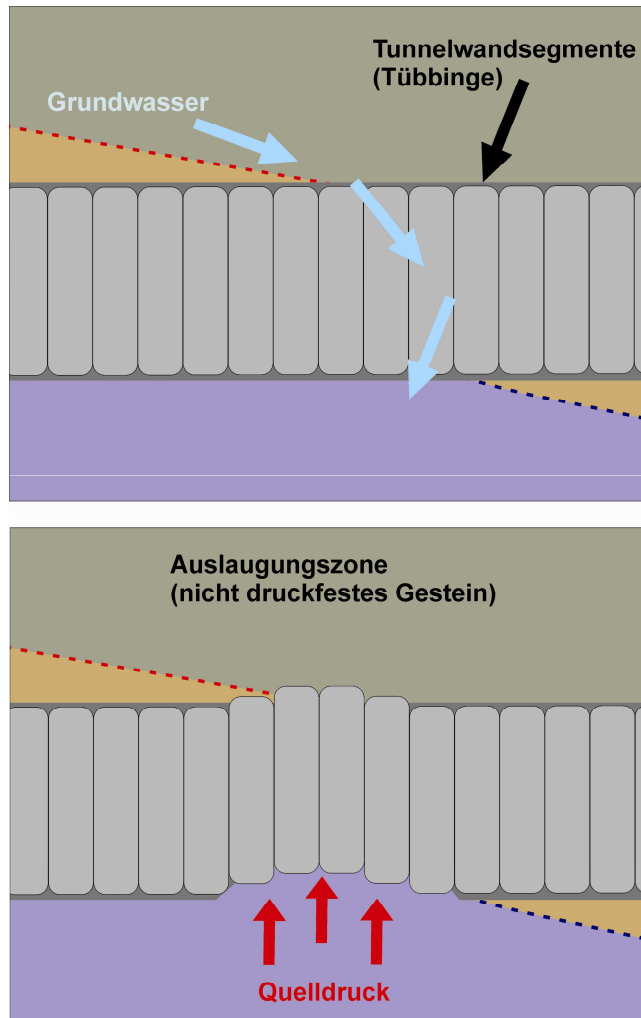
Landesregierung: „Tunnels sind unproblematisch, da horizontal erschlossen“

Was ist der Gipskeuper ?



Sulfatgesteine = Gips und Anhydrit

Was ist, wenn die Druckkräfte um den Tunnel herum unterschiedlich sind?



Legende

- Tunnelsegment (Tunnelbohrmaschine)
- Auslaugungszone (Gipskeuper)
- Zwischenzone (Gipskeuper)
- Anhydritzone (Gipskeuper)
- Gipsspiegel
- Anhydritspiegel

Szenario:

Der Quelldruck des Gipskeupers drückt einige in sich druckfeste Tunnelwandsegmente als Ganzes in die nachgiebigen Gesteine der Auslaugungszone

Ist so eine Situation bisher bedacht worden?

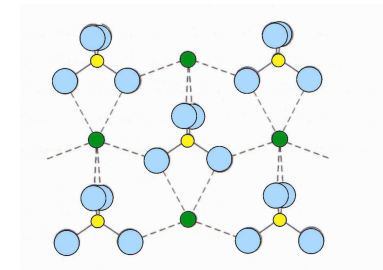
Ist so etwas schon mal passiert?

Wie kann darauf reagiert werden?

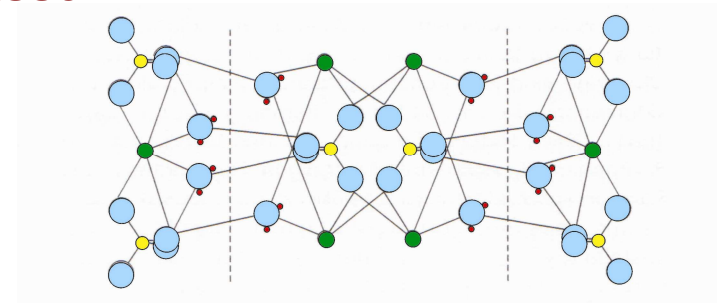
Was sind Sulfatgesteine?

Mit „Sulfatgesteinen“ sind Gips und Anhydrit gemeint

Anhydrit = CaSO_4 also „wasserfreier Gips“



Gips = $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, also Anhydrit mit Wasser im Kristallgitter (Volumenzunahme 61 %)



Anhydrit muss sich vollständig in Wasser auflösen, damit er in Gips umgewandelt werden kann.

● Sauerstoff ● Calcium ● Schwefel ● Wasserstoff

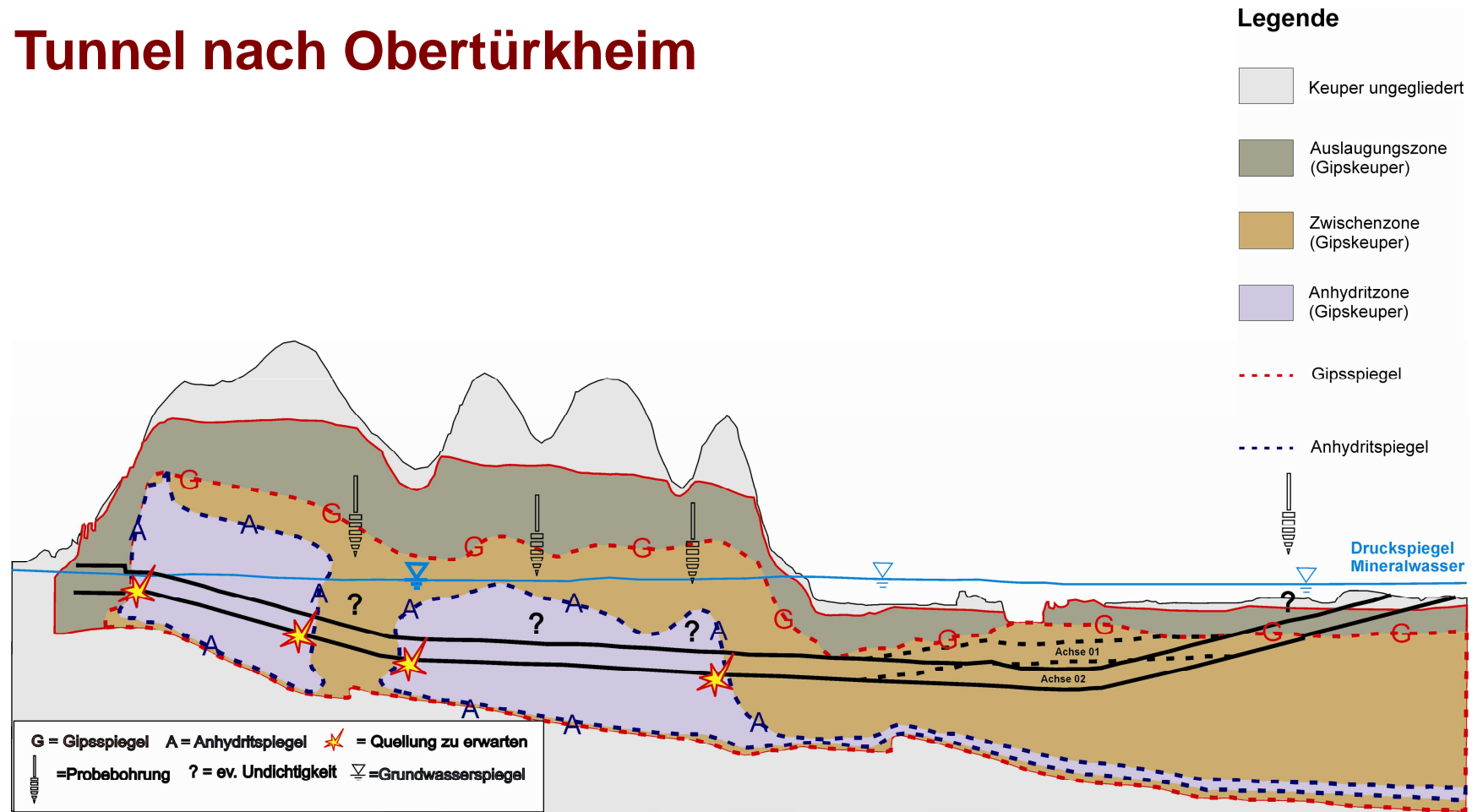
„Man muss die wichtigsten Argumente unter die Leute bringen, sich nicht in Details wie der Dicke der Tunnelwände und dergleichen verlieren.“

Ministerpräsident Mappus in der FAZ am 13.11.2010 auf die Frage:

Was sind die zwei, drei Fehler, die man unbedingt vermeiden muss, damit Großprojekte nicht in Bürgerkriegsszenarios führen?

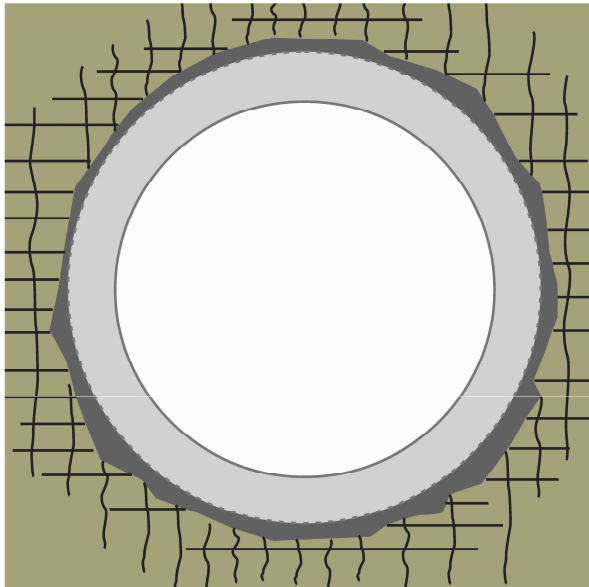
Wo sind bei S21 Probleme zu erwarten?

Tunnel nach Obertürkheim



Vergleich der zwei gängigen Tunnelvortriebsarten

Neue öst. Tunnelbauw. (NÖT)



Quelle: www.hochbahn.de

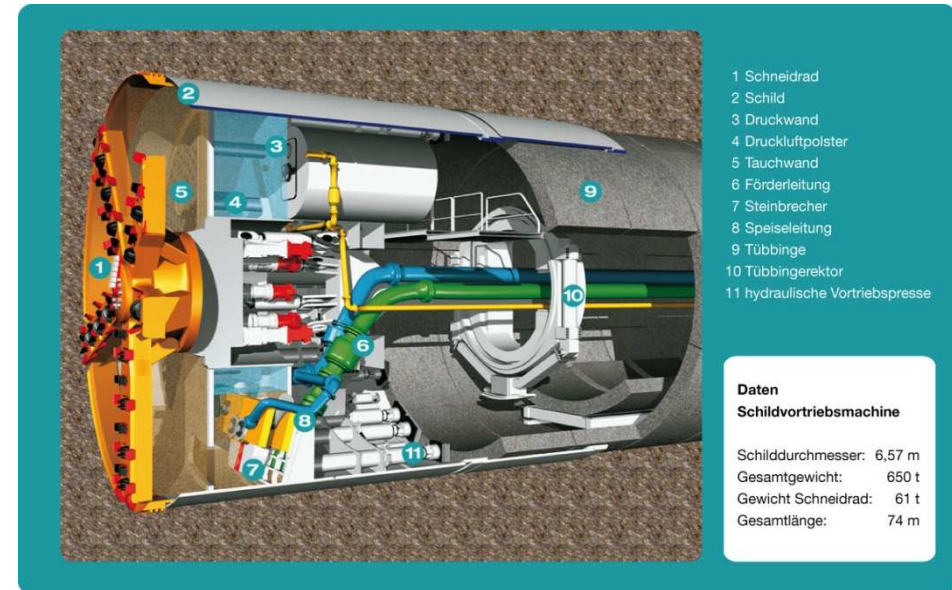
Erzeugt viele Risse im Gestein

Wasserzutritte werden erkannt

Auf kürzeren Tunnelstrecken günstiger

Alle Tunnelprofile realisierbar

Tunnelbohrmaschine (TBM)



Erzeugt wenig Risse im Gestein

Wasserzutritte werden nicht erkannt

Auf kürzeren Tunnelstrecken teurer

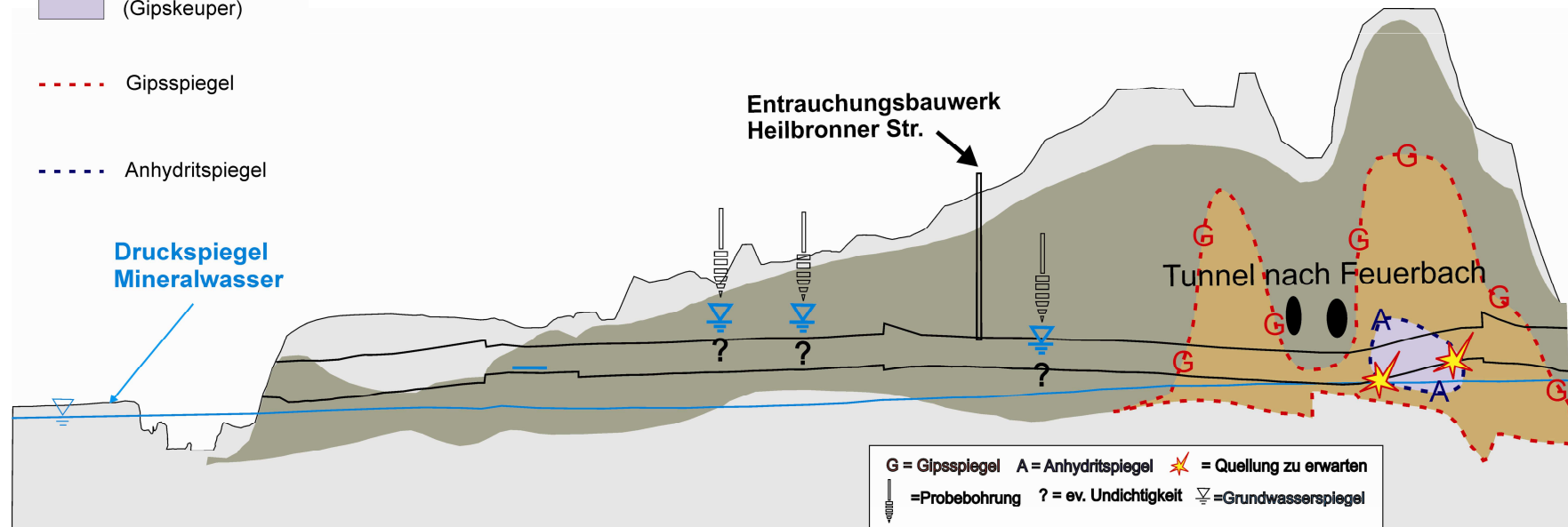
Kann ausschließlich runde Tunnelprofile

Wo sind bei S21 Probleme zu erwarten?

Tunnel nach Bad Cannstadt

Legende

-  Keuper ungegliedert
-  Auslaugungszone (Gipskeuper)
-  Zwischenzone (Gipskeuper)
-  Anhydritzone (Gipskeuper)
-  Gipsspiegel
-  Anhydritspiegel



Wie sollen bei S 21 die Tunnel gebaut werden?

Laut Planfeststellung und der Ausschreibung vom 12.10.2010 sollen die Tunnel in der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise und nach dem Widerstandsprinzip aufgeföhren werden.

=> Die Planfeststellung geht vom Tunnel-Vortrieb durch Sprengungen aus.

=> Es wurde also eine im Bezug auf das Bauen von Tunnels im Gipskeuper eine sehr riskante Methode gewählt (Fachwelt).

=> Die Bahn hat nun das Recht, so Ihre Tunnel zu bauen

*** NÖT = Neue Österreichische Tunnelbauweise**

Man muss die wichtigsten Argumente unter die Leute bringen, sich nicht in Details wie der Dicke der Tunnelwände und dergleichen verlieren.

Stefan Mappus in der FAZ am 13.11.2010

Bei jedem neuen Juradurchstich warnen die Geologen vor dem Gipskeuper, während die Ingenieure erklären, inzwischen habe man das Problem im Griff.

Baseler Zeitung am 13.10.2010 zum jüngsten Gipskeuper-Sanierungsfall Adlertunnel