

**So müsste es gehen
oder
das Spiel der Ingenieure
mit der Erreichbarkeit von
Stuttgart**

Dr. Jakob Sierig
Diplom-Geologe



Das Ausgangslage

- **Beim Projekt Stuttgart 21 wird der Hauptbahnhof unter die Erde verlegt.**
- **Alle Zufahrten zum Tunnel verlaufen durch eingleisige Tunnelröhren**



Das Risiko

- **Alle Tunnel verlaufen im Gipskeuper**
- **Tunnelbau im Gipskeuper birgt das hohe Risiko, dass Tunnel wegen dessen Eigenschaften immer wieder saniert werden müssen.**

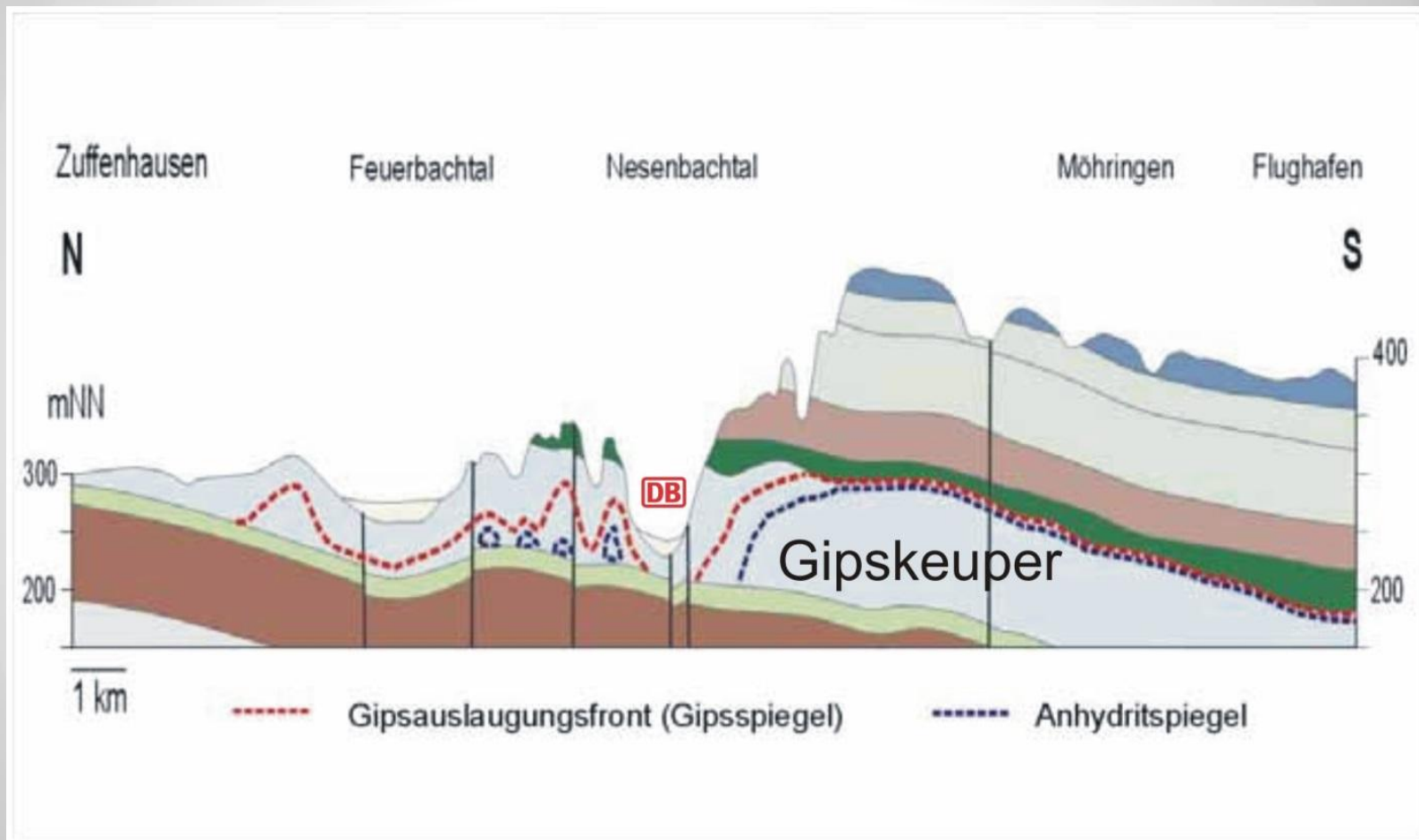


Was, wenn sich das Risiko verwirklicht?

- **Region Stuttgart funktioniert nicht mehr, wenn Bahnhof nicht funktioniert.**
- **Bahnhof funktioniert nicht, wenn ein Tunnel saniert wird.**
- **Tunnelsanierung dauert einige Monate.**

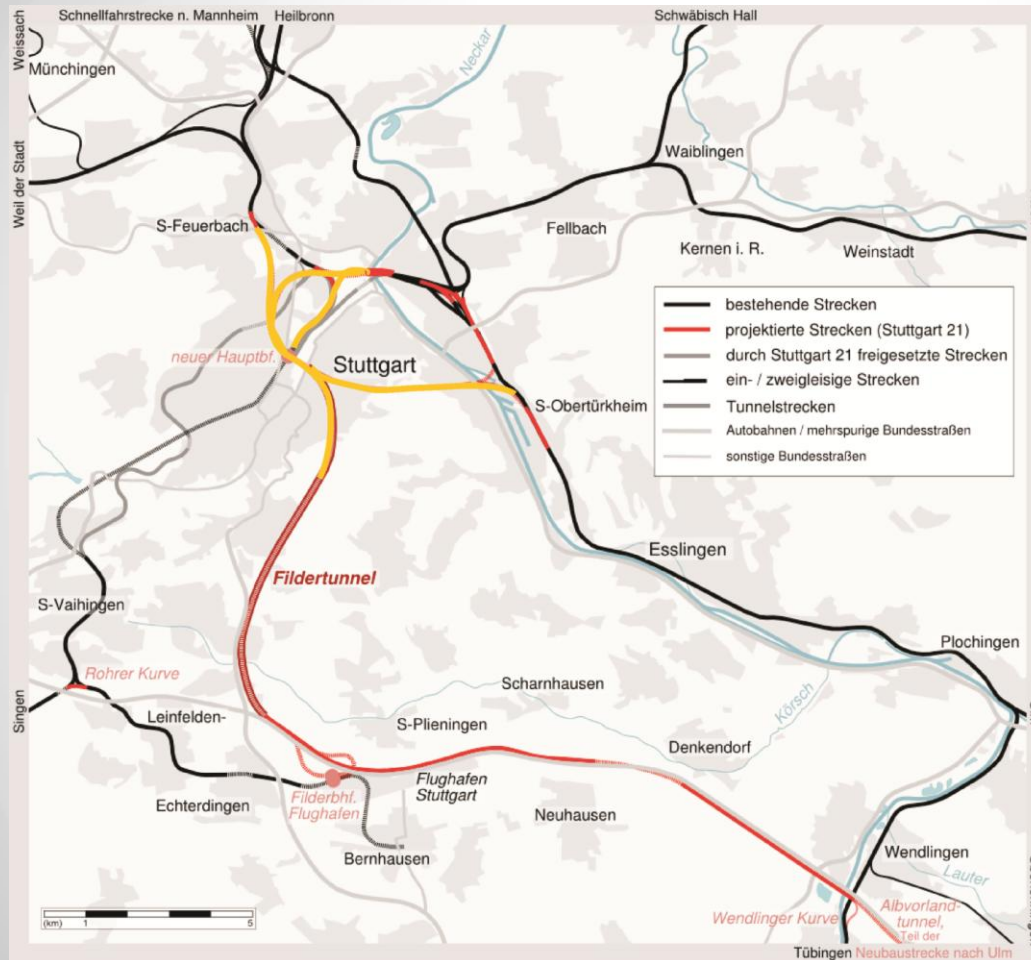


Geologische Lage des Hauptbahnhofs



Quelle: W. Ufrecht

Geologische Lage des Hauptbahnhofs



Stuttgart ist über Tunnel nur durch den Gipskeuper erreichbar!

(gelb markierte Streckenanteile)

Probleme im Gipskeuper

Anhydritzone,
wasserdicht



Risse →

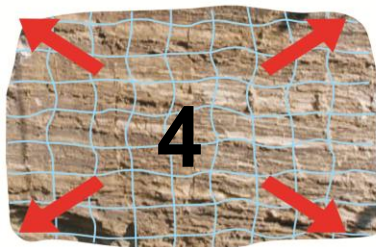
Gestörtes Gestein,
wasserdurchlässig



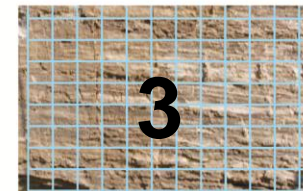
Wasser



bis 60% Volumenzunahme
bis 120 bar Druck

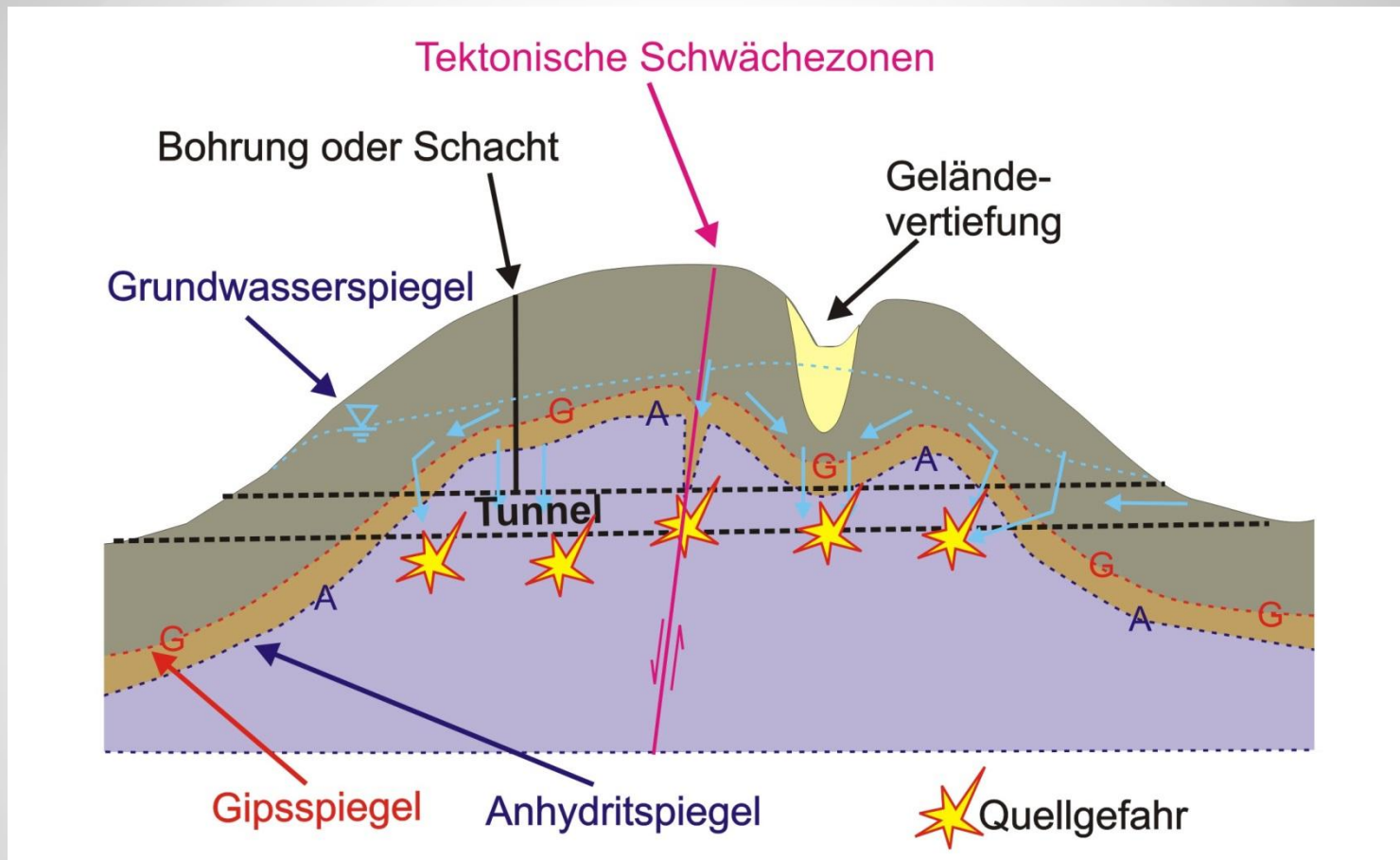


← Quellung



Mineralogisch ist der Prozess noch nicht geklärt!

Wasserezutritt in den Anhydrit



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

Wahrscheinlichkeit von Wasserzutritten

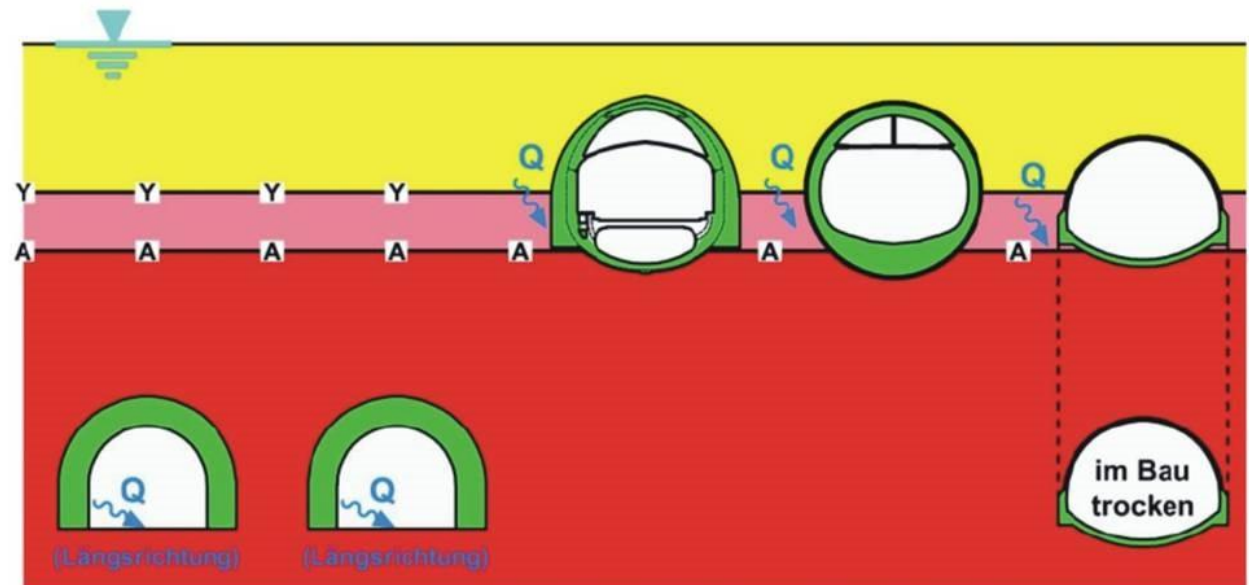
- Die Erfahrung zeigt, dass „Tunnelbau ohne Wasser“ nicht möglich ist. Insofern halten wir es nicht für realistisch, dass das Quellen des Anhydrits mit absoluter Sicherheit vollständig vermieden werden kann.
(Quelle: KPMG)



Wie weit ist die Wissenschaft beim Tunnelbau im Gipskeuper?

- Die Entwicklung von Rechenmodellen und technischen Lösungen zum Tunnelbau im Anhydrit befindet sich letztlich noch in einer Frühphase. (Kirschke, 2014)
- Gemäß dem aktuellen Stand der Wissenschaft gibt es bisher keine gesicherte bautechnische Lösung für den Tunnelbau im Gipskeuper welche die im Ingenieurbau üblichen Anforderungen (...) erfüllen würde. (KPMG 2016)

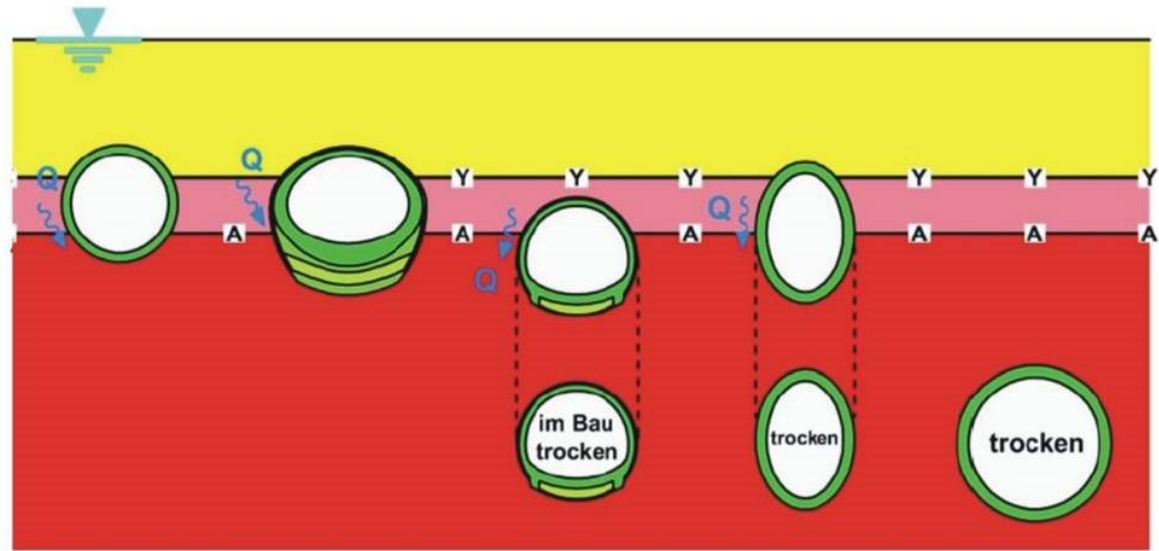
Erfahrungen beim Tunnelbau im Gipskeuper



	<u>Schanztunnel</u>	<u>Kappelesbergt.</u>	<u>Wagenburgt.</u>	<u>Heslach II</u>	<u>Belchentunne</u>
	~ 1880	~ 1880	~ 1957	~ 1988	~ 1966
Hebungen:	ja	ja	ja	ja	ja
Schäden:	ja	ja	ja	nein	ja
Strecke im Anhydrit (km)	0,4	0,2	0,3	0,6	1,4

Quelle:
KPMG-
Gutachten,
Rauh 2009

Erfahrungen beim Tunnelbau im Gipskeuper



Adlertunnel Engelbergbasist. Freudensteint. Hasenberg. Wendeschleife

~ 1999 ~ 1999 ~ 1990 ~ 1984 ~ 1977

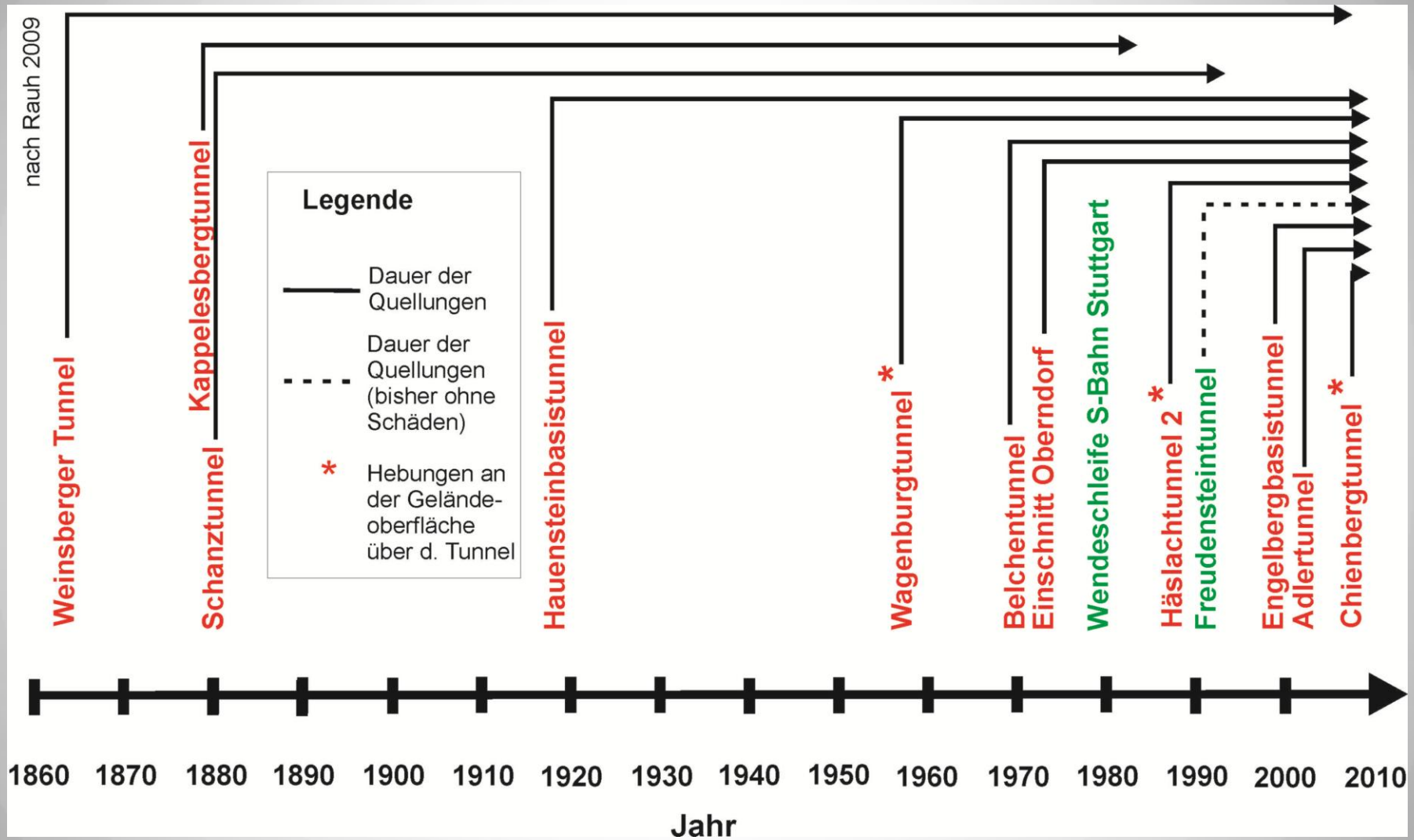
Hebungen: ja ja nein nein nein

Schäden: ja ja nein nein nein

Strecke im
Anhydrit (km) 1,0 0,5 5,0 0,5 1,0

Quelle:
KPMG-
Gutachten,
Rauh 2009

Wie lange kann Quellung andauern?



Erfahrungen beim Tunnelbau im Gipskeuper

Bisher im quellfähigen Gipskeuper gebaute Tunnellänge: ca. 10 km (Quelle Rauh, 2009)

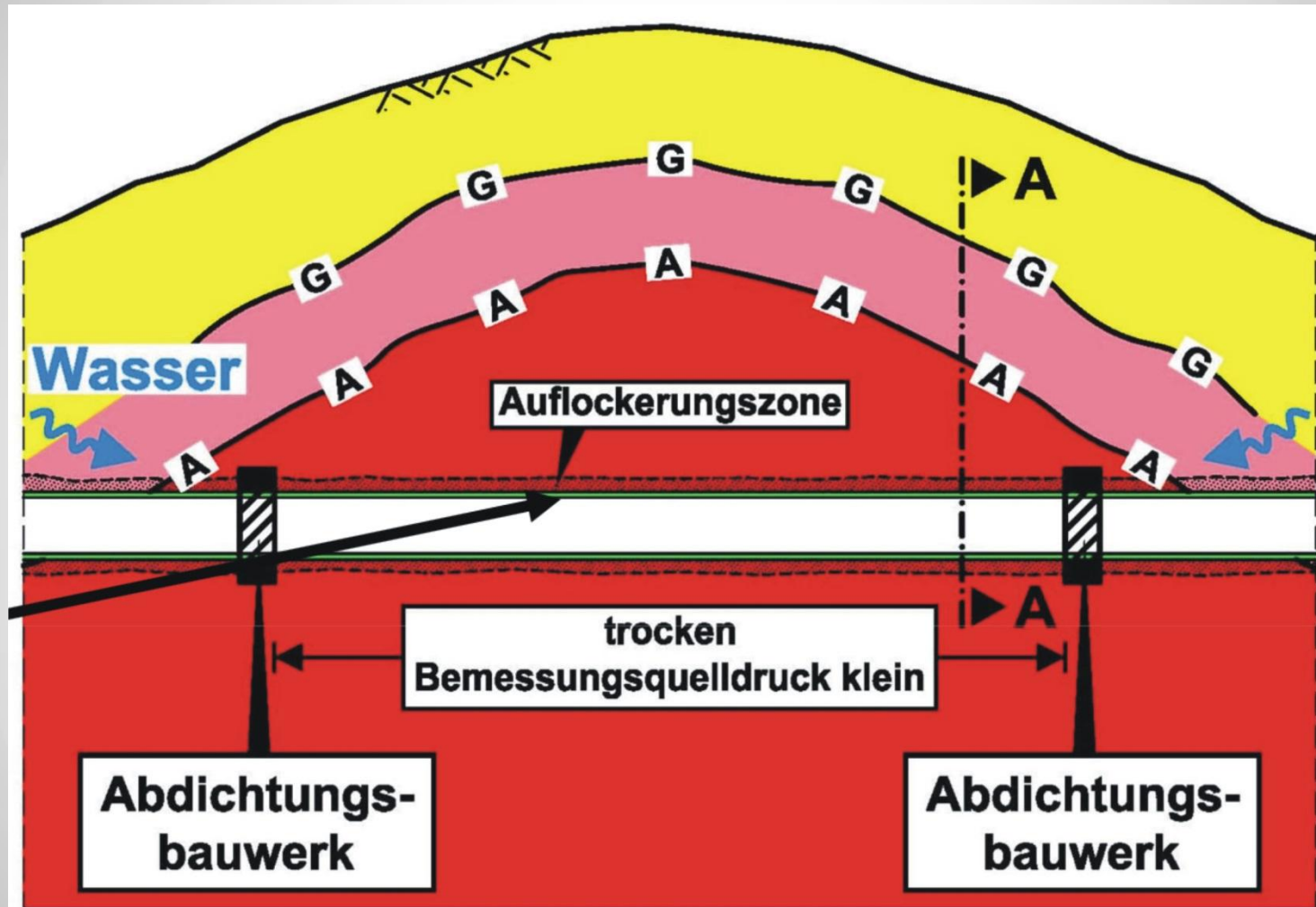
Im quellfähigen Gipskeuper geplante Tunnellänge bei S21: ca. 20 km (Quelle Wittke, 2012)

=> Doppelt so viel Kilometer als bisher in 150 Jahren Tunnelbaugeschichte durchfahren wurden.

Nur ein Gutachter für das Projekt

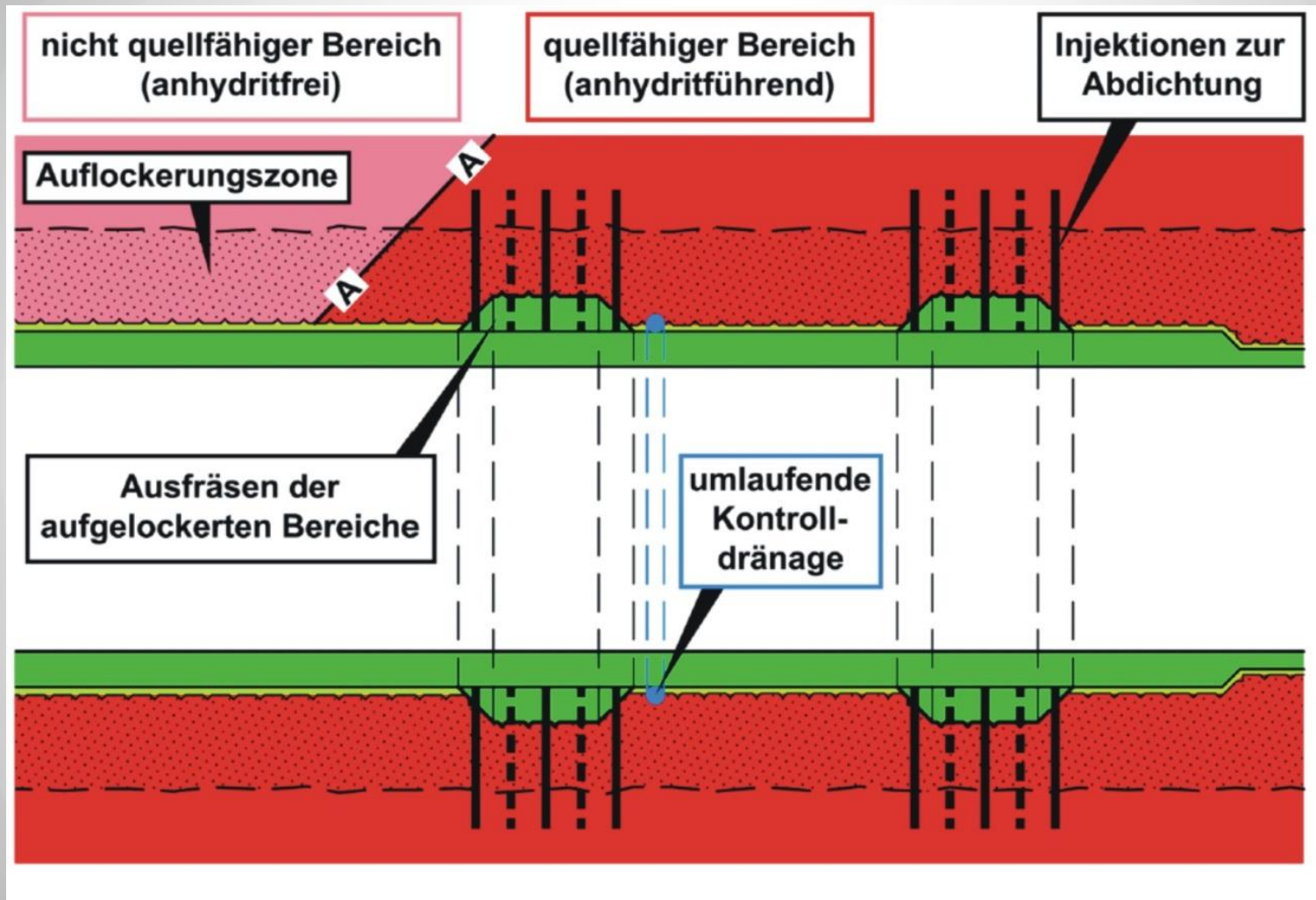
- **Gutachter und Planer:
Prof. Walter, Wittke, 82, Deutschlands
führende Tunnelbauingenieur
.... und seine Lösungsansätze**
- **Abdichtungsbauwerke (Injektionen von
Flüssigkleber)**
- **Selbstabdichtung des Gipskeupers beim Quellen**
- **Trockener Tunnelbau**
- **Hasenbergstunnel und Wendeschleife funktionieren**
- **Große Erfahrung im Tunnelbau in Stuttgart**

Abdichtungsbauwerke



Quelle: Wittke, 2010

Abdichtungsbauwerke



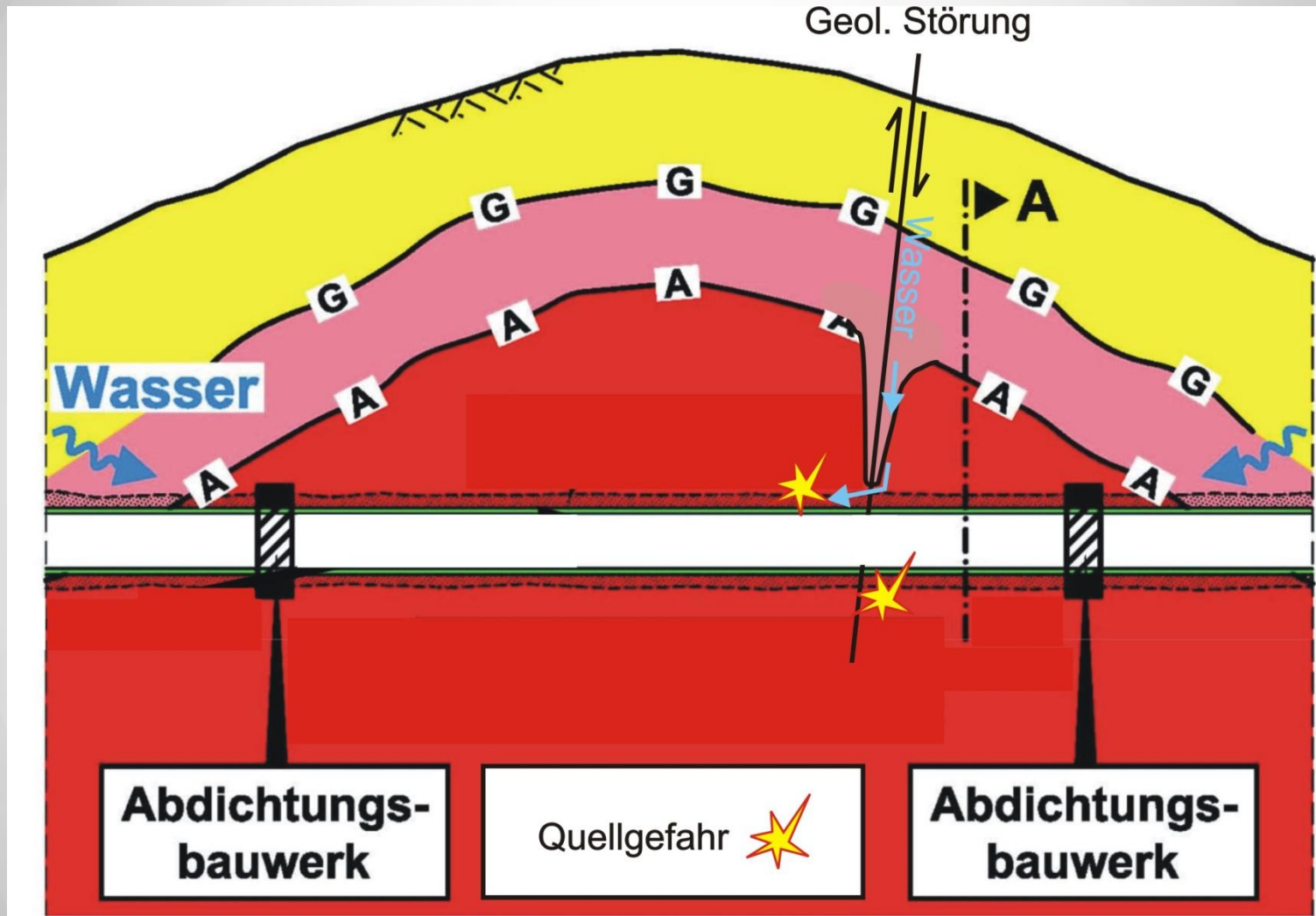
Quelle: Wittke, 2010

Was können Abdichtungsbauwerke?

- **Wo ein Tunnel einen wasserführenden Horizont anschneidet, lässt sich ein Vordringen des Wassers in trockene Bereiche selbst mit aufwändigen Abdichtungsinjektionen nicht verhindern. (Quelle: Kirschke 2014)**



Wasserzutritt zwischen den Abdichtungen



Quelle: Wittke, 2010

Was können Abdichtungsbauwerke?

- **Wo wurde ein Abdichtungsbauwerk schon im Gipskeuper gebaut?**
- **Hat es funktioniert und wenn ja, wie lange schon?**
- **Wie wird sichergestellt, dass wasserführende Störungszonen, die nah ans Tunnelbauwerk heranreichen, erkannt werden?**



Die Selbstabdichtung

- **Hypothese: Beim Quellen verursacht das Gipskeupergestein einen so hohen Druck, dass es sich dadurch selbst abdichtet.**
(Kirschke, 1993)
- **Wurde diese Hypothese bisher bestätigt?**
- **Warum dichten sich dann nicht alle Schadensfälle im Gipskeuper selbst ab?**



Die Selbstabdichtung

- Weiterentwicklung der Selbstabdichtungshypothese durch Wittke:
- Rechnerische Simulation der Selbstabdichtung als Lösung des Quellproblems.
- Es gibt nach wie vor kein konsistentes Stoffgesetz für das Anhydritschwellen (Kirschke 2014)
- Das Gebirge weiß naturgemäß nichts davon, dass irgendwo seine Selbstabdichtung beschlossen wurde (Kirschke 2014)



Trockener Tunnelbau

- **Vortrieb des Tunnels ganz ohne Wasser-Einsatz**
- **Nachteil: Hohe Staubbelastung der Arbeiter, starker Geräte-Verschleiß, längere Bauzeit**
- **Die Erfahrung zeigt, dass „Tunnelbau ohne Wasser“ nicht möglich ist. Insofern halten wir es nicht für realistisch, dass das Quellen des Anhydrits mit absoluter Sicherheit vollständig vermieden werden kann. (Quelle: KPMG, 2016)**



Wasserzutritte



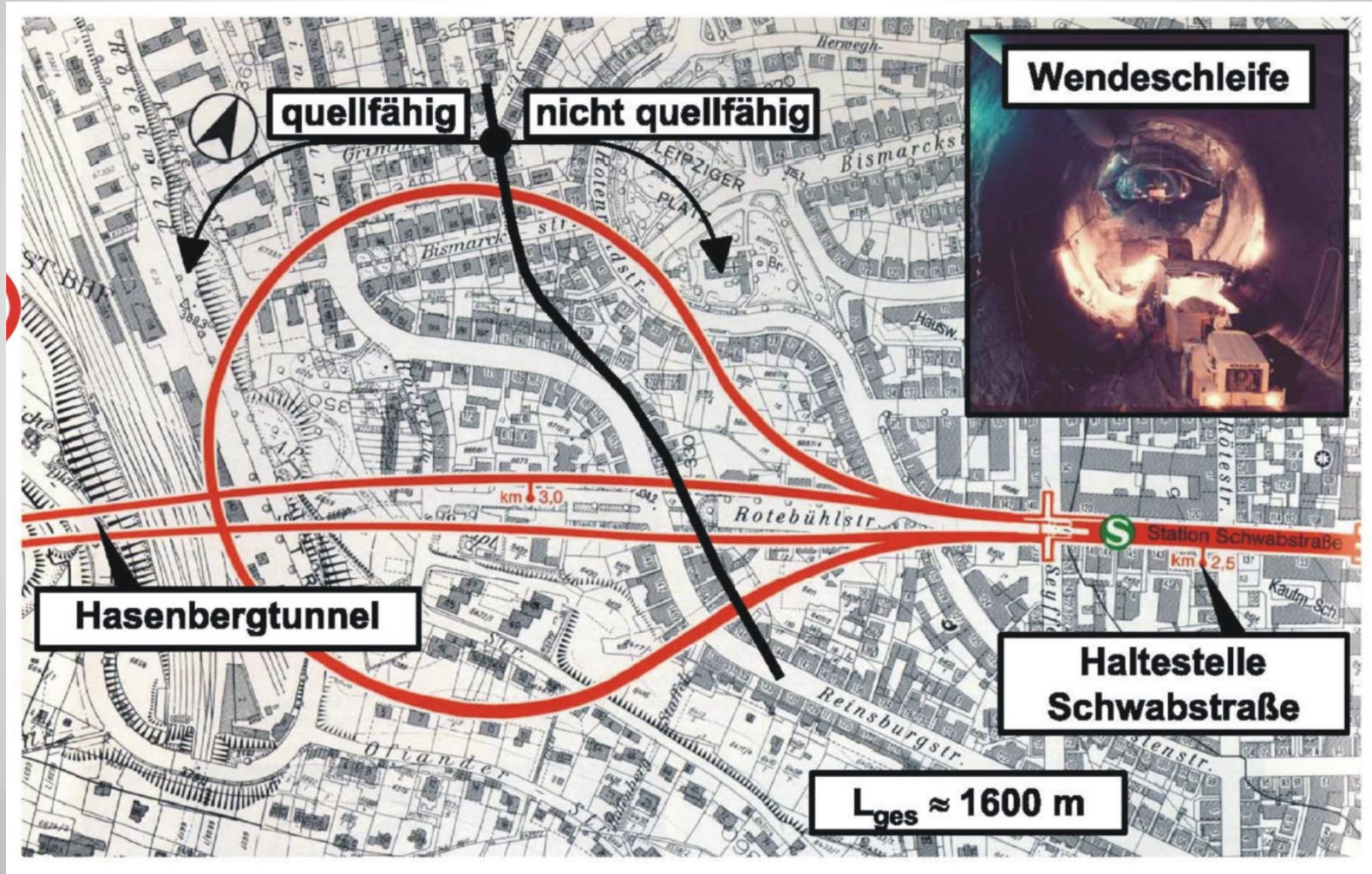
Wasserzutritt im Tunnel nach Obertürkheim 17.08.2016, Quelle KPMG

Wendeschleife und Hasenbergtunnel funktionieren

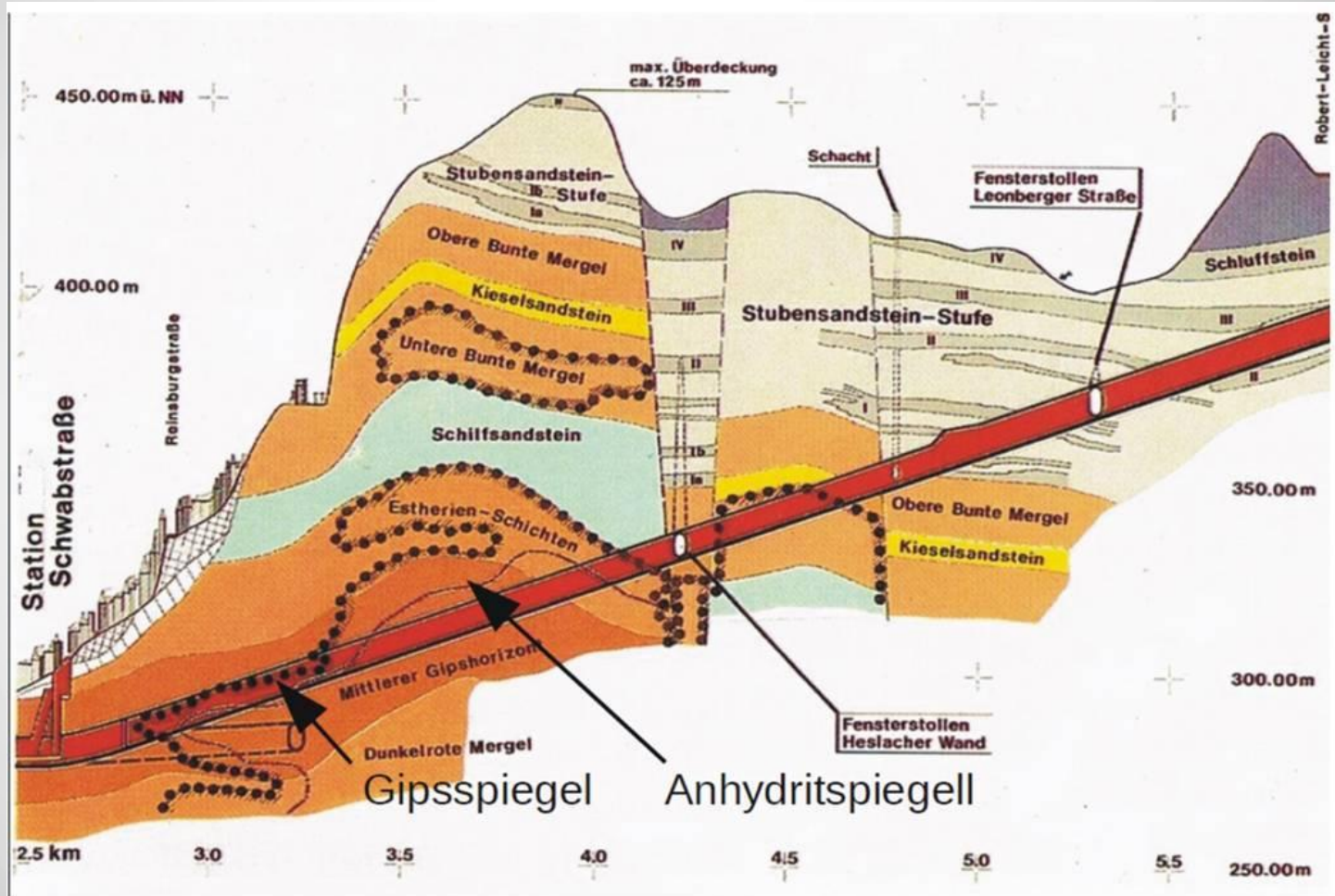
- Die beiden von Wittke begleiteten Projekte Hasenbergtunnel und Wendeschleife/Schwabstr. zeigen bisher keine Quellprobleme.
- Glücklicher Umstand: Der komplette Bau beider Projekte ist ohne Zutritt von Gebirgswasser verlaufen.
- Beide Tunnel befinden sich ungefähr am selben Ort



Lage der Wendeschleife



Geologie der Wendschleife



Quelle: Behmel 2016

Erfahrungen im Tunnelbau im Stuttgart

- **Prof. Wittke führte wiederholt aus, dass es eine große Erfahrung im Tunnelbau in Stuttgart gäbe....**
- **... Wie sind die Erfahrungen im Gipskeuper?**



Es wurden schon viele Tunnel in Stuttgart gebaut...

Schiene

Fern- und Regionalbahn

- 1 **Pragtunnel**
- 2 **Rosensteintunnel**

Gäubahn:

- 3 **Kriegsbergtunnel**
- 4 **Hasenbergstunnel**
- 5 **Berghautunnel**
- 6 **Schnarrenbergtunnel**

Murrbahn:

- 7 **Schwaigheimer Tunnel**

Gleisdreieck:

- 8 **Langes-Feld-Tunnel**

Stadtbahn

- 9 Tunnel Fasanenhof (U6)
- 10 **Messtunnel (U7)**
- 11 **Waldautunnel (U7)**
- 12 **Tunnel Botnang (U9)**
- 13 **Tunnel Zuffenhausen (U15)**

S-Bahn

- 14 **Wendeschleife**
- 15 **Hasenbergstunnel**
- 16 **Flughafentunnel**

Straße

- 17 **Schwabtunnel**
- 18 **Wagenburgtunnel**
- 19 **Engelbergtunnel (BAB A8)**
- 20 **Engelbergbasistunnel (BAB A8)**
- 21 **Heslacher Tunnel I (B14)**
- 22 **Heslacher Tunnel II (B14)**
- 23 **Viereichenhautunnel (B14)**
- 24 **Gäubahntunnel (B14)**
- 25 **Österfeldtunnel**

Sonstige


- 26 **Neckardüker Münster**
- 27 **Zuckerbergstollen**
- 28 **Neckardüker Hafen Stuttgart**
- 29 **Neckardüker Simau**



Quelle: Wittke

Welche Tunnel liegen wirklich im quellfähigen Gipskeuper?

<u>Schiene</u>		<u>Straße</u>
<u>Fern- und Regionalbahn</u>	<u>Stadtbahn</u>	● 18 Wagenburgtunnel
		● 20 Engelbergbasistunnel (BAB A8)
		● 22 Heslacher Tunnel II (B14)
	<u>S-Bahn</u>	<u>Sonstige</u>
	● 14 Wendeschleife	
	● 15 Hasenberg tunnel	

 **Quelle: Wittke**

Risikobewertung durch KPMG

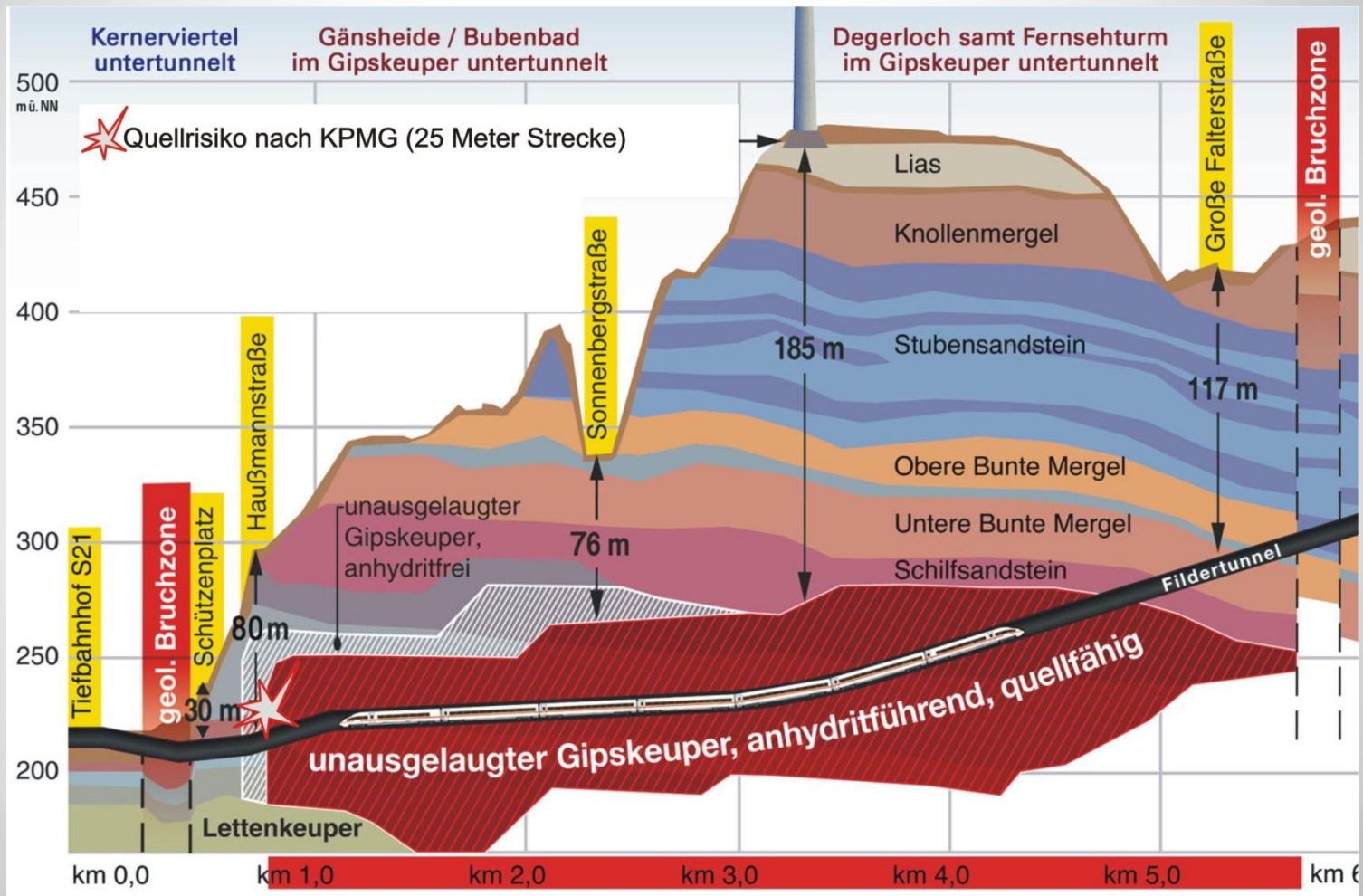
- **Der Bauherr muss sich bewusst sein, dass bei jedem Tunnel im Anhydrit inhärent ein im Ingenieurbau unüblich großes Risiko für die Betriebstauglichkeit besteht. (KPMG 2016)**
- **Die Risikobewertung betrachtet nur die Bauphase**
- **Und was ist danach?**



Welche Tunnelstrecken sind riskant?

Tunnel im Anhydrit				
PFA / Tunnel / Achse	Länge total	Anhydrit	U-Profil	Kritische Bereiche
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]
PFA 1.5				
Tunnel Feuerbach (Los 2)				
Achse 251 (West)	2.900	1.300	1.000	470
Achse 258 (Ost)	2.900	1.400	1.100	480
Tunnel Bad Cannstatt (Los 3)				
Achse 137/136 (West)	2.800	225	180	190
Achse 177/176 (Ost)	2.700	190	55	60
PFA 1.2				
Fildertunnel				
Ost-Röhre	9.500	3.990	--	25
West-Röhre	9.500	3.990	--	25
PFA 1.6a				
Tunnel Ober-/Untertürkheim				
Achse 261 (Ost, Obertürkheim)	5.300	2.105	--	0
Achse 262 (West, Obertürkheim)	5.200	2.090	--	10
Achse 213 (Ost, Untertürkheim)	700	--	--	--
Achse 214 (West, Untertürkheim)	700	--	--	--
Bemerkungen:				
Längenangaben aus Längsschnitten bestmöglich abgeschätzt.				
Definition kritische Bereiche: Anhydritspiegel in der unteren Hälfte des Tunnelquerschnittes und Überlagerung ≤ 80 m.				

Quelle: KPMG 2016



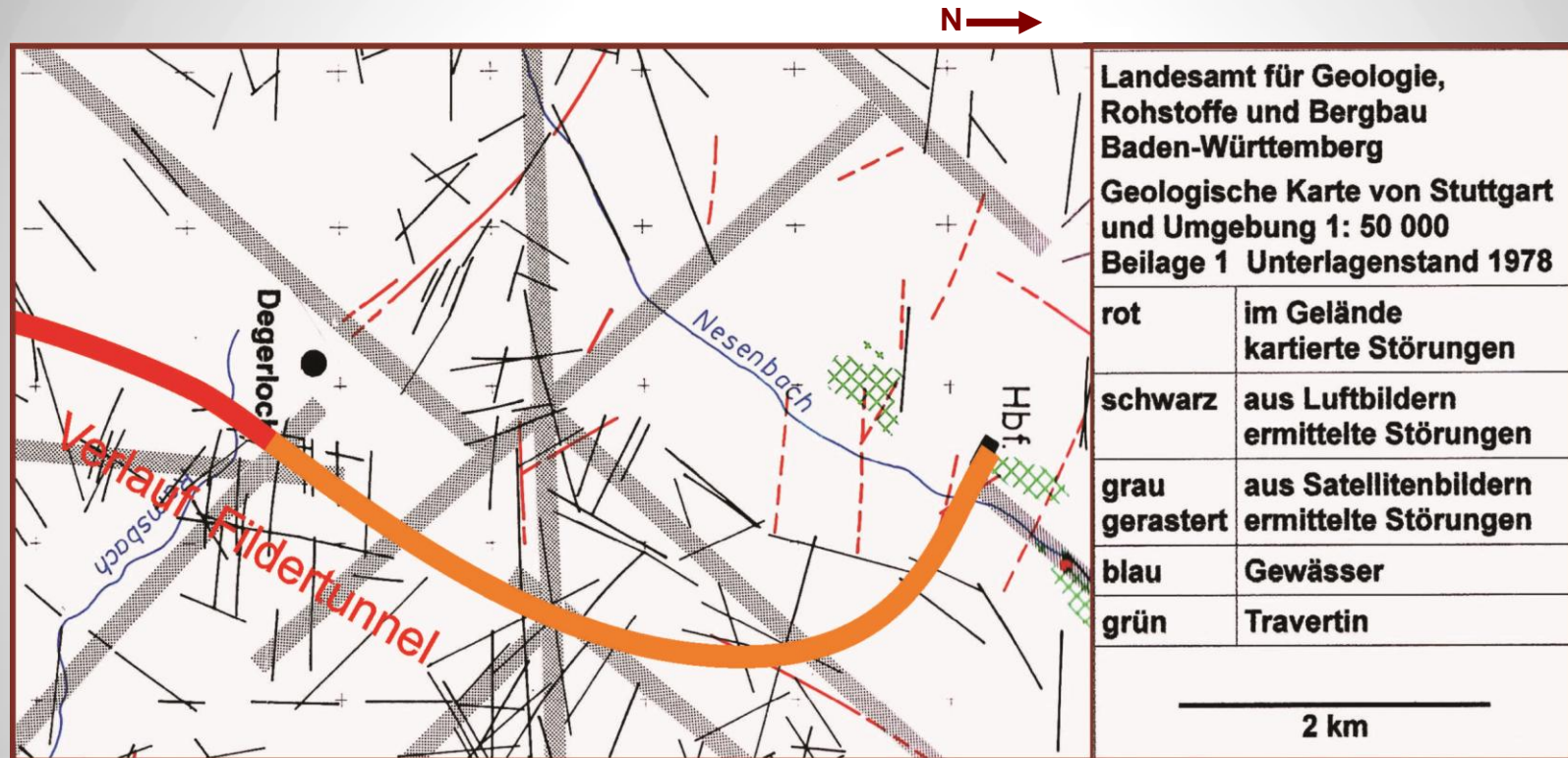
Bewertung Fildertunnel

Aufschlüsselung "Risiko 3A"

PFA / Tunnel / Achse		ETW	Schadens- ausmaß
[-]		[%]	[Mio.€]
PFA 1.5	Los 2	Achse 251	4.5-13.5
		Achse 258	4.5-13.5
	Los3	Achse 137	2.0-6.0
		Achse 177	0.5-1.5
PFA 1.2	Ost	0.5-1.5	195
	West	0.5-1.5	195
PFA 1.6a	Achse 262	0.5-1.5	195

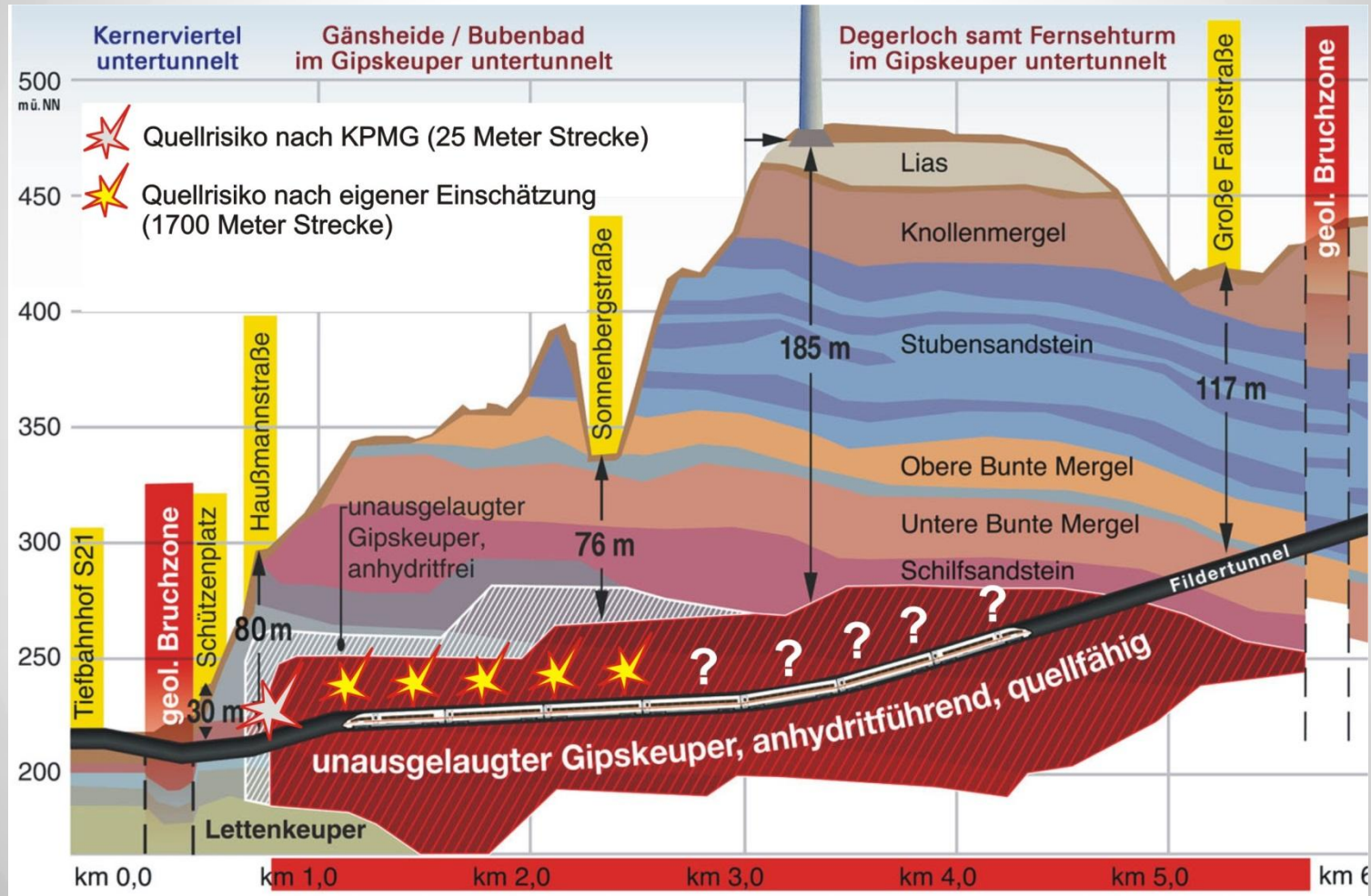
Definition Risiko (3A): Während Rohbau, Bahntechnik oder IBN-Phase zeigen die geodätischen Kontrollmessungen in lokal begrenzten Abschnitten Sohlhebungen an, die längerfristig den Bereich von 10 cm übertreffen werden. Der Bahnbetrieb ist somit nicht mehr gewährleistet.

Potentielle Wasserzutritte beim Fildertunnel



Geologische Störungen sind potentielle Wasserzutritte im Fildertunnel

Risiken im KPMG-Gutachten bezüglich Fildertunnel unterbewertet



- **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
Gipskeuper-Sanierungsfall Adlertunnel**

