



Vorauserkundung im Tunnelbau.

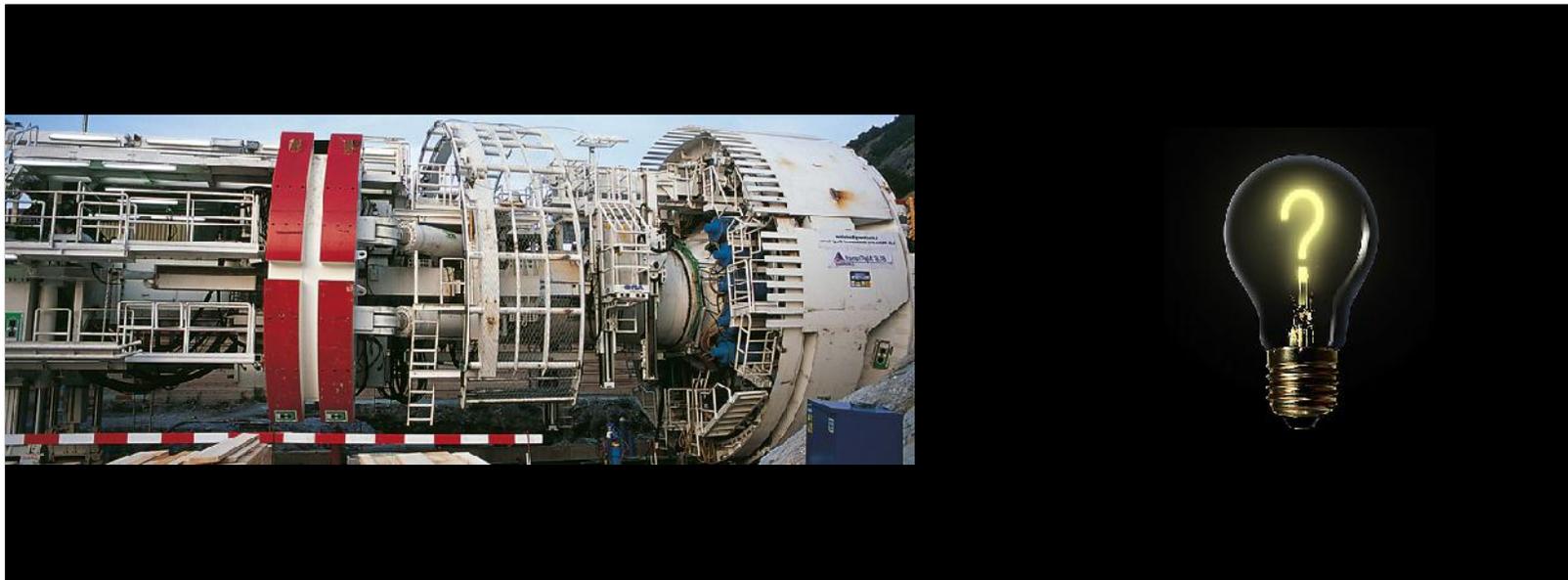
Thomas Edelmann
Vorauserkundung & TBM-Datenmanagement
F&E BU TT

1 Bochum, 30.09.2013

PROBLEM:



*Vor der Hacke
ist es dunkel !*



AGENDA

A - Geophysikalische Standardmaßnahmen zur Trassenerkundung von der GOK aus.

1. Refraktions-/Reflexionsseismik
2. Gravimetrie
3. Geoelektrik
4. Seismische Tomographie/Bohrlochradar

B - Vortriebsbegleitende Erkundungsmaßnahmen.

1. Wettbewerb
 - a. Tunnel Seismic Prediction (TSP)
 - b. Geothermal Diagnosis in Tunnels (GDT)
 - c. Bore-Tunnelling Electrical Ahead Monitoring (BEAM)
2. HK-Portfolio
 - a. Integrated Seismic Imaging System (ISIS)
 - b. Sonic Softground Probing (SSP)
 - c. Measurement While Drilling (MWD)
 - d. Bohrlochradar (Bo-Ra-tec)

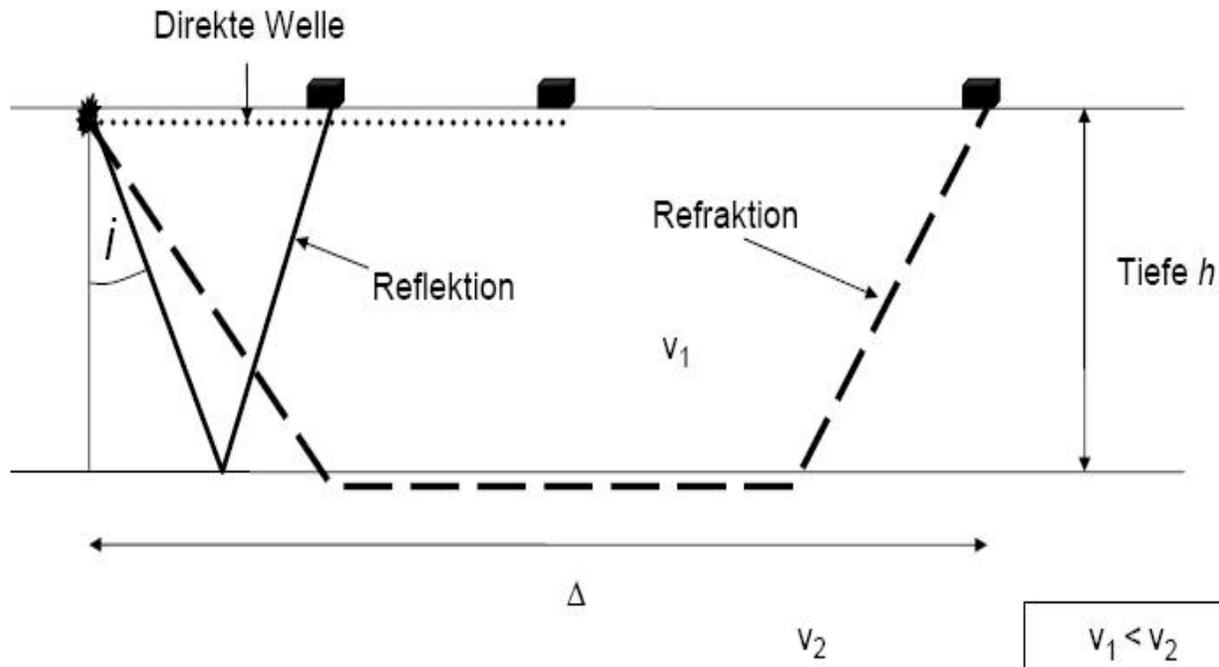
C – Fakten Methodenüberblick.

D - Ausblick.

A - Geophysikalische Standardmaßnahmen zur Trassenerkundung.

1. Refraktions-/Reflexionsseismik
2. Gravimetrie
3. Geoelektrik
4. Seismische Tomographie/Bohrlochradar

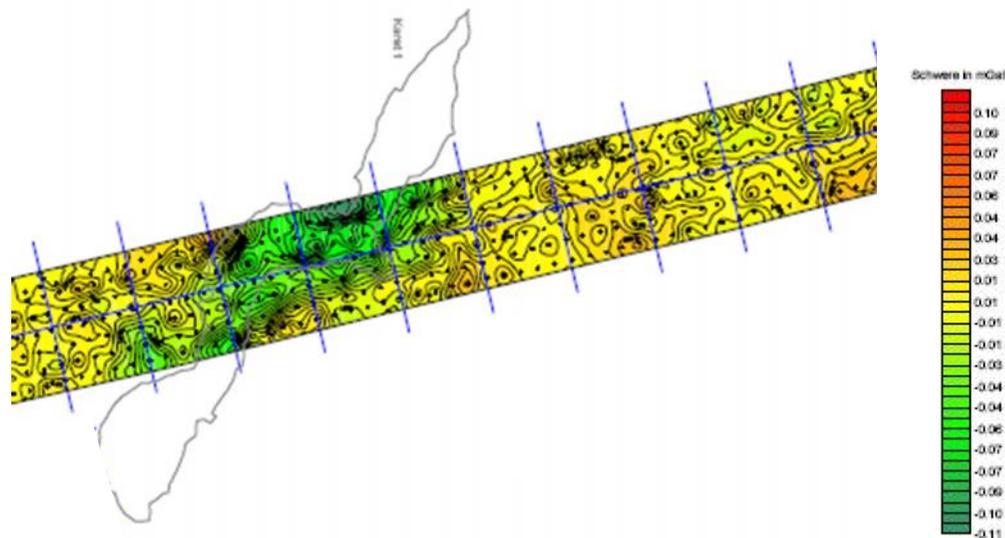
A1. Reflexions-/Refraktionsseismik.



Geometrie des Reflexions/Refraktionsexperiments. Drei Phasen werden bei größeren Distanzen beobachtet: die direkte Welle, die reflektierte Welle und die refraktierte Welle.

A2. Gravimetrie.

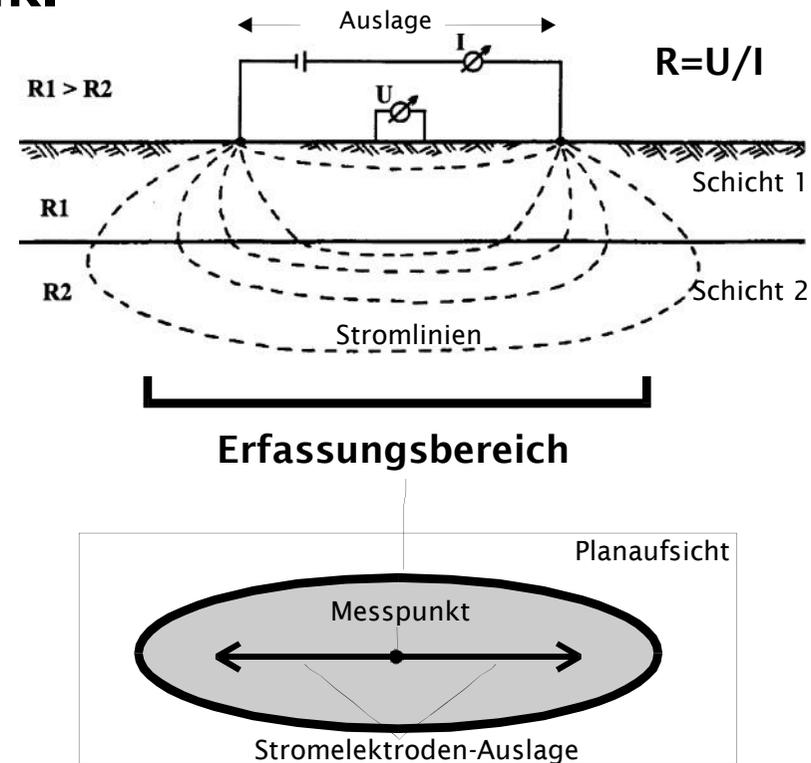
- hochempfindliche Messung der Schwerebeschleunigung
- Dichte-Inhomogenitäten z.B. wie Hohlräume (Massendefizite) ergeben „Anomalien“ des Schwerefeldes



Beispiel: Blesbergshöhle/Thüringen

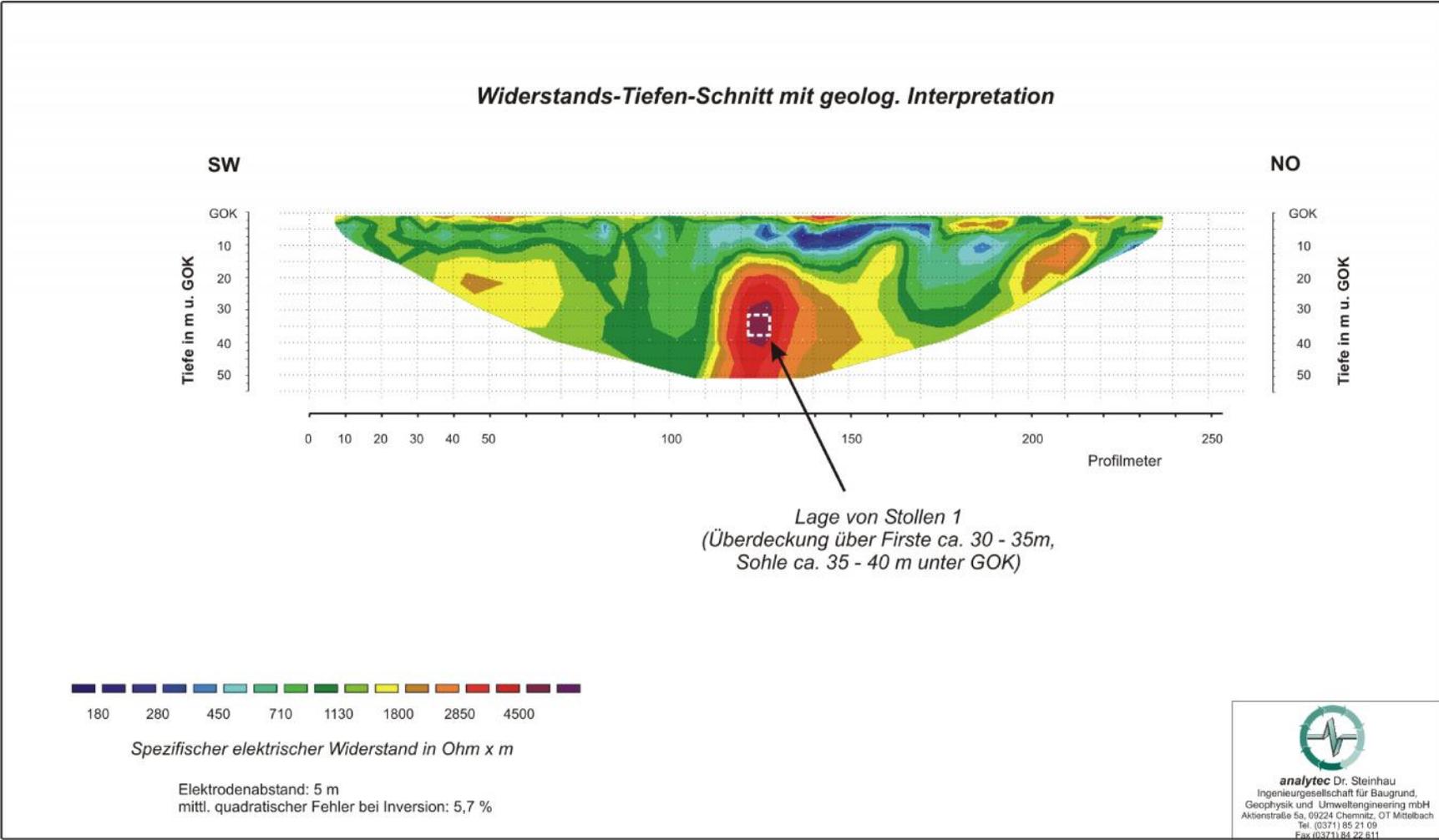


A3. Geoelektrik.



- Für Tiefenerfassung bis 30 m: Auslagen bis 150-200m.
- Zu erfassende Schicht muss im Erfassungsbereich durchgehend vorhanden sein.
- Mächtigkeit mindestens 30% ihrer Tiefenlage.
- lokale Objekte (Hohlräume) müssen entsprechend gross sein (Ausdehnung \geq Tiefenlage).
- Topographie innerhalb einer Messauslage sollte gleichmässig sein.

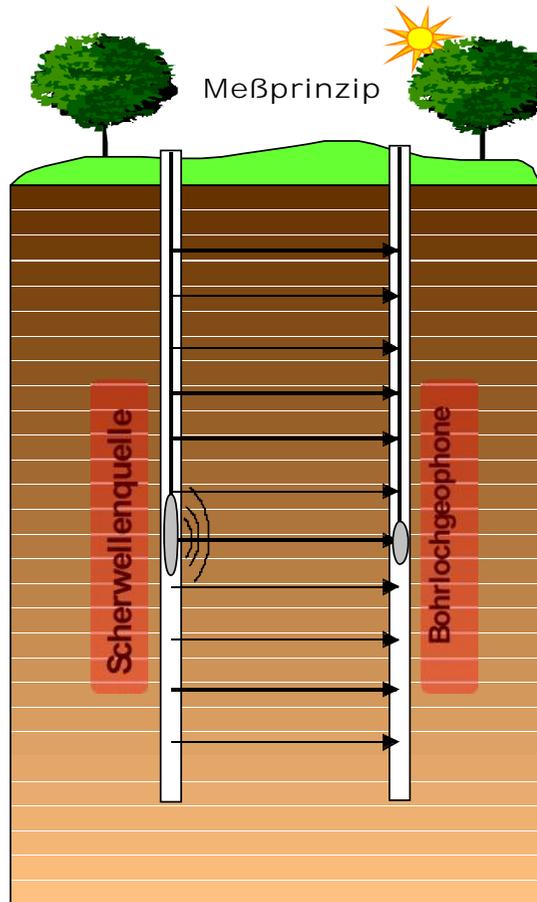
2D-Darstellung



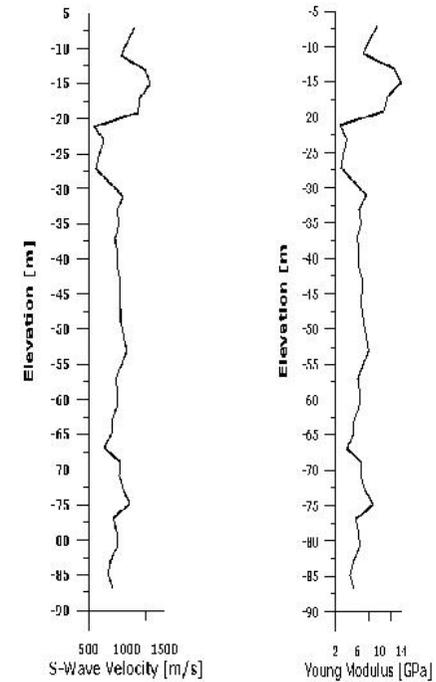
A4a. Seismische Tomographie.

Crosshole Messungen

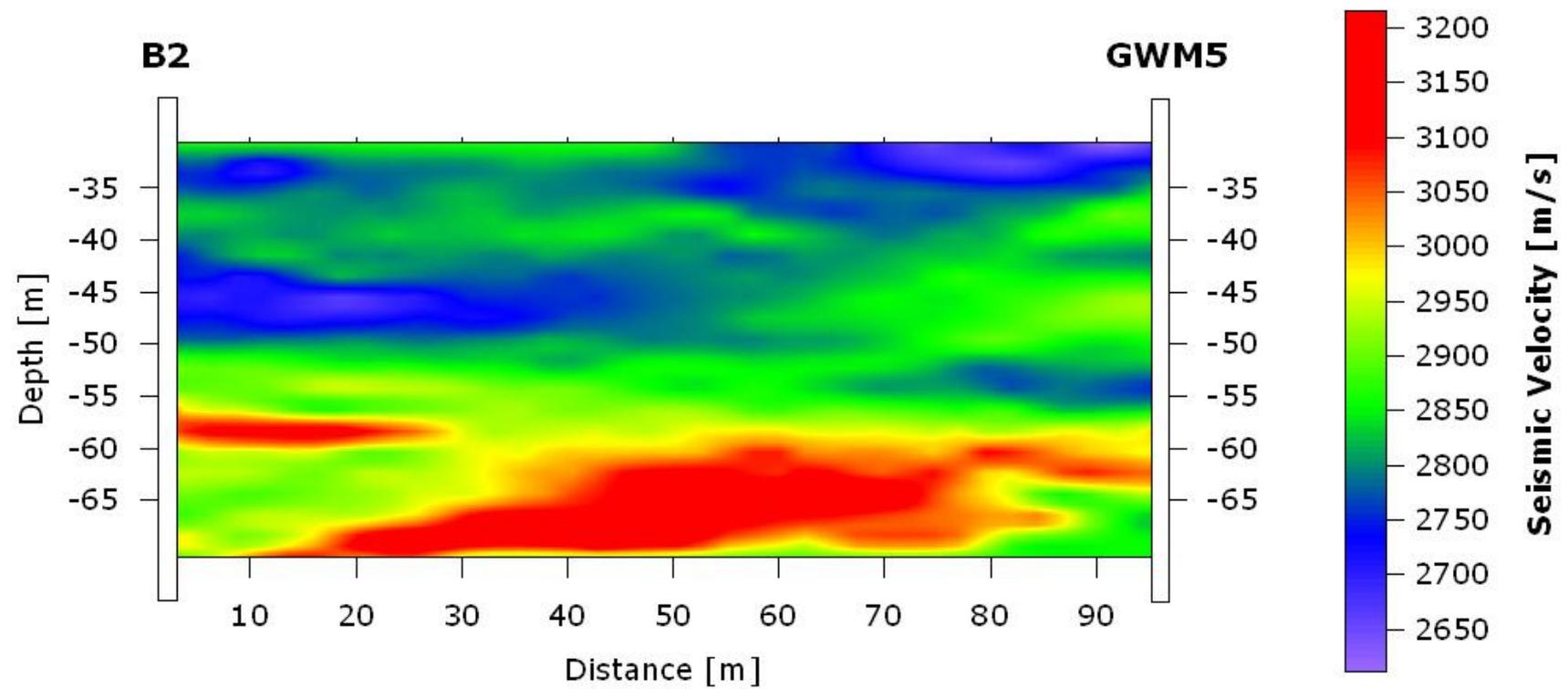
- Quellsignal:
- Sparker,
 - Sprengkapsel,
 - Vibrationsmodul etc.



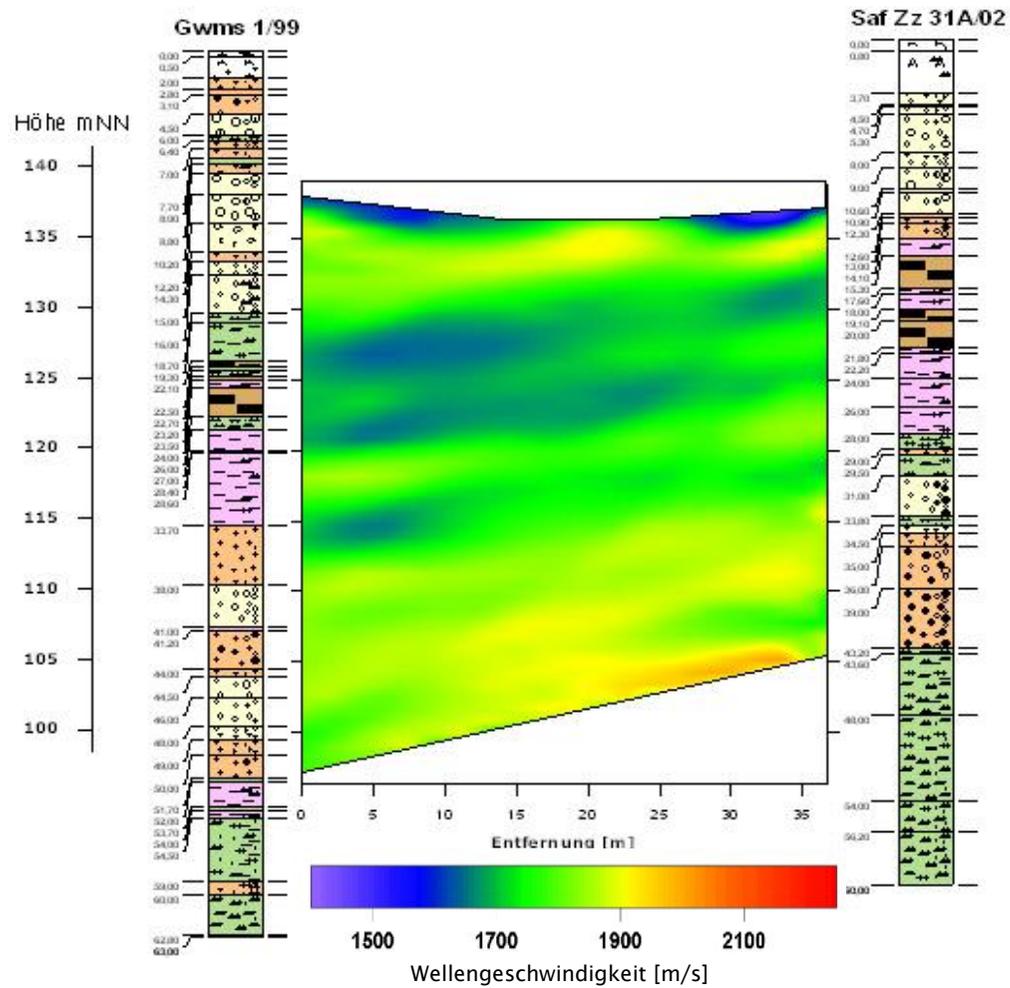
Ergebnis



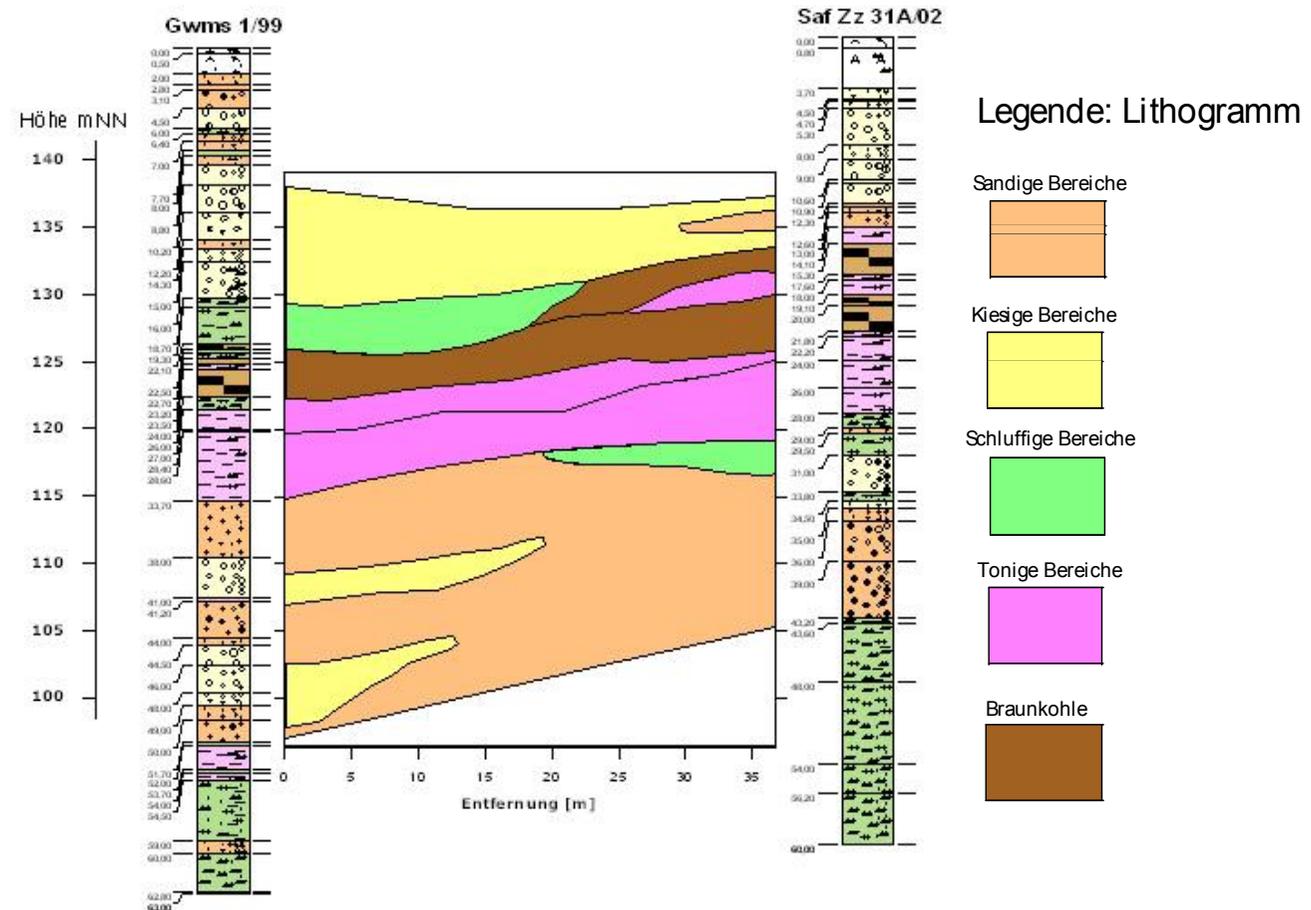
Anwendung im Festgestein



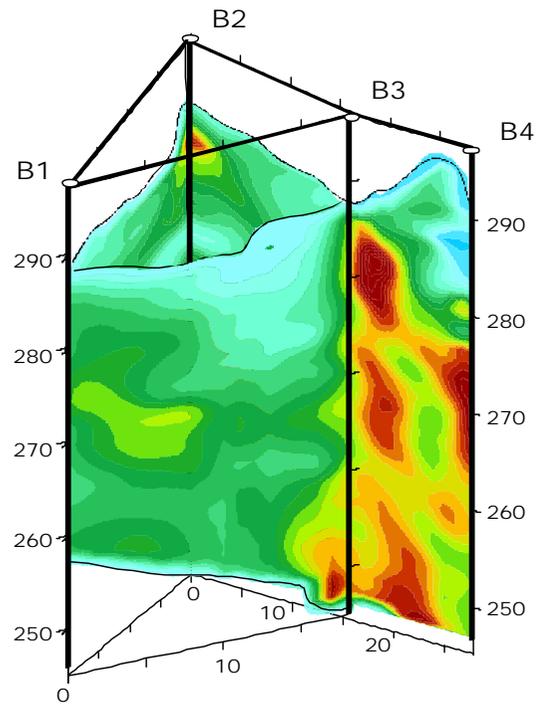
Anwendung im Lockergestein



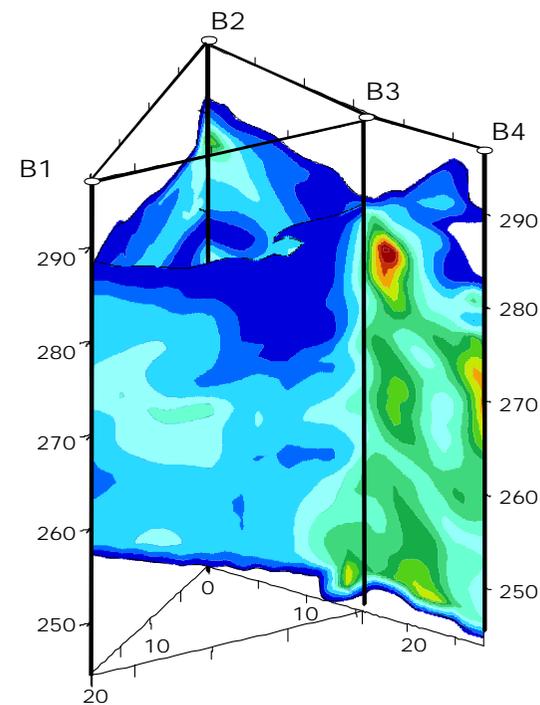
Anwendung im Lockergestein



Tomographie + Crosshole Messungen



1500 2300 3100 3900 >4700
Seismische Geschwindigkeit [m/s]



10 20 30 40 50 60
E-Modul [GPa]

Reichweite und Auflösung

- Festgestein bis max 100-200 m
- Lockergestein bis max 50-70 m
- Schall-Wellenlängen im Lockergestein ca. 2-4 m

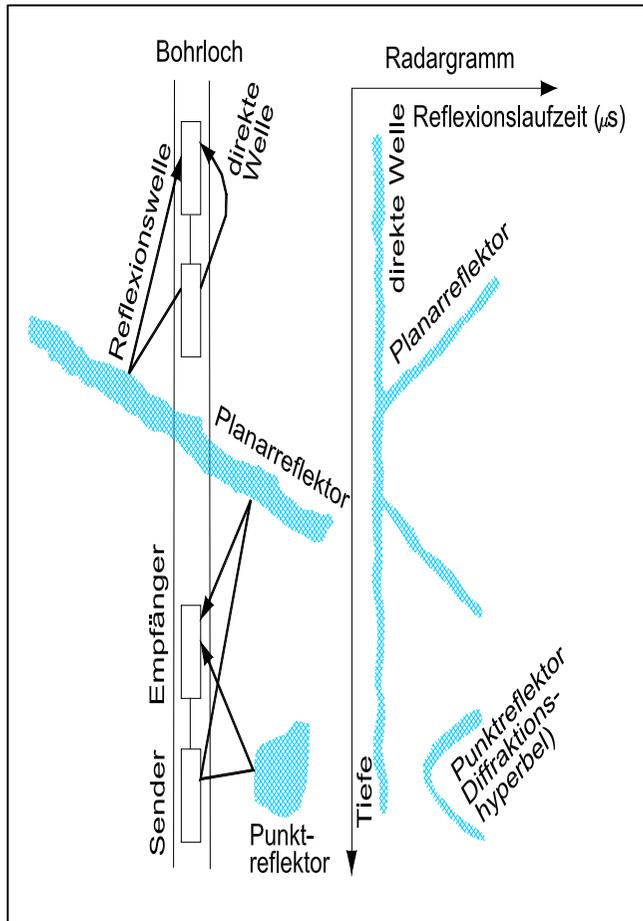
Anforderungen an Bohrungen

- 3“ Bohrungen, wassergefüllt
- Ankopplung an Gestein

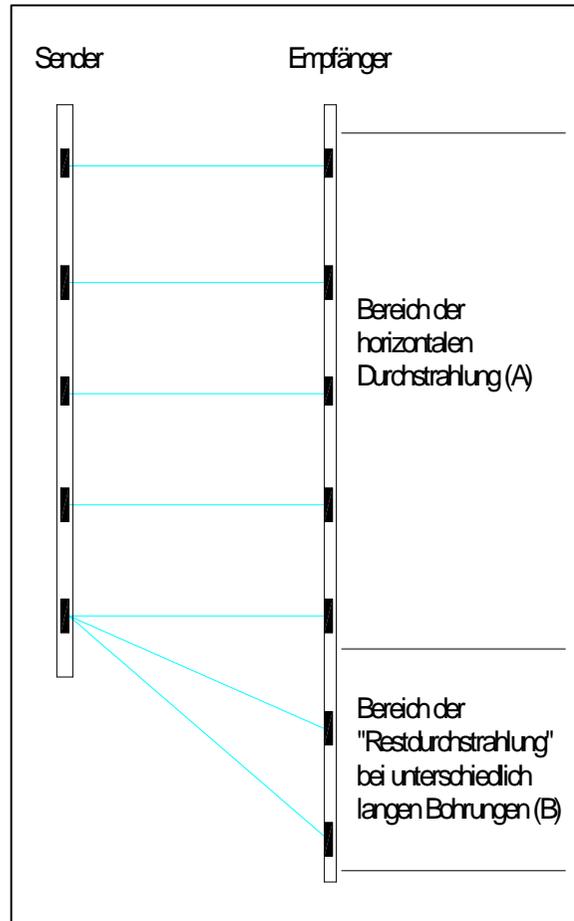
Tomographie zur Vorauserkundung

- Allgemeine Strukturerkundung zwischen Bohrungen (Einsetzbar bis 100 m Tiefe, Bohrlochentfernungen ca. 50 m)
- Hochauflösende Erkundung über kleine Bohrabstände (max. 10 m)
- Bestimmung dynamischer Bodenparameter (Schubmodul)

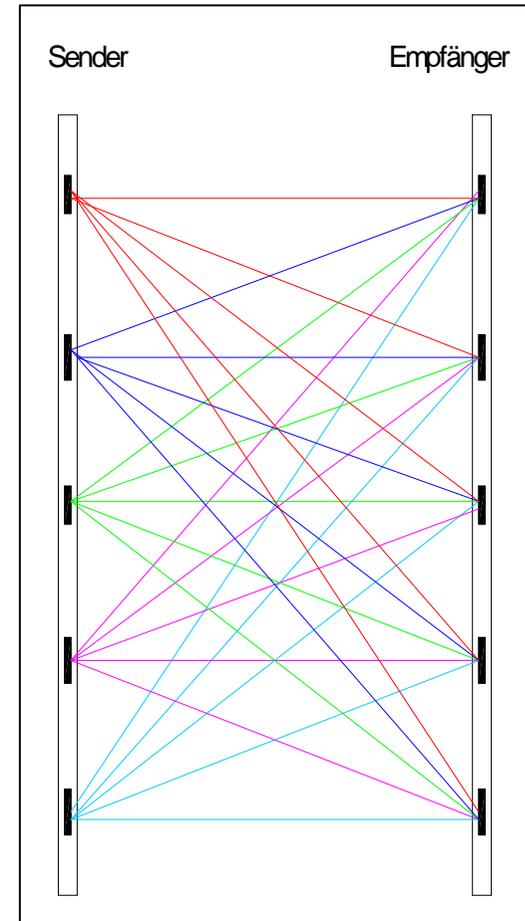
A4b. Bohrloch-Radar-Technologie: Messprinzipien.



A) Reflexionsmessung

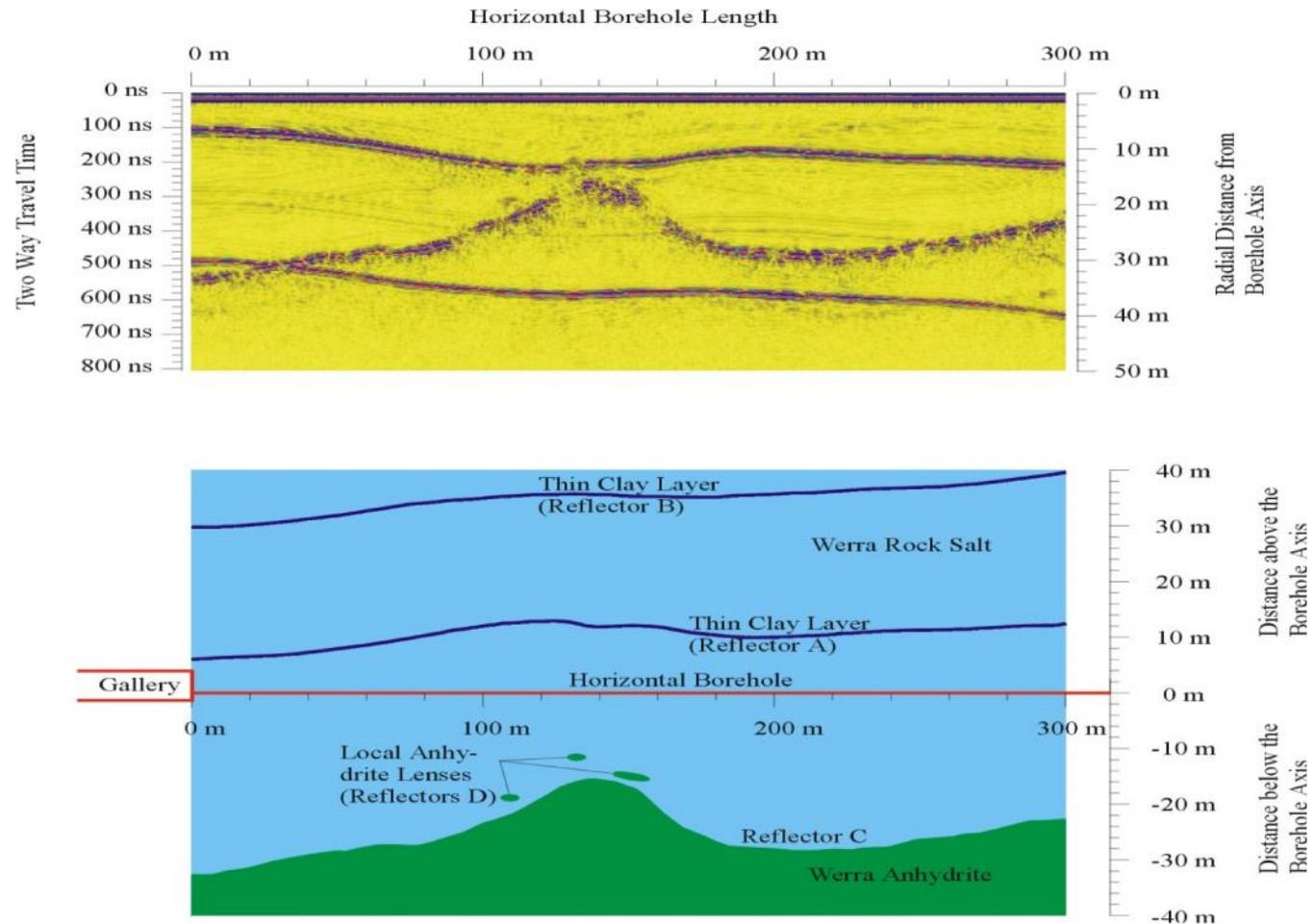


B) Durchstrahlungsmessung



C) Tomographische Messung

Geologische Vorfelderkundung im Berg- oder Tunnelbau.



A) Messdurchführung

B) Radargramm (oben) und geologischer Schnitt (unten) einer Bohrloch-Radar-Reflexionsmessung zur geologischen Vorfelderkundung im Salinarbergbau

Bo-Ra-tec GmbH

Lagerstättenerkundung und Lokalisierung von Verkarstungszonen in Sulfat- und Karbonatgesteinen.

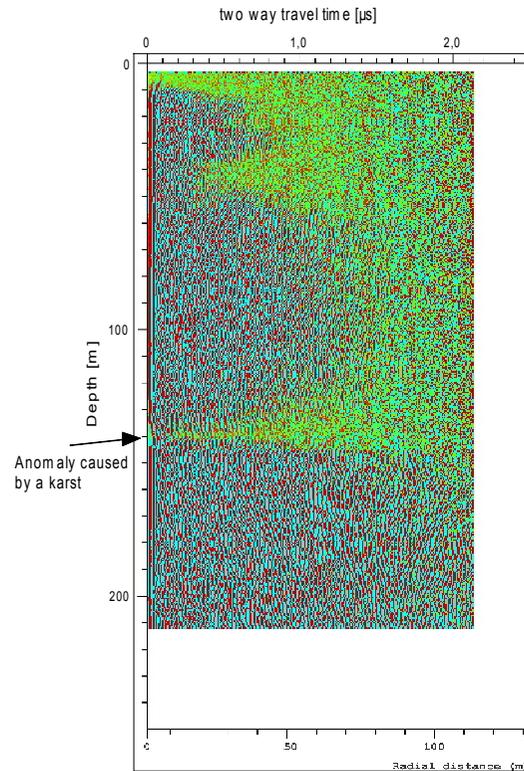
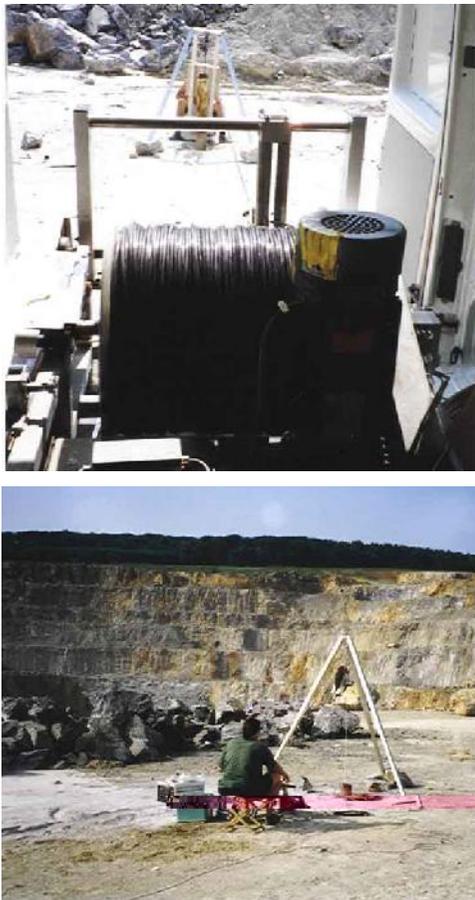


Figure A) Dipole reflection measurement in borehole B29.

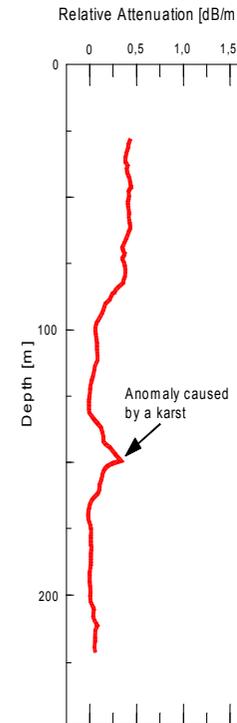


Figure B) Crosshole measurement between boreholes B25 and B29 which are separated about 130 metres.

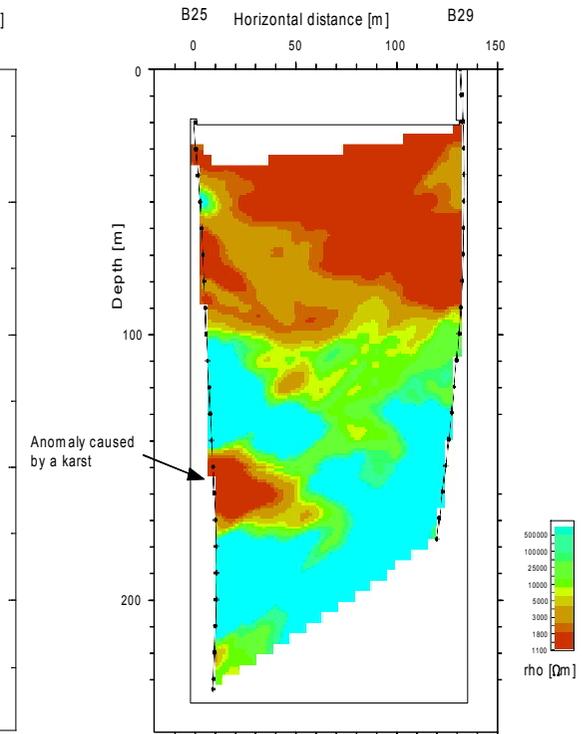


Figure C) Tomography between boreholes B29 and B25

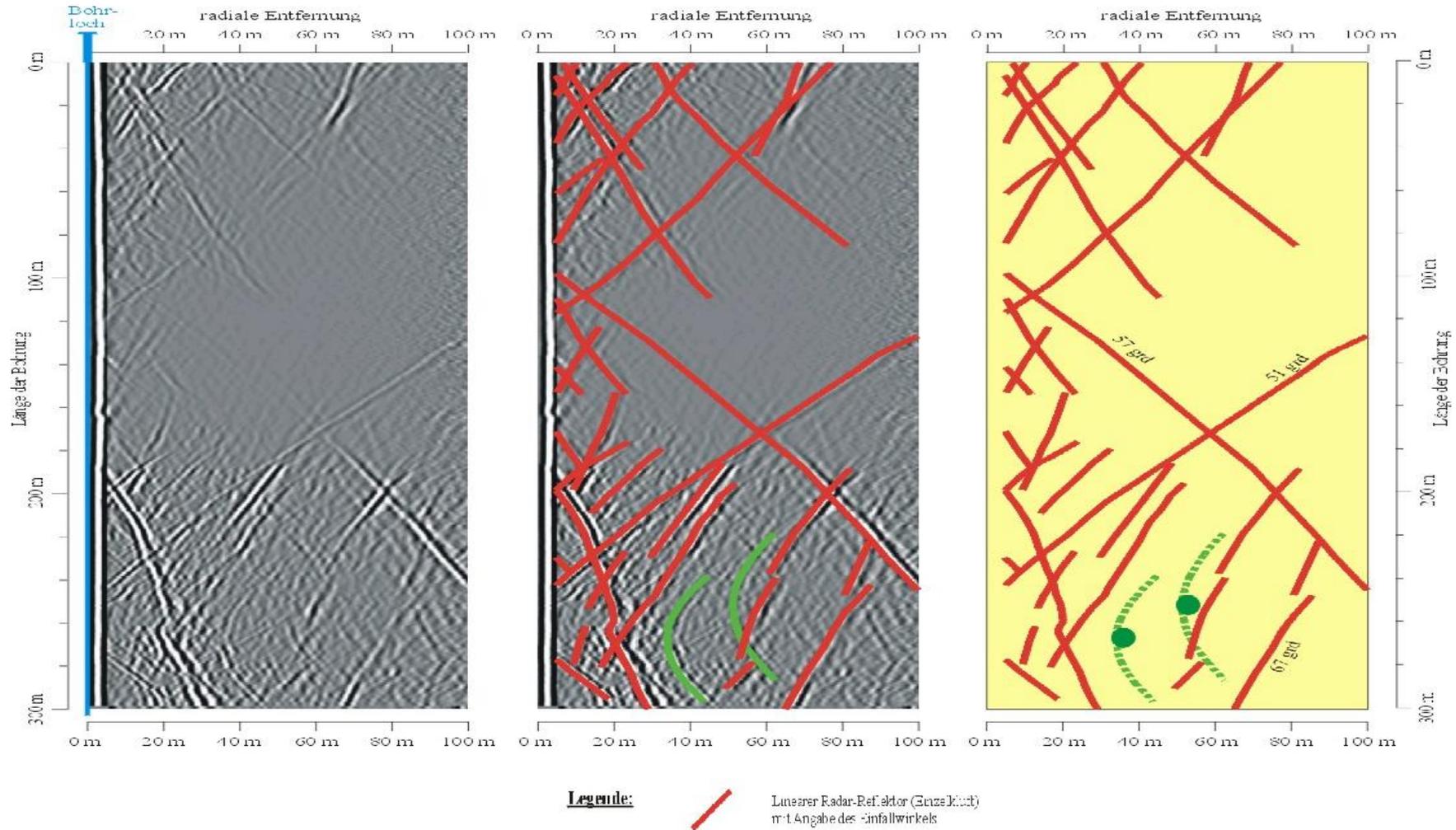
A) Messdurchführung

Bo-Ra-tec GmbH

B) Reflexions-, Durchstrahlungs- und tomographische Messungen zum Nachweis von großräumigen Verkarstungszonen in Kalksteinlagerstätten



Erkundung von Klüften und Verwitterungszonen.



Bohrloch-Radar-Reflexionsmessungen zur 3D-Erkundung von Klüften und Verwitterungszonen im Granit

Einsatzspektrum der Bohrloch-Radar-Technologie.

- Bergbau
- Steine und Erden / Steinbruchindustrie
- Hydrogeologie
- Ingenieurbau
- Umwelt

B - Vortriebsbegleitende Erkundungsmaßnahmen.

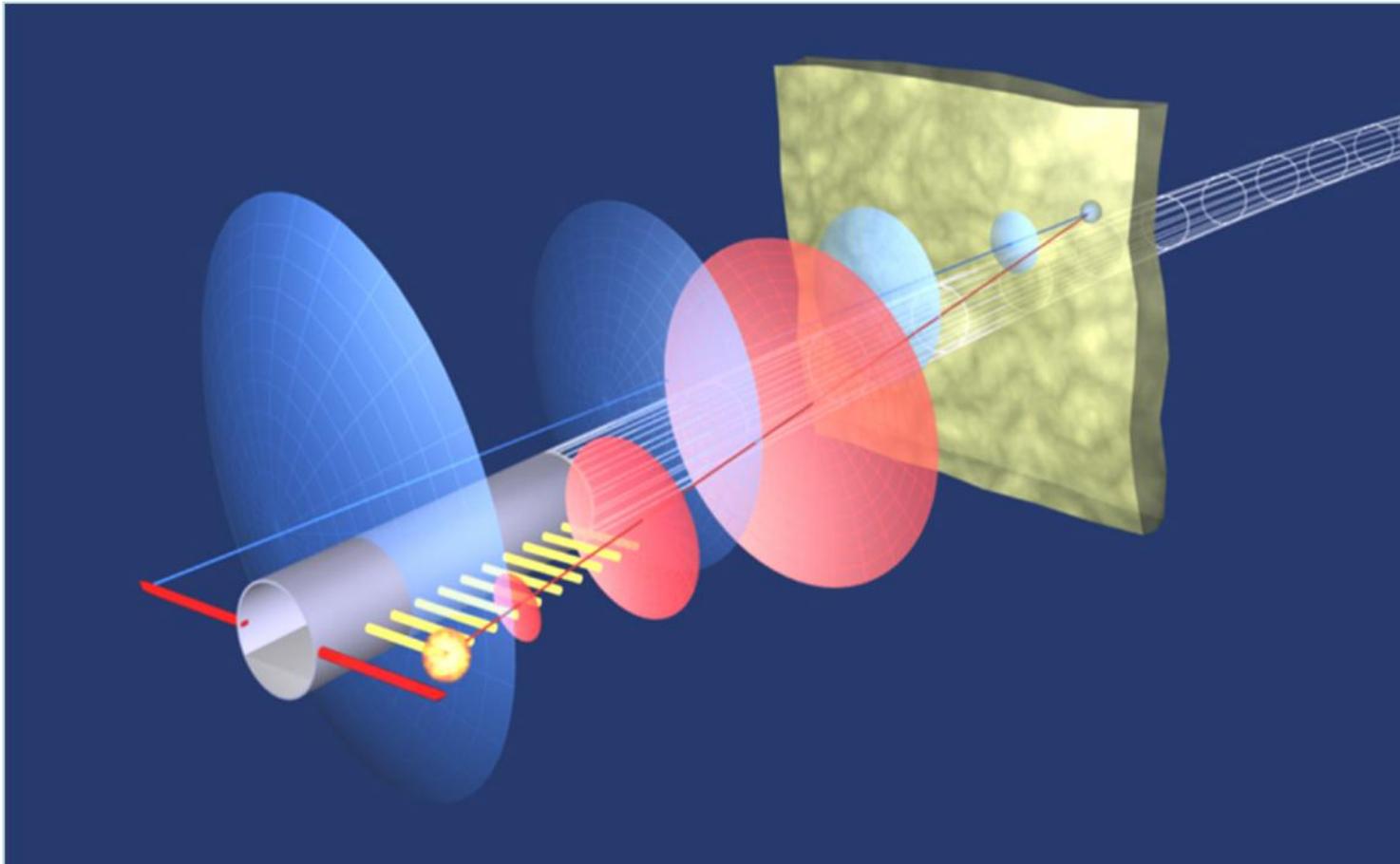
1. Wettbewerb

- a. Tunnel Seismic Prediction (TSP)
- b. Geothermal Diagnosis in Tunnels (GDT)
- c. Bore-Tunnelling Electrical Ahead Monitoring (BEAM)

2. HK-Portfolio

- a. Integrated Seismic Imaging System (ISIS)
- b. Sonic Softground Probing (SSP)
- c. Measurement While Drilling (MWD)
- d. Bohrlochradar (Bo-Ra-tec)

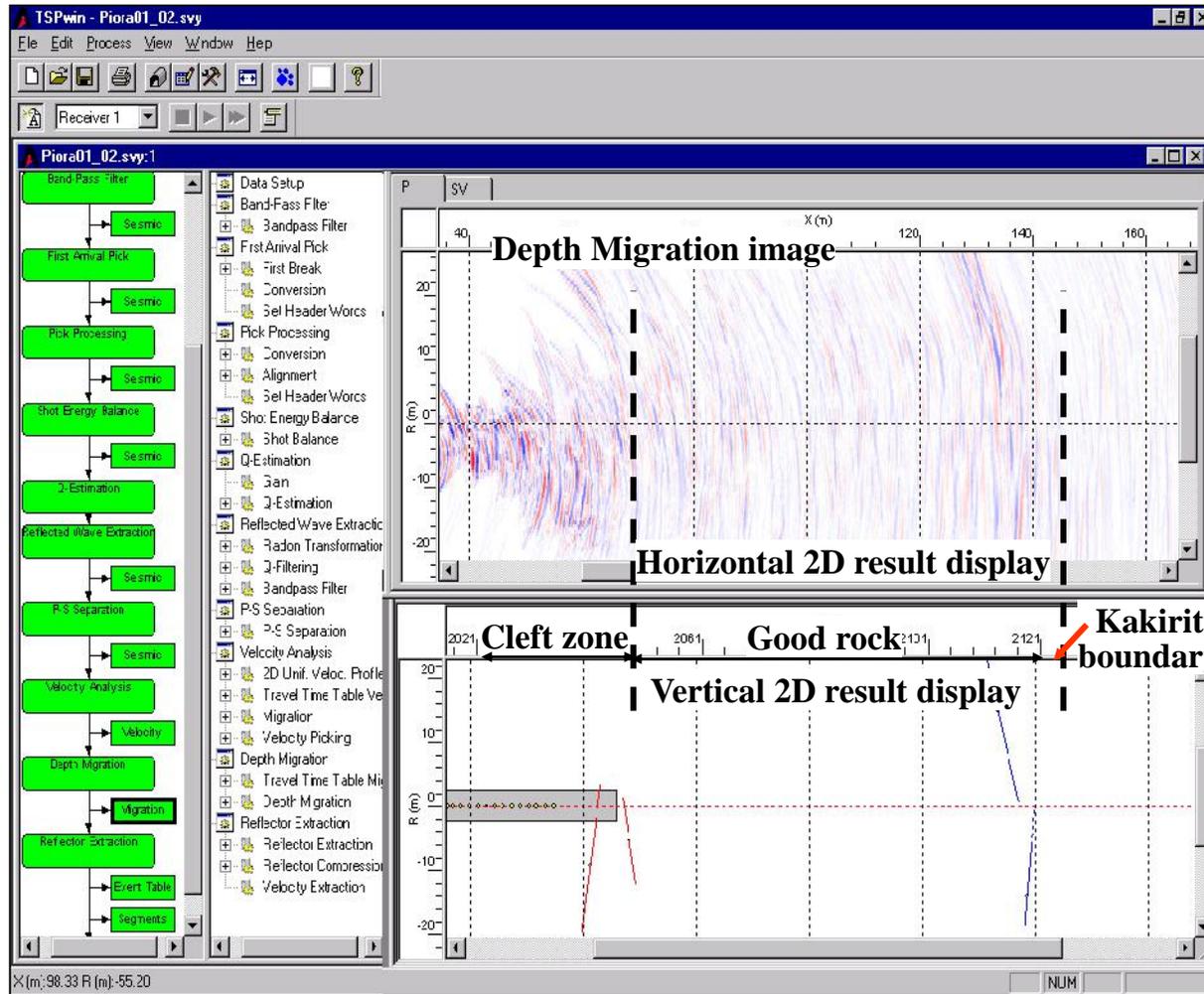
B1a. Tunnel Seismic Prediction (TSP). Reflexionsseismik im Festgestein.



TSP Messung.



Projektbeispiel: Gotthard-Basistunnel.



TSP-Nahmessung

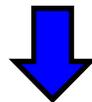
- TM 2048: Tunnelbrust
- TM 2114: Kakiritzone
- Entfernung 66m



B1b. Geothermal Diagnosis in Tunnels (GDT) zur Vorerkundung von wasserführenden Zonen.

Temperaturfeld im Gebirgskörper ist beeinflusst von:

- Wärmeleitung
- Topographieeinfluss (Berge/Täler)
- Wärmeströmung durch zirkulierende Bergwässer
- Wärmeproduktion durch radioaktiven Zerfall
- weitere Effekte (Klimageschichte, Hebung / Erosion, ...)

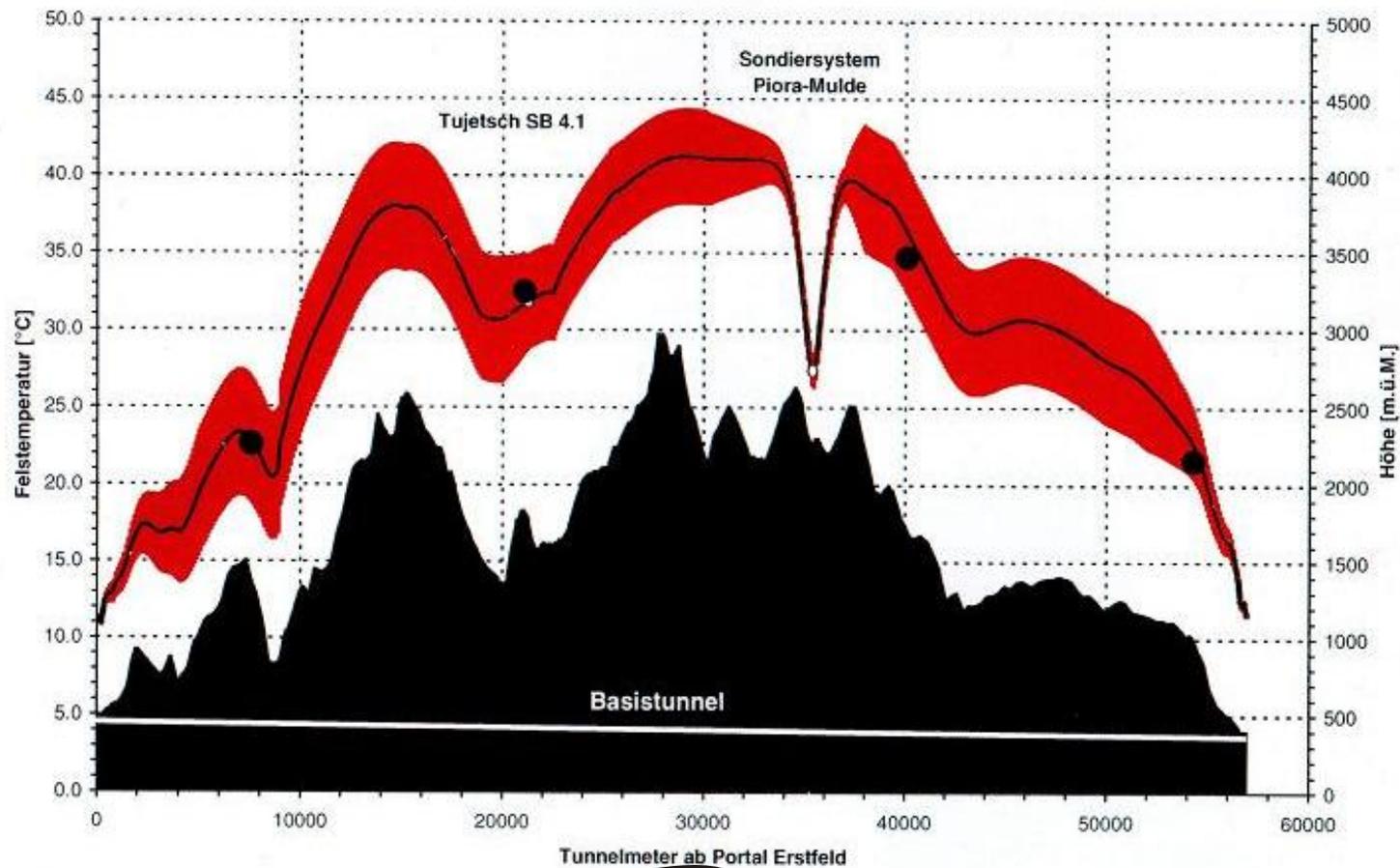


- Im Gebirge: komplexer 3D Wärmetransport
- Wasserströmung (wasserführende Zonen) sehr sensitiv

∅ Prognosefähig

Temperatursignale im Gebirge.

- *Prognosefähigkeit*
- *Beispiel: Kalibrationsmodell für 57 km NEAT Tunnel*



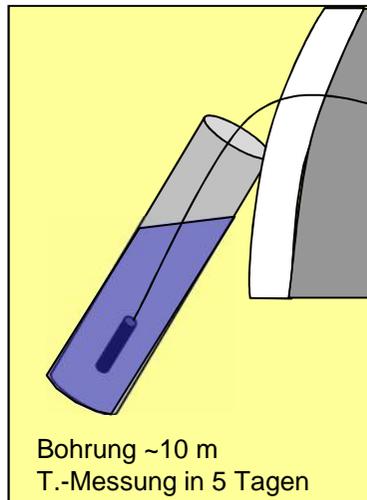
GDT zur Vorauserkundung.

- GDT nutzt die von zirkulierendem Wasser verursachten Temperatursignale
- baubegleitende Erfassung der Felstemperaturen
- numerische Auswertung (3-D Modellrechnungen)
- Abweichungen der Messdaten vom Modell deuten insbesondere auf zirkulierende Bergwässer hin.
- Identifizierung dieser Signale bereits in grosser Entfernung (projektrelevante Rückschlüsse möglich)
- Ab ~ 500 m Entfernung sind genauere Aussagen zu Eigenschaften einer Störzone möglich.

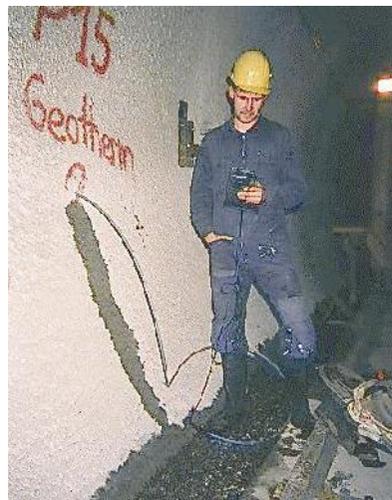
GDT Arbeiten bei Tunnelvortrieb.

Vorgehensweise:

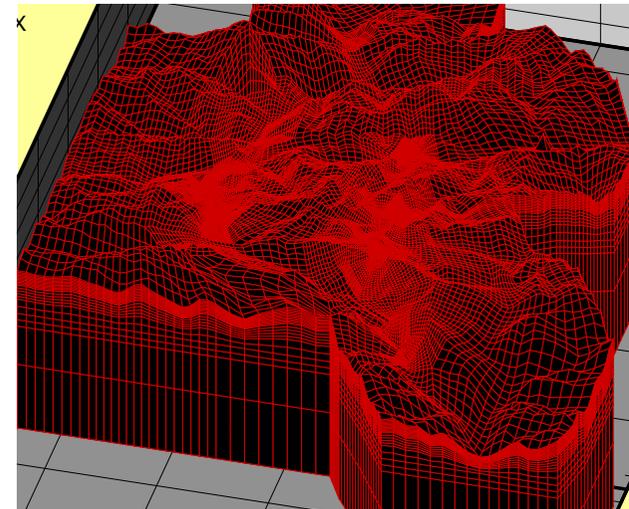
a) Bohren



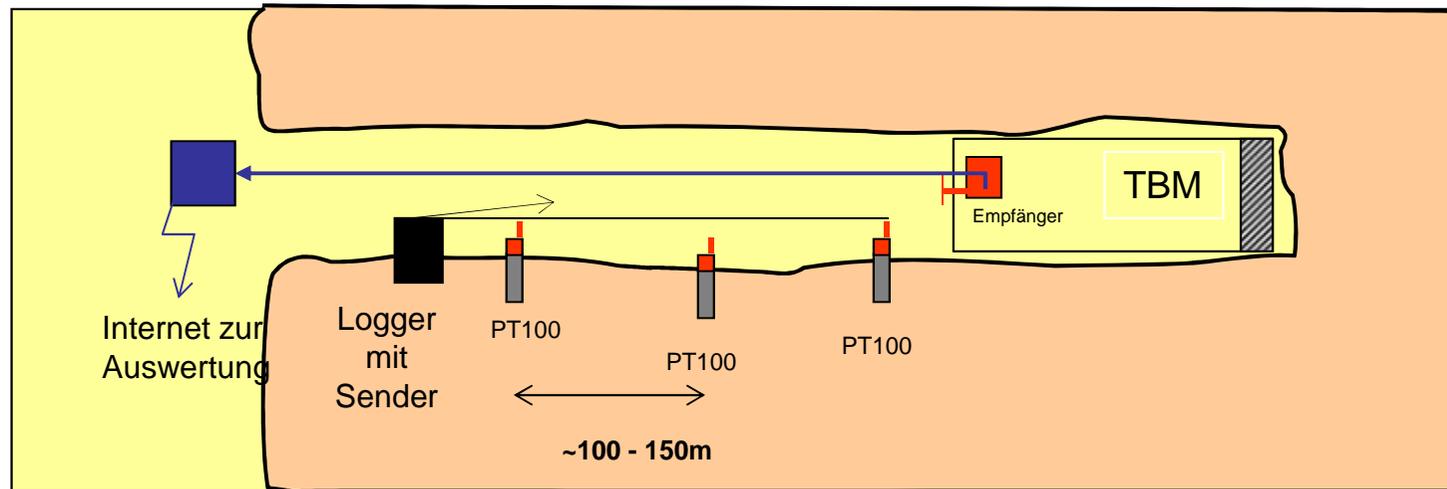
b) Messen



c) Rechnen



Messinstallation vor Ort.



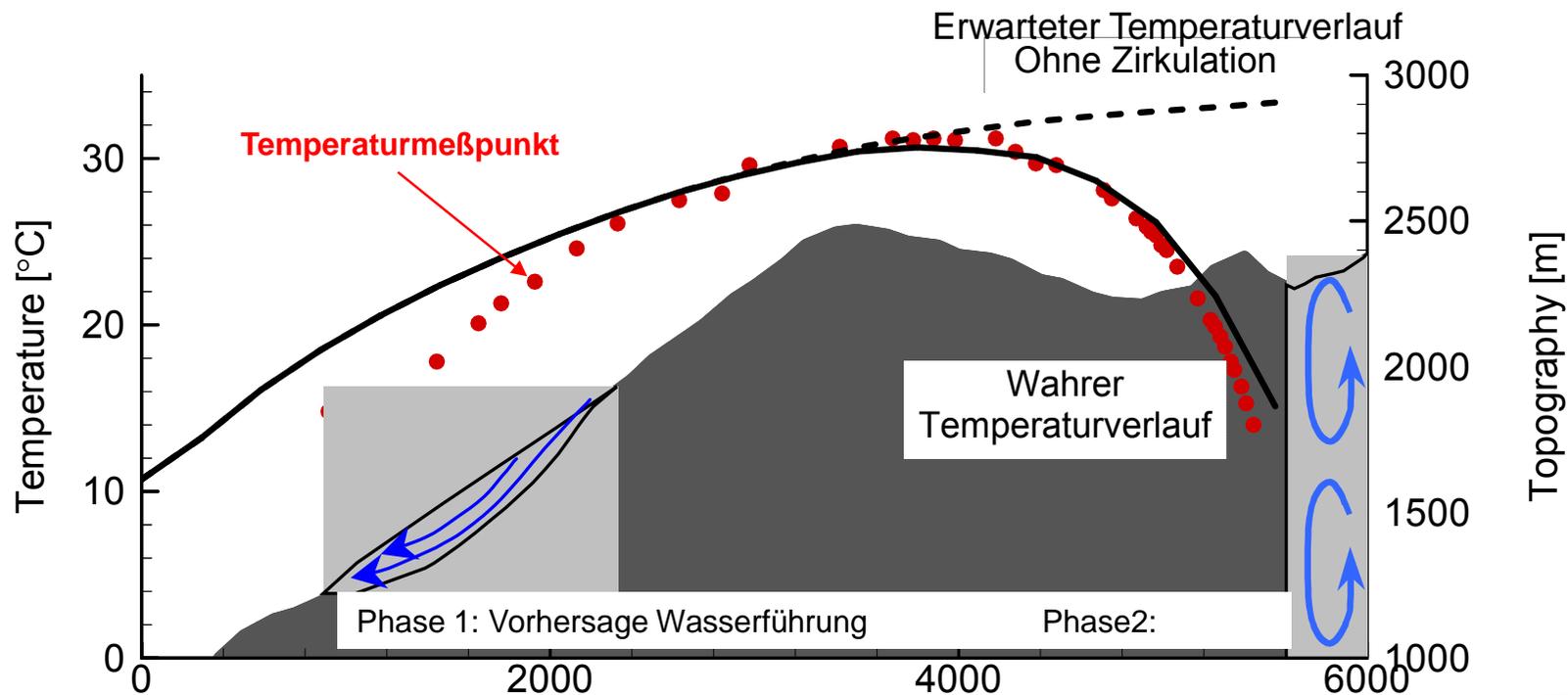
- Auswertung alle 100-150 m, resp. nach jeder Kurzbohrung
- Abstand der Kurzbohrung je nach Auflösung, wird während Vortrieb angepasst

Fallbeispiel Piora-Sondierstollen.



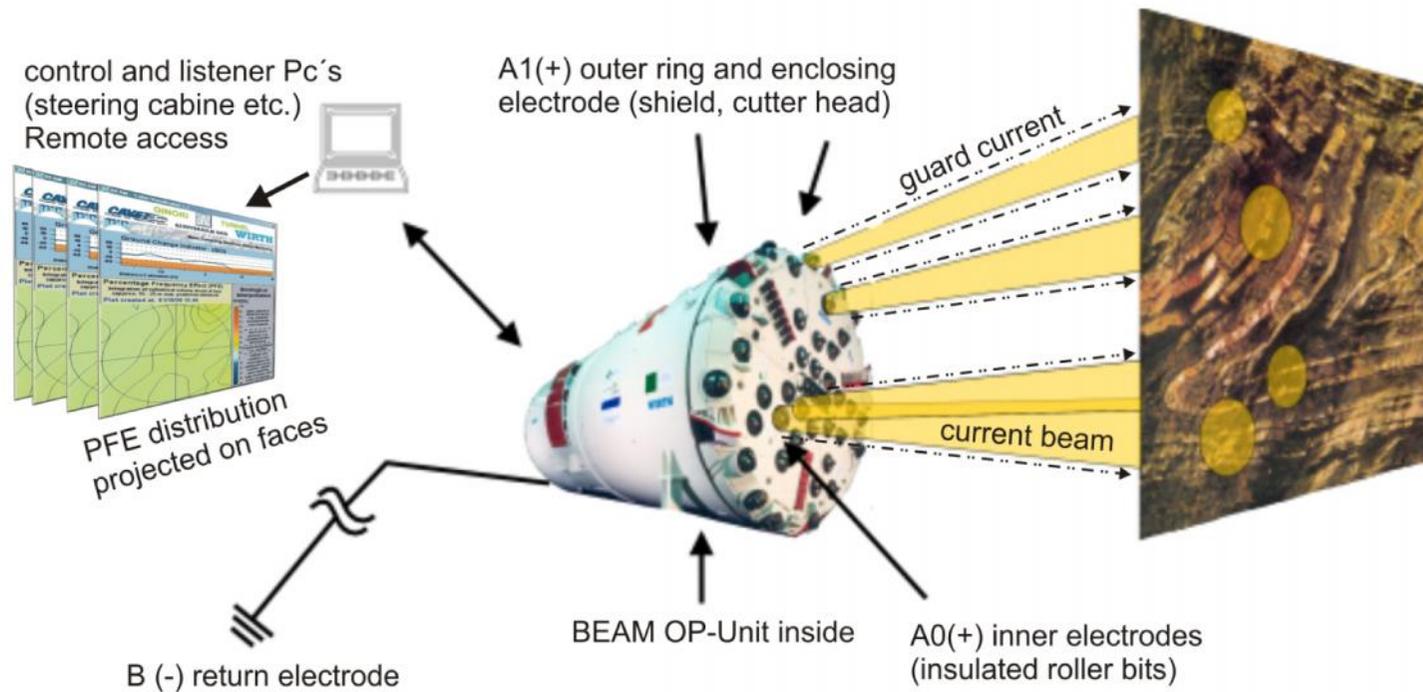
S W I S S
G E O T H E R M A L
E X P E R T
G R O U P

- Erforschung der hoch porösen Piora-Zone (NEAT)
- Ing.-geologische, geophysikalische (Seismik, Georadar, GDT) Messungen
- Durch GDT Bestimmung von Lage und Wasserführung der Piora-Zone vor der Tunnelbrust



B1c. Bore-Tunnelling Electrical Ahead Monitoring - BEAM.

Sketch of BEAM – TBM System-Layout and Focused-Electrical Measurements



Automatic monitoring of forefield and perimeter ground without disturbance and stops of tunnelling work



Aber...

Aus Sicht des Verfassers der Stellungnahme **erfüllt das Verfahren BEAM nicht die Voraussetzungen**, um als anerkannte Methode für eine Tunnelvorauserkundung eingesetzt zu werden. Das **Messprinzip ist** unter Fachleuten **umstritten**. Der schlüssige Beweis, dass das Verfahren unter praktischen Bedingungen so funktioniert, wie in den zahlreichen plakativen Beschreibungen ausgeführt wird, steht aus.

[Auszug aus der Fachlichen Stellungnahme zum BEAM-Verfahren von Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Weller der Abteilung Petrophysik des Instituts für Geophysik der TU Clausthal.]

B - Vortriebsbegleitende Erkundungsmaßnahmen.

1. Wettbewerb

- a. Tunnel Seismic Prediction (TSP)
- b. Geothermal Diagnosis in Tunnels (GDT)
- c. Bore-Tunnelling Electrical Ahead Monitoring (BEAM)

2. HK-Portfolio

- a. Integrated Seismic Imaging System (ISIS)
- b. Sonic Softground Probing (SSP)
- c. Measurement While Drilling (MWD)
- d. Bohrlochradar (Bo-Ra-tec)

3-stufiges Ausführungsverfahren:

1. Kontinuierliche seismische Messungen auf einer TBM zur Erkundung der Tunneltrasse
 - a) Hard Rock TBMs (Gripper und geschildete TBMs) ⇒ **ISIS**
 - b) Softground Mixschild Maschinen ⇒ **SSP**
2. Bohrlochuntersuchungen mittels Measurement While Drilling ⇒ **MWD**
3. Schritt-für-Schritt Bohrloch-Radar-Messungen ⇒ **Bo-Ra-tec**

B2a. Integrated Seismic Imaging System - ISIS. Hardwarekomponenten HK-Entwicklung.



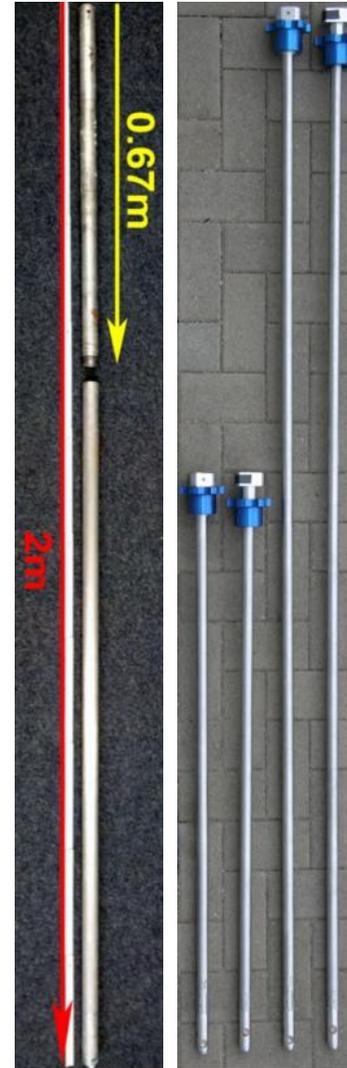
Schlaghammer SQ HK:

Länge: 927 mm
 Breite: 332 mm
 Höhe: 326 mm
 Gewicht: ~ 90 kg
 Benötigter Luftdruck: 7 bar
 Stromversorgung: 230 V



WLAN Datenlogger:

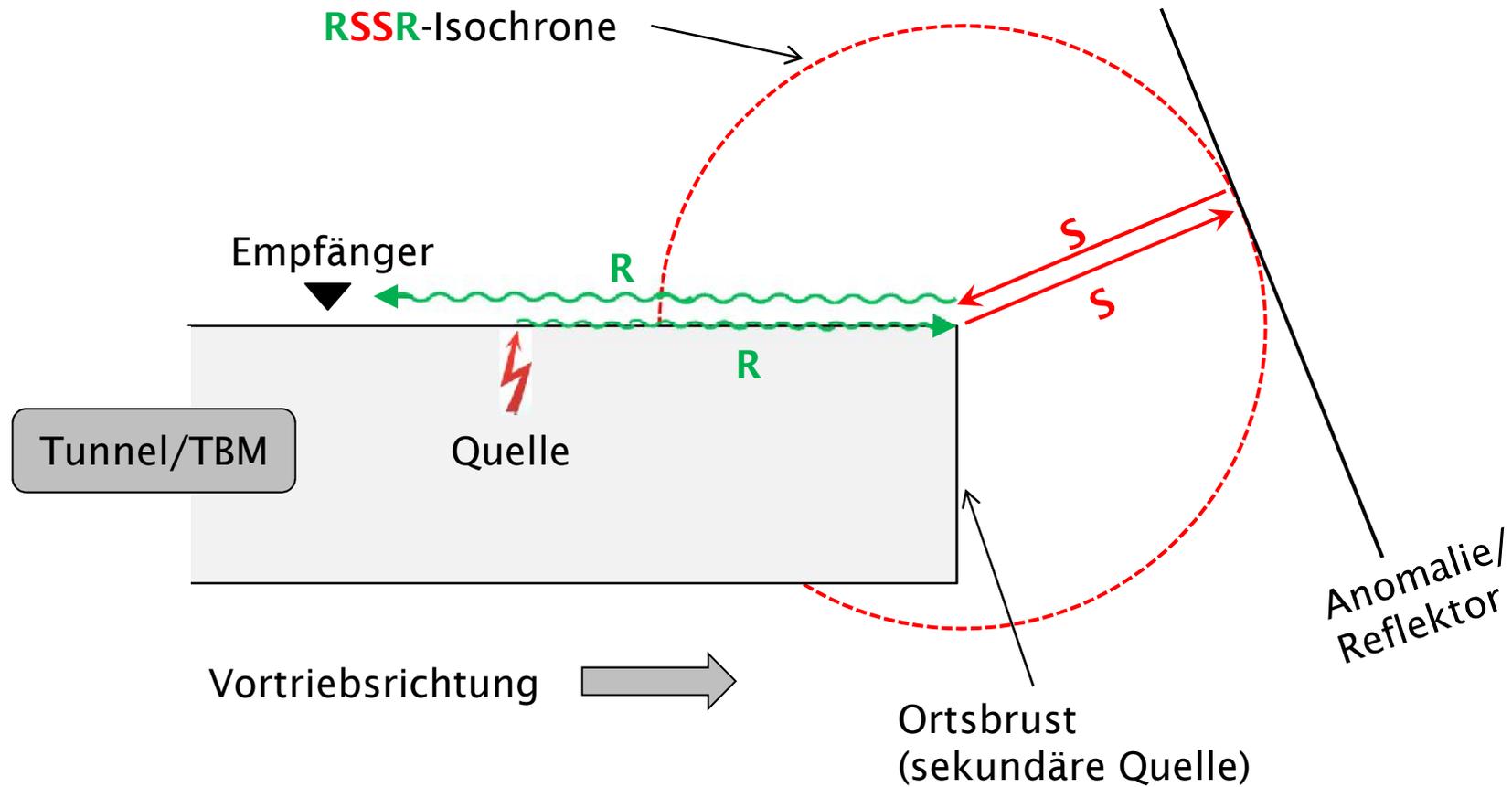
Länge: 125 mm
 Breite: 80 mm
 Höhe: 137 mm
 Gewicht: 1,75 kg



Geophonmessanker und Aluminiumrohr:

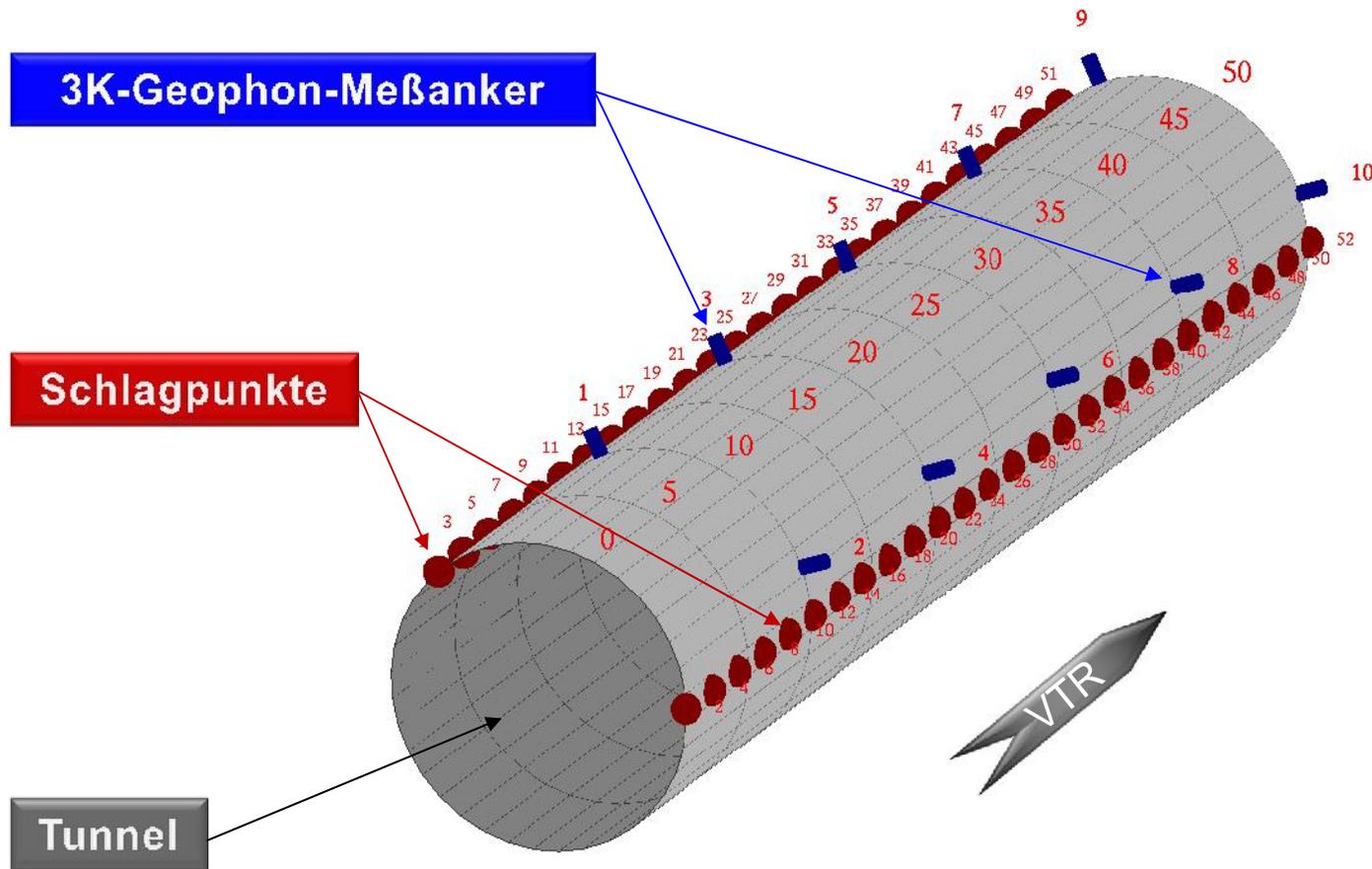
Länge: 1065/2000 mm
 Durchmesser: 35 mm
 Gewicht: 3/6 kg

ISIS. Messprinzip.



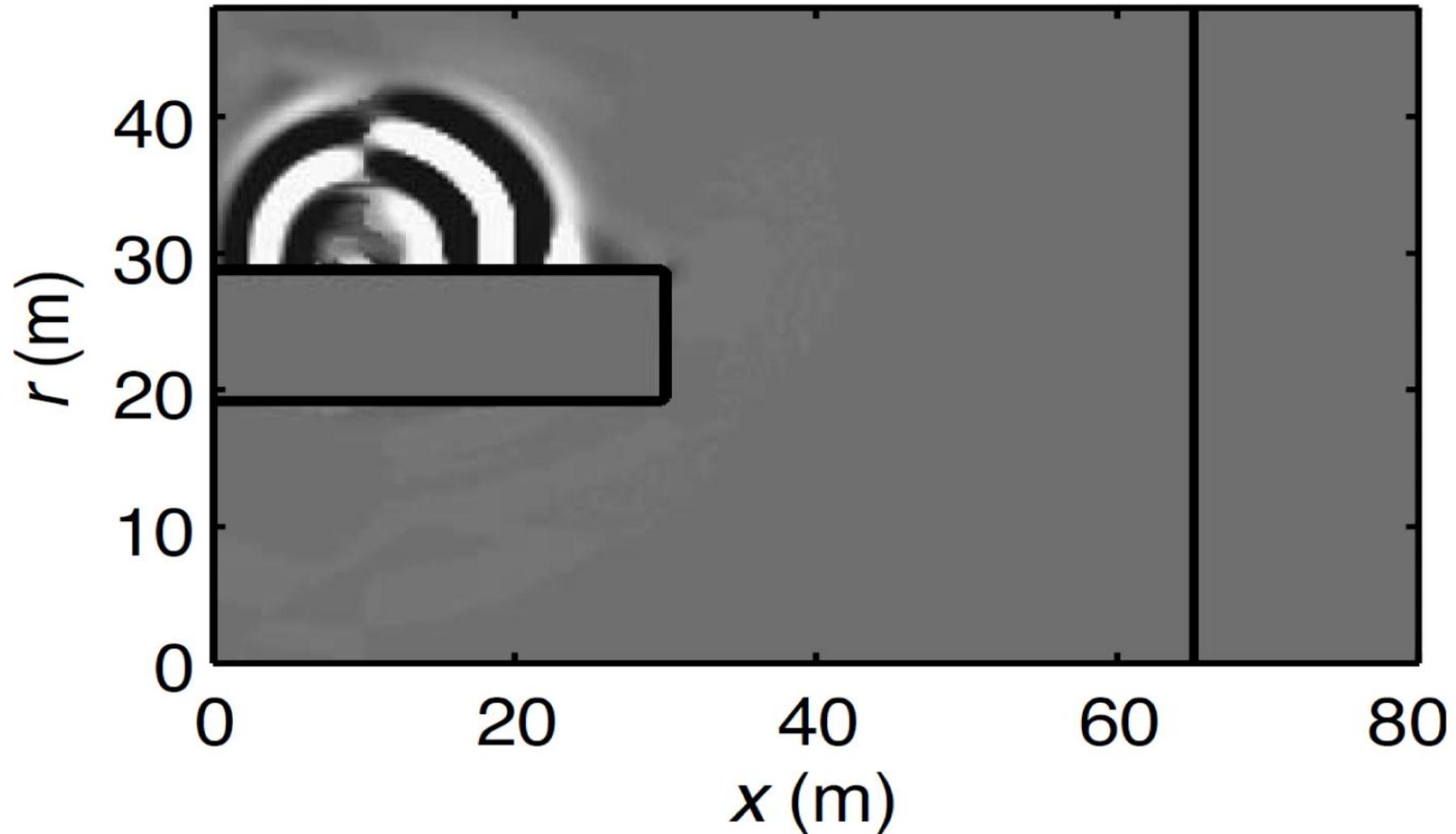
R: Rayleigh-Welle (Oberflächenwelle)
S: Scherwelle (Raumwelle)

ISIS. Anordnung der Schlag- und Aufzeichnungspunkte.



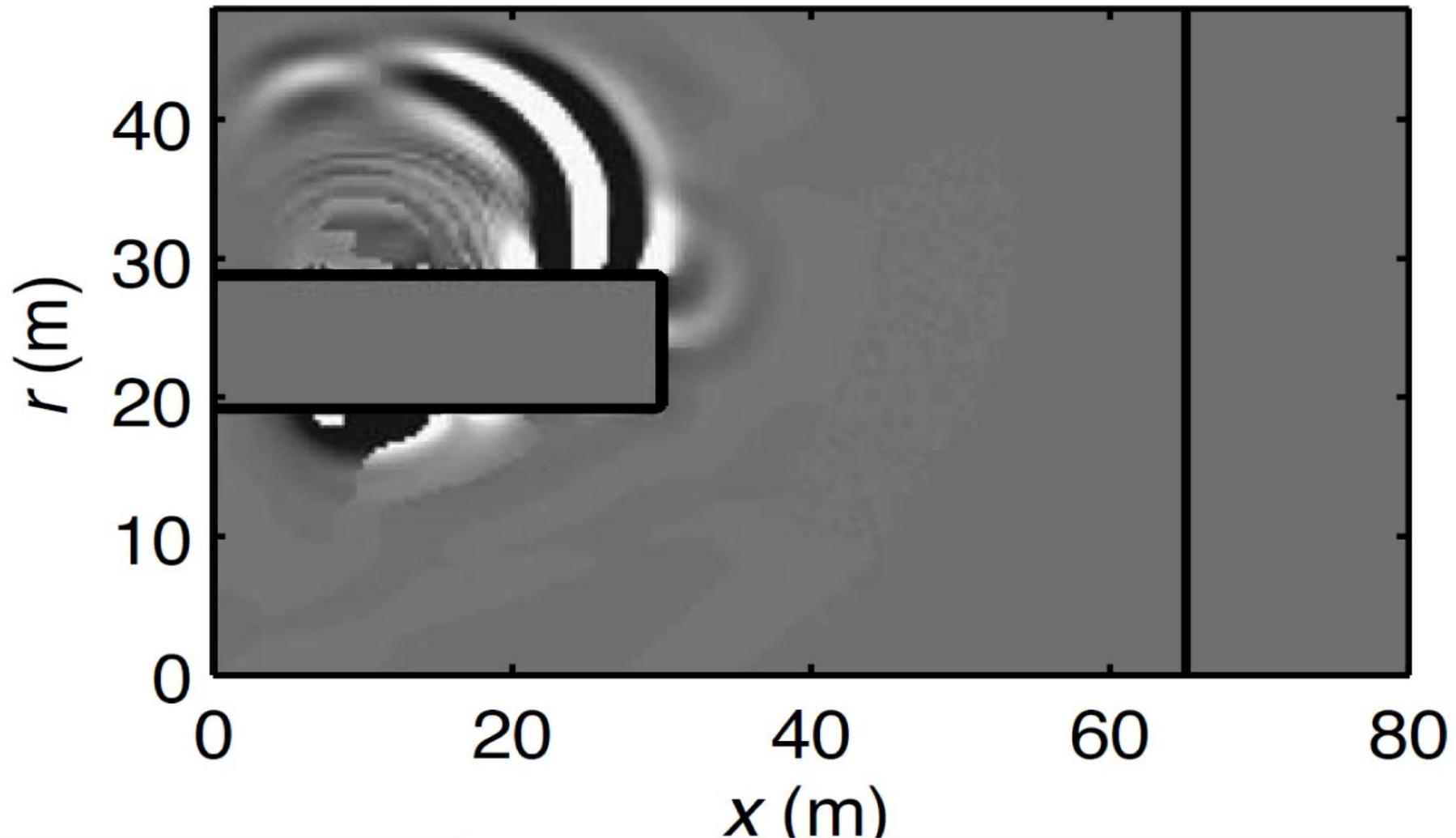
Wave Propagation in hard rock – synthetic data.

S (curl)



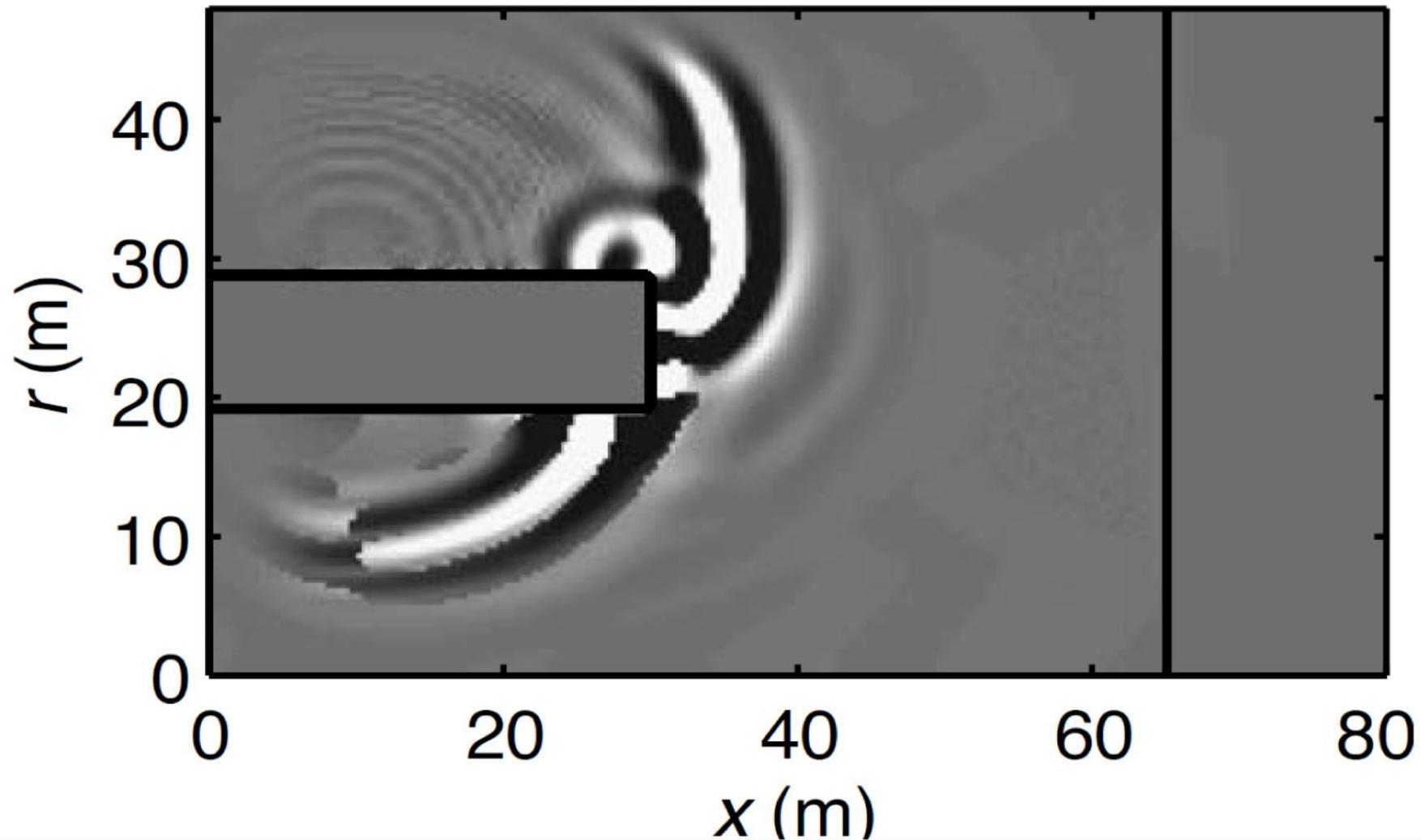
Wave Propagation in hard rock – synthetic data.

S (curl)



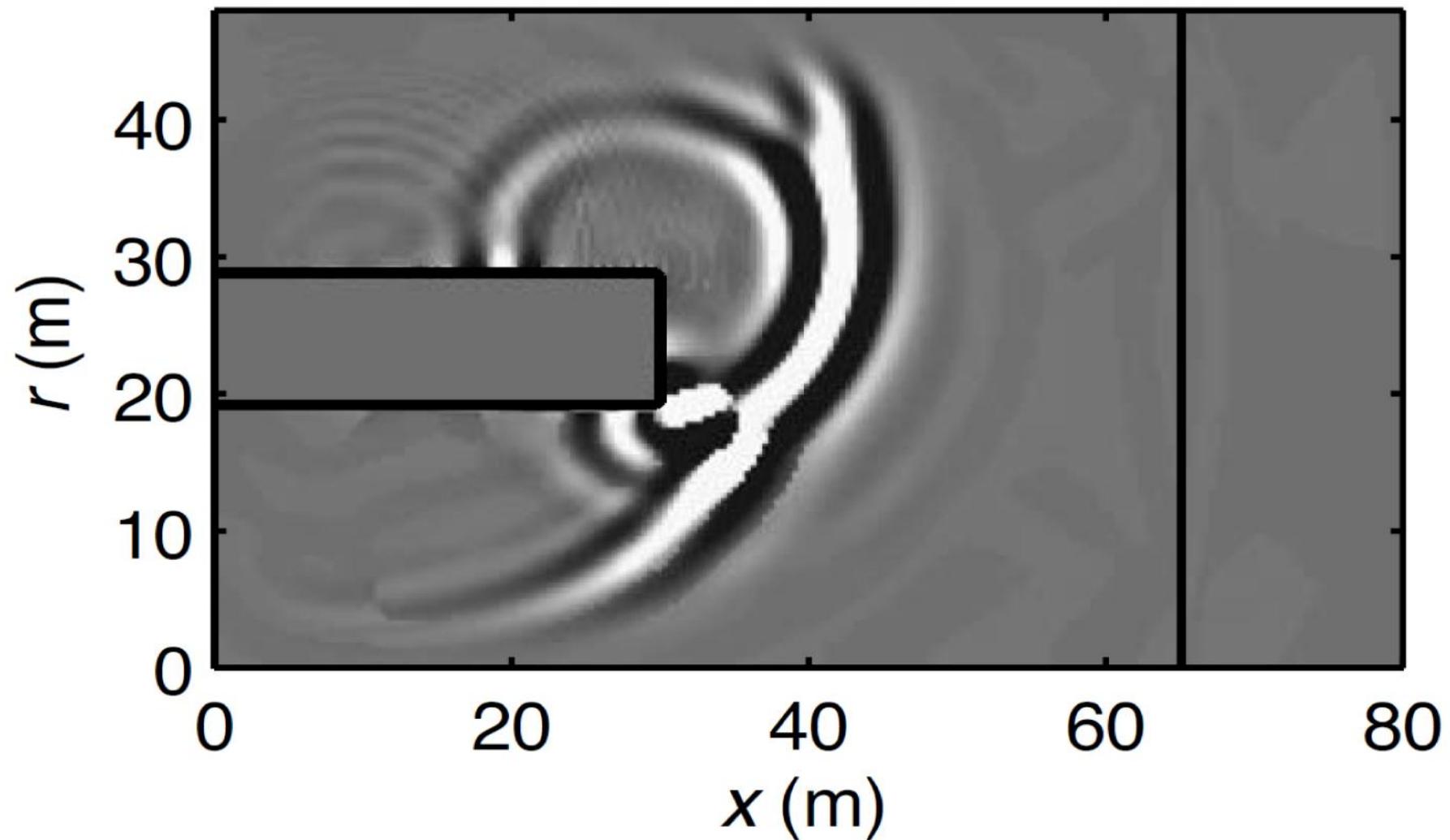
Wave Propagation in hard rock – synthetic data.

S (curl)



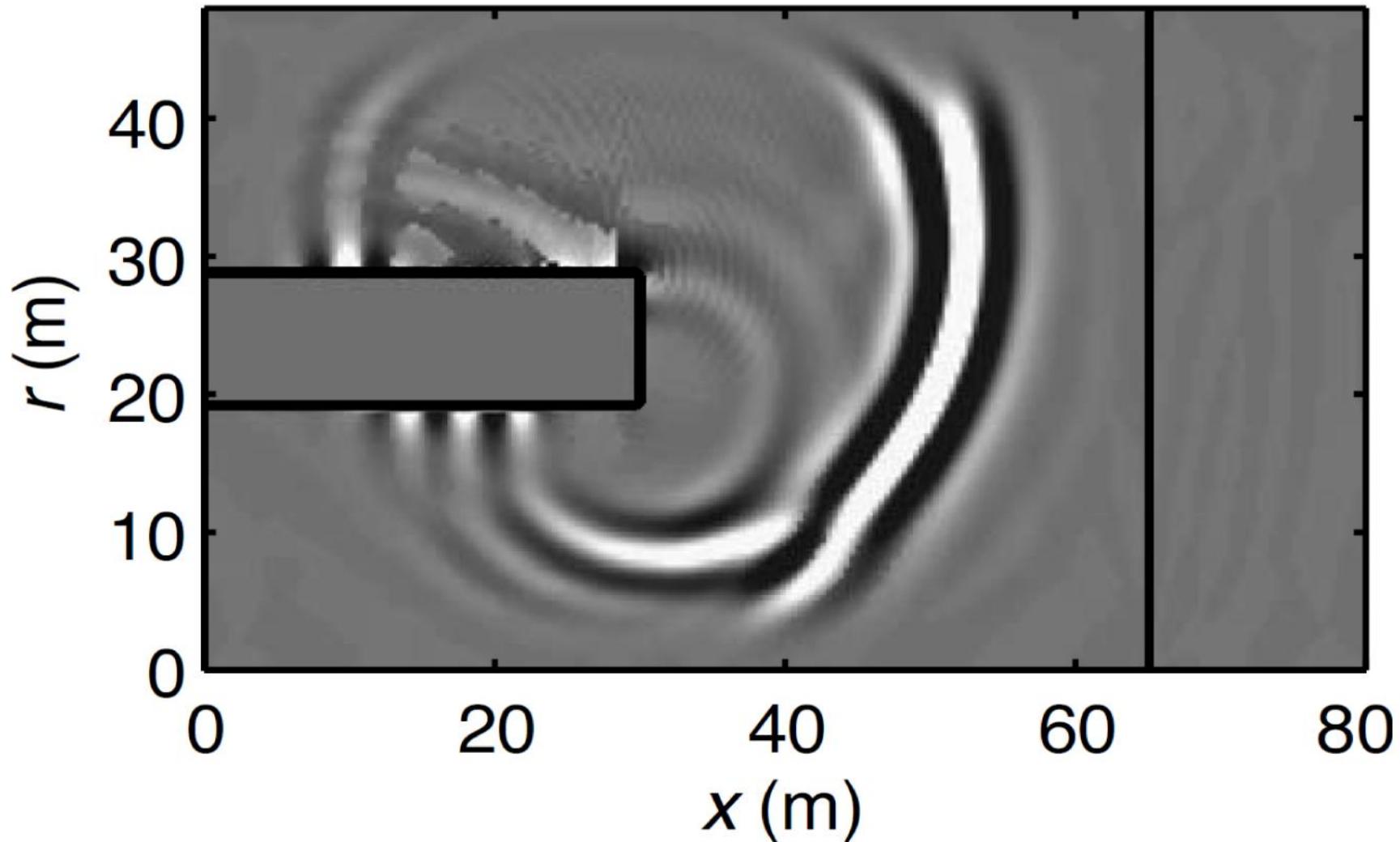
Wave Propagation in hard rock – synthetic data.

S (curl)



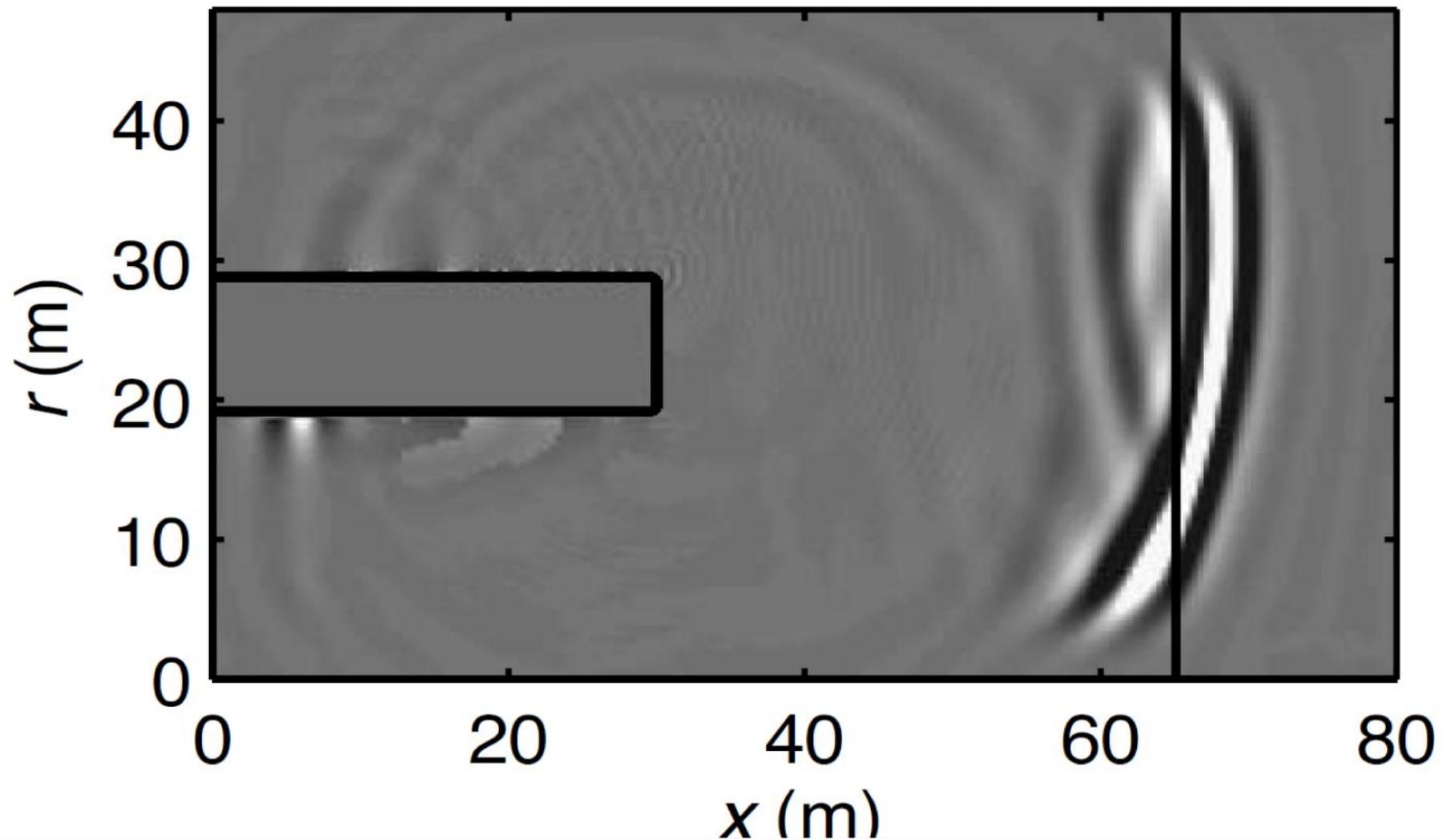
Wave Propagation in hard rock – synthetic data.

S (curl)



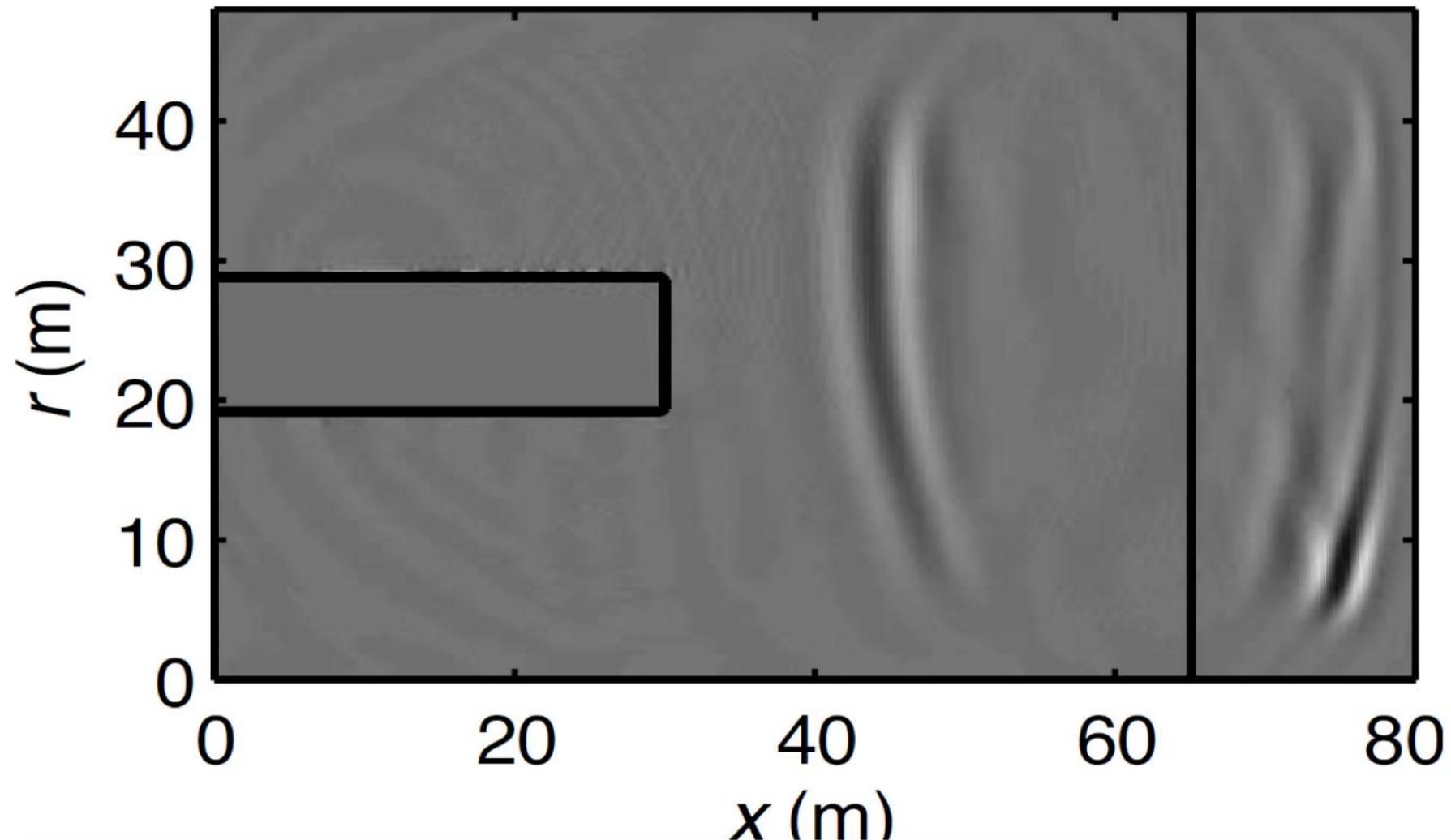
Wave Propagation in hard rock – synthetic data.

S (curl)



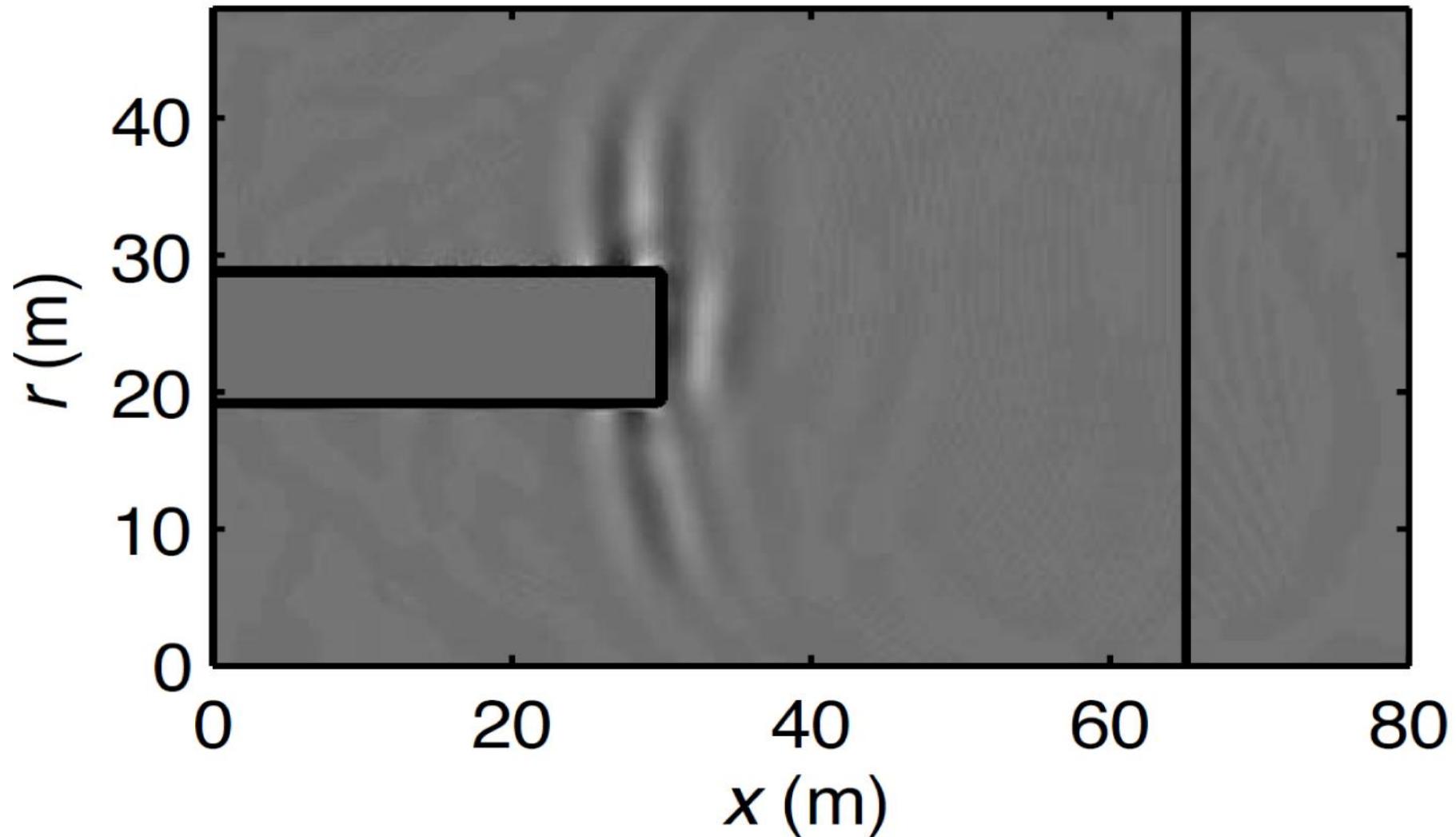
Wave Propagation in hard rock – synthetic data.

S (curl)



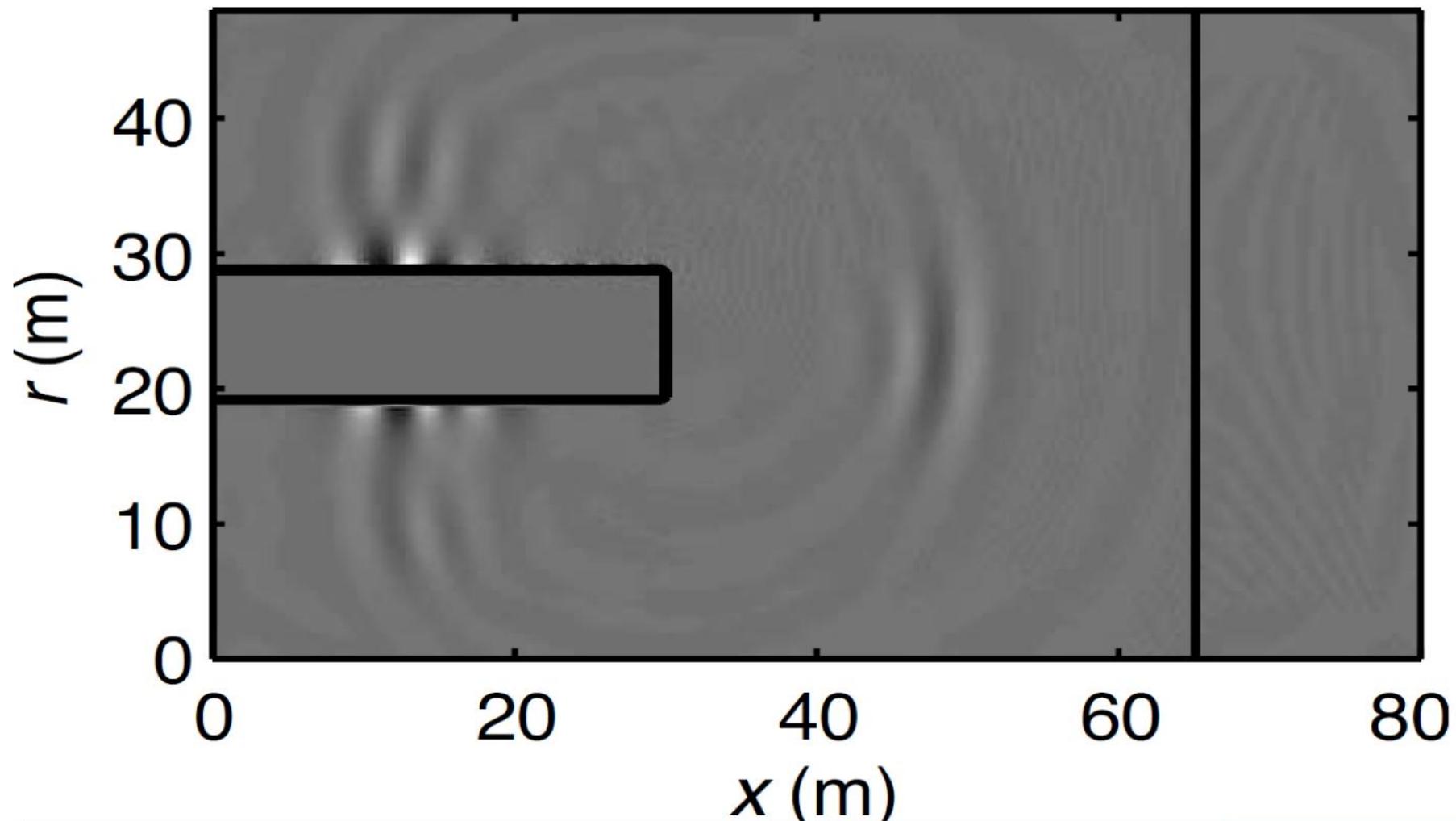
Wave Propagation in hard rock – synthetic data.

S (curl)

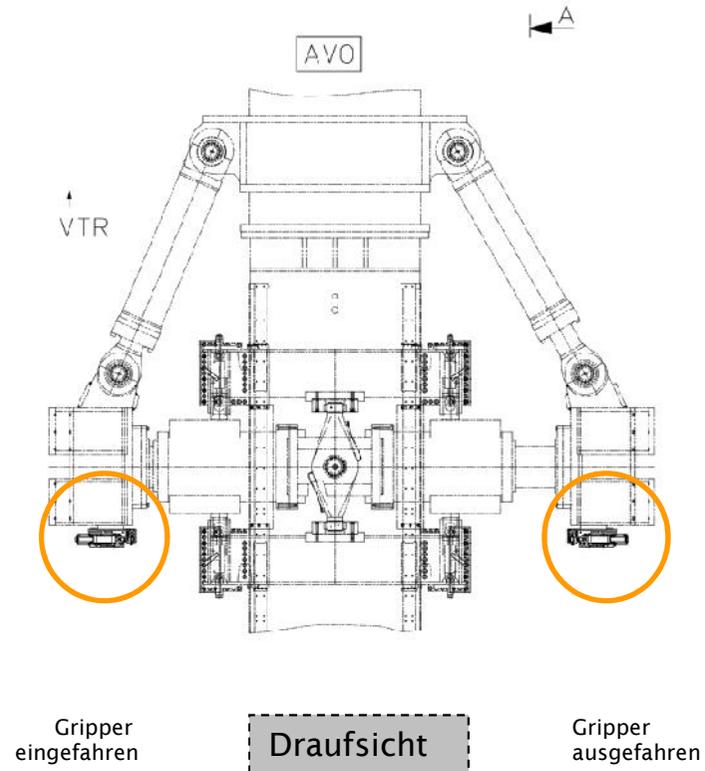
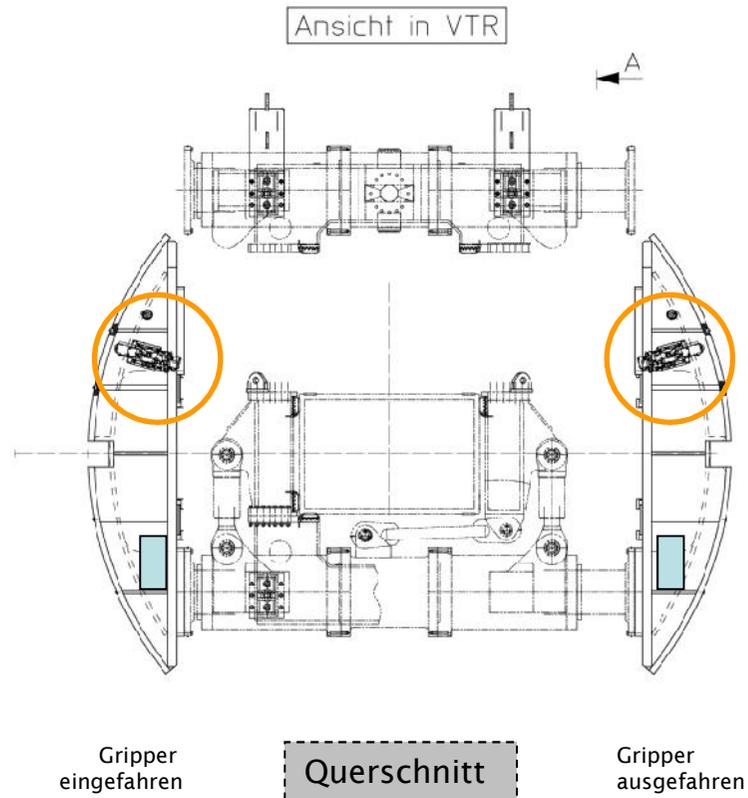


Wave Propagation in hard rock – synthetic data.

S (curl)



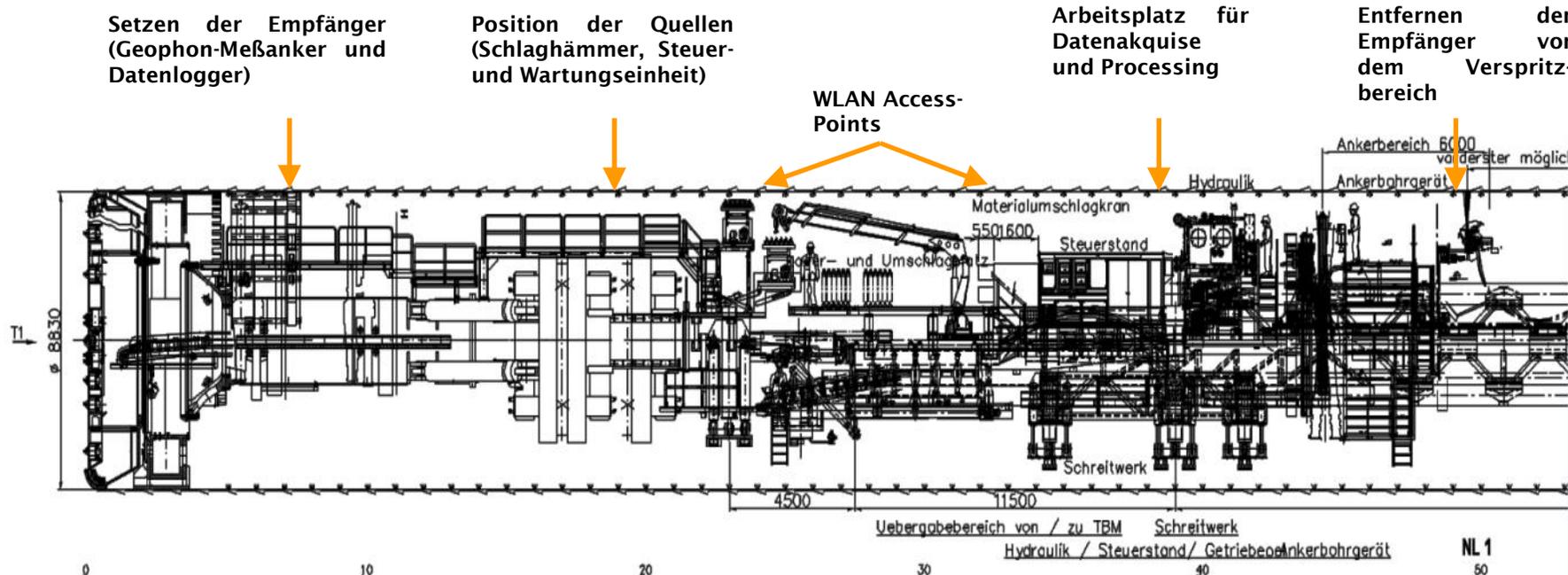
ISIS. Einbausituation auf einer offenen Gripper-TBM.



Erläuterung:

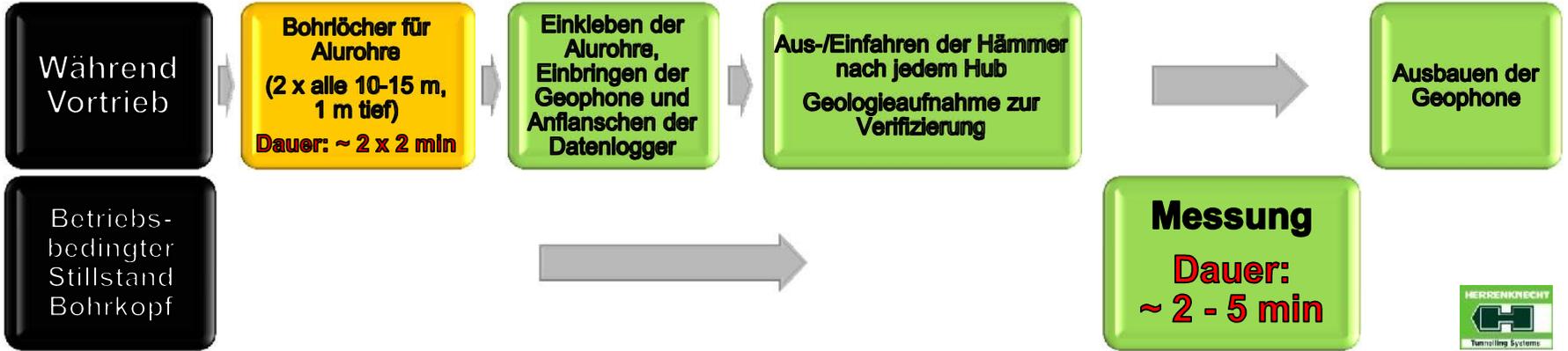
-  = seismische Schlagquelle SQ HK
-  = Steuer- und Wartungseinheit

ISIS. Arbeitsschritte auf einer offenen Gripper-TBM.

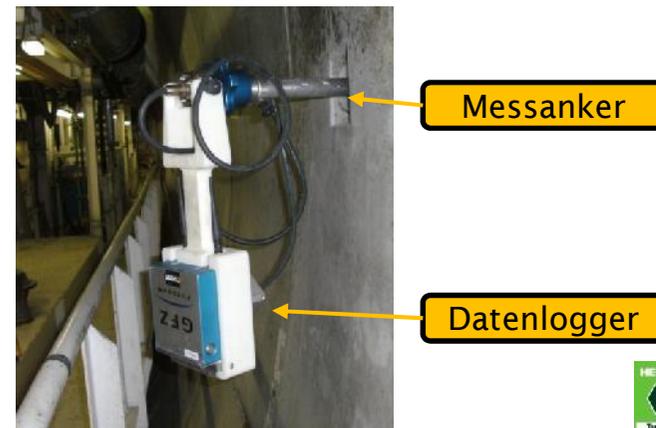
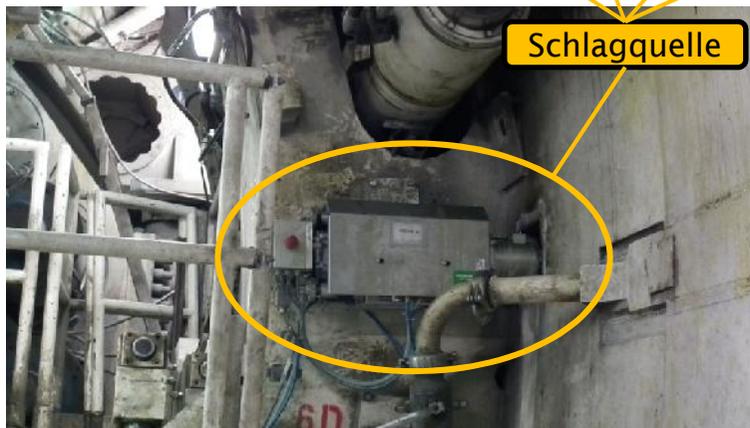
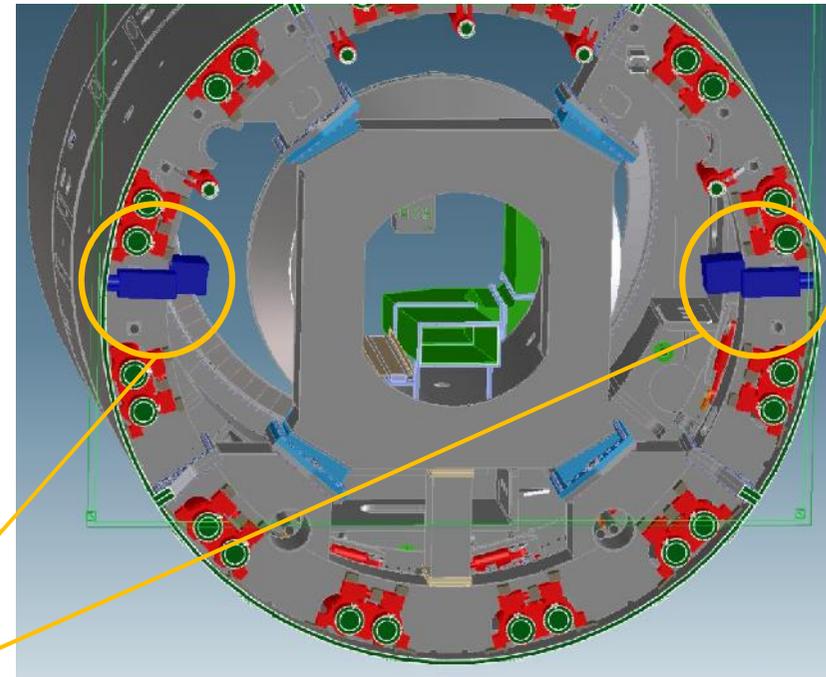
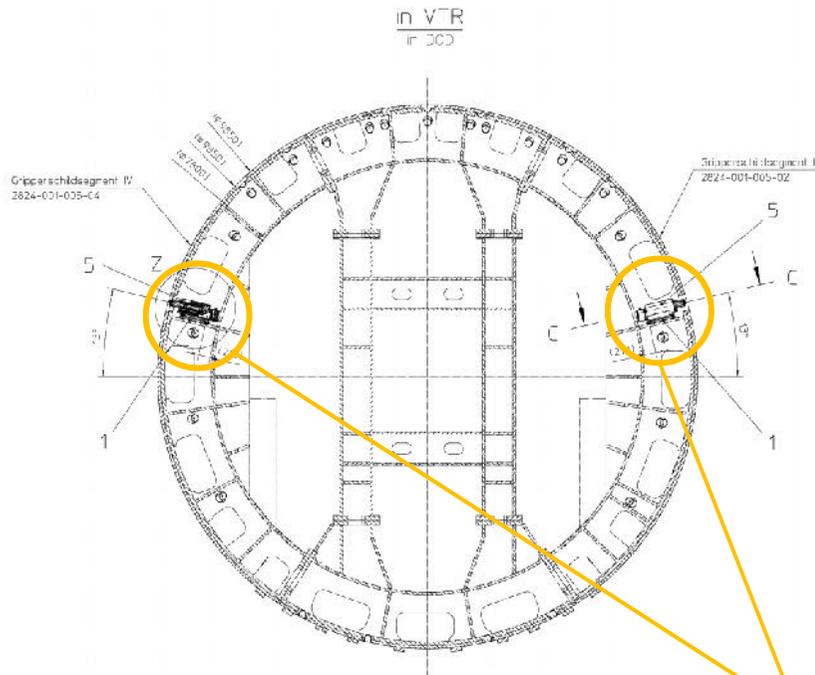


Ablauf:

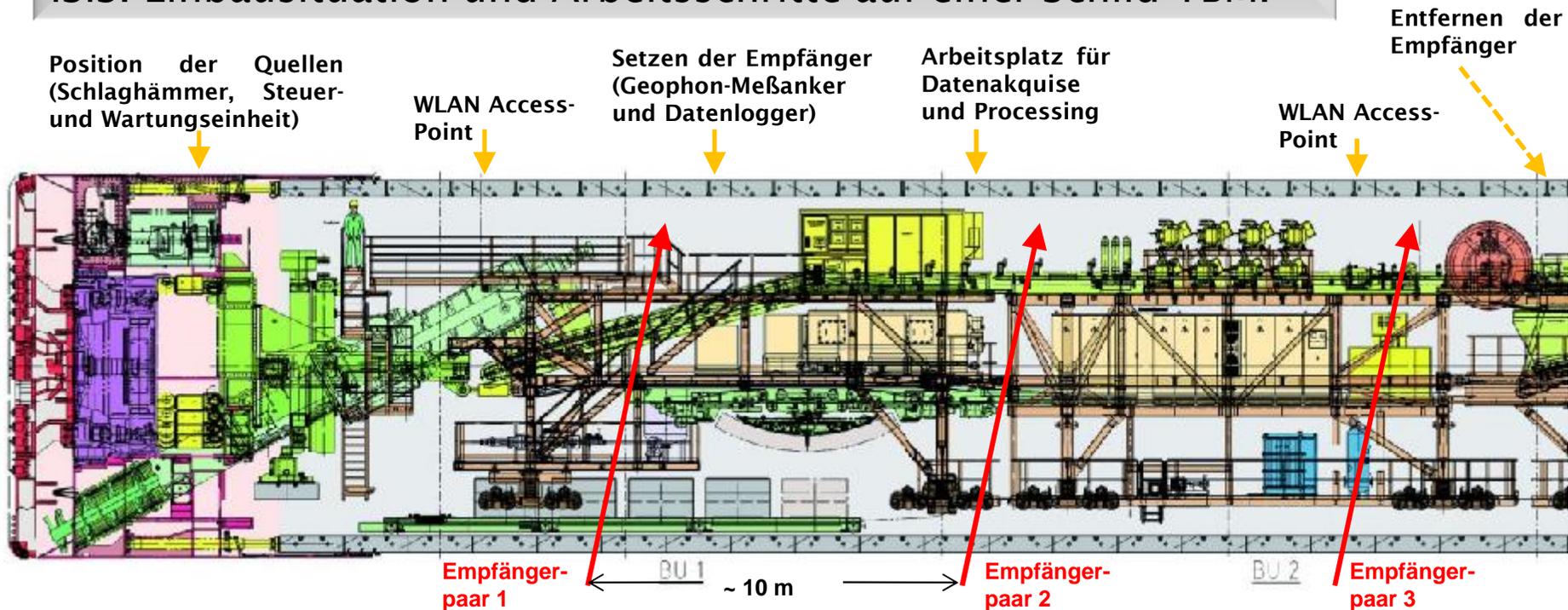
Kunde **HK**



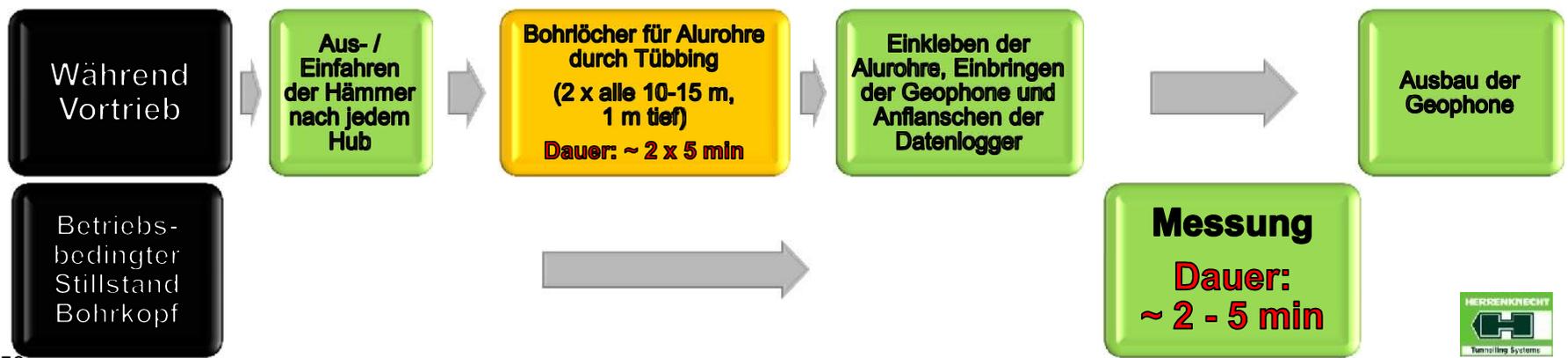
ISIS. HK-Hardware auf einer Schild-TBM. S-568 Fréjus (FR).



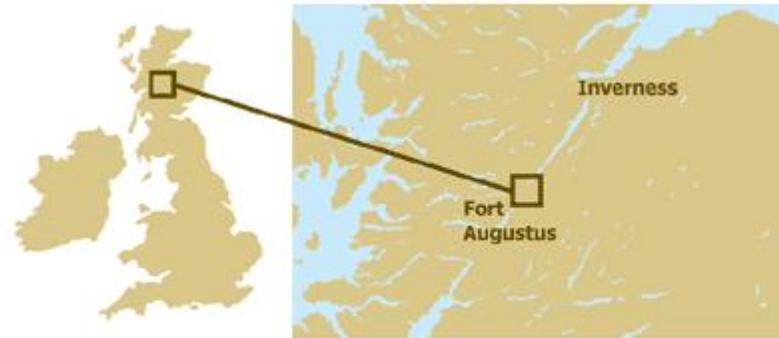
ISIS. Einbausituation und Arbeitsschritte auf einer Schild-TBM.



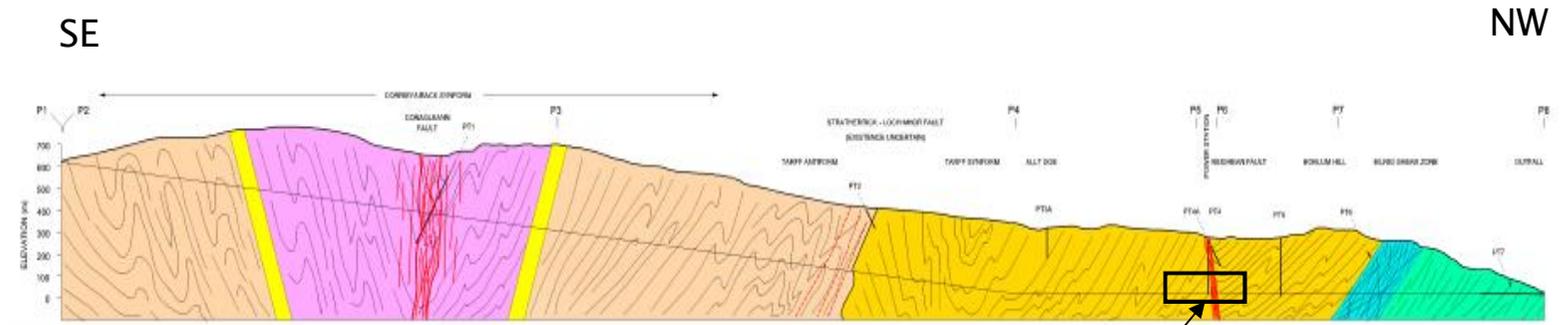
Ablauf:



ISIS. Test. S-351 Glendoe Hydro Scheme. Glendoe/Scotland (GB).



Location: Glendoe Hydro Scheme



Geologischer Längsschnitt

ISIS Messstrecke

ISIS. GFZ-Hardware auf Gripper-TBM.
S-351 Glendoe (UK).



Schlaghammer
eingefahren

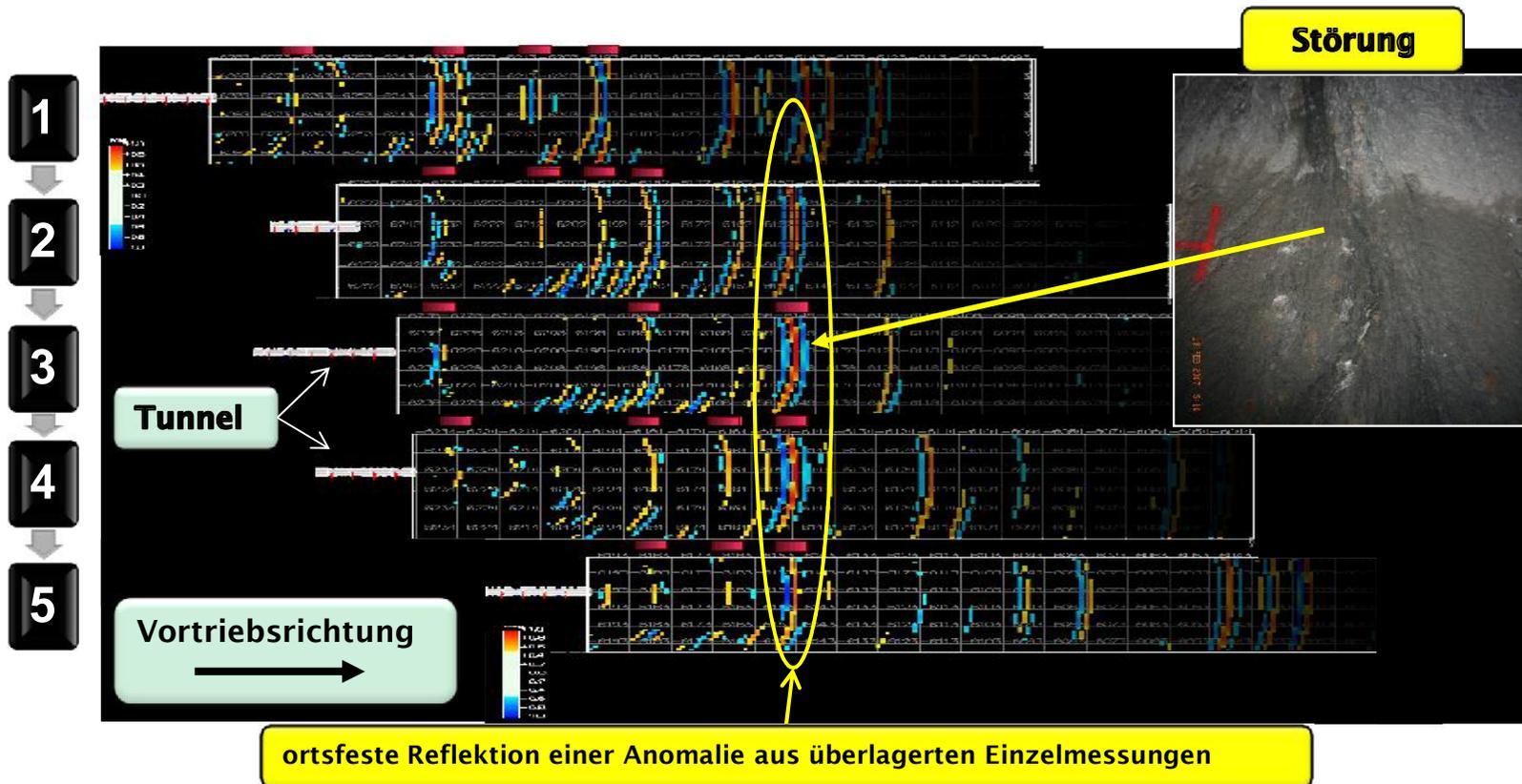


Schlaghammer
Schussposition



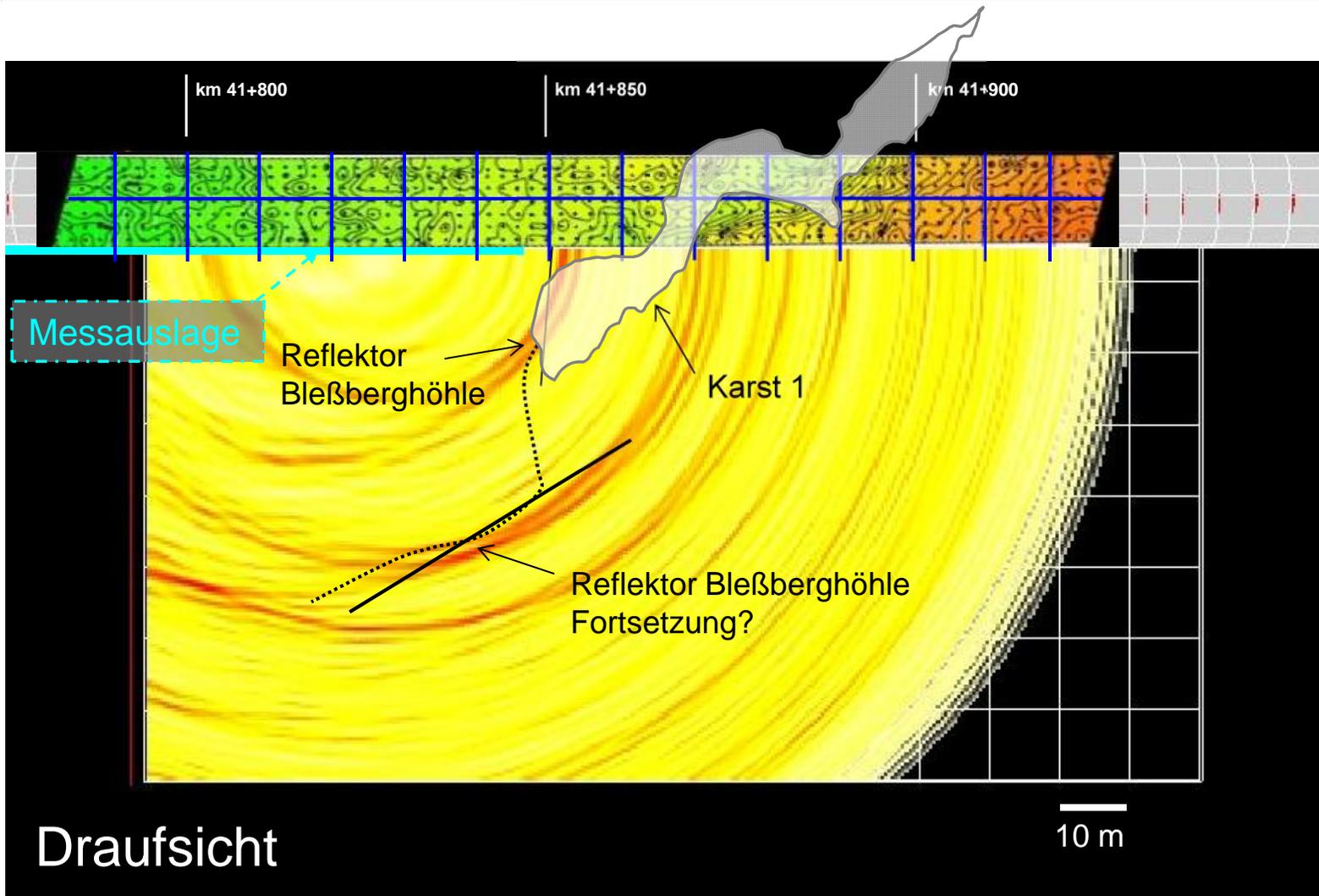
Empfänger
3-K-Geophon

ISIS - Ergebnis Glendoe.



Datenakquise aus permanenter und fortlaufender Messung → → →

ISIS – Blessberg-Tunnel. Thüringen. Messergebnis. Bildgebung und Interpretation.



ISIS. Facts.

- TVM-Typ: Hartgestein Gripper und Schild-/Doppelschild-TBM
- Erkundungsreichweite: 150 m
- Detektionsgenauigkeit: > 5 m
- Störkörpergröße: > 5 m
- Messung in den Vortriebsprozess integriert → keine Stillstände
- Detektion von wasser-/luftgefüllten Hohlräumen und Schwäche/-Störzonen
- Direkter Geologiekontakt für Quelle und Empfänger notwendig.

ISIS. Test-Referenzen.

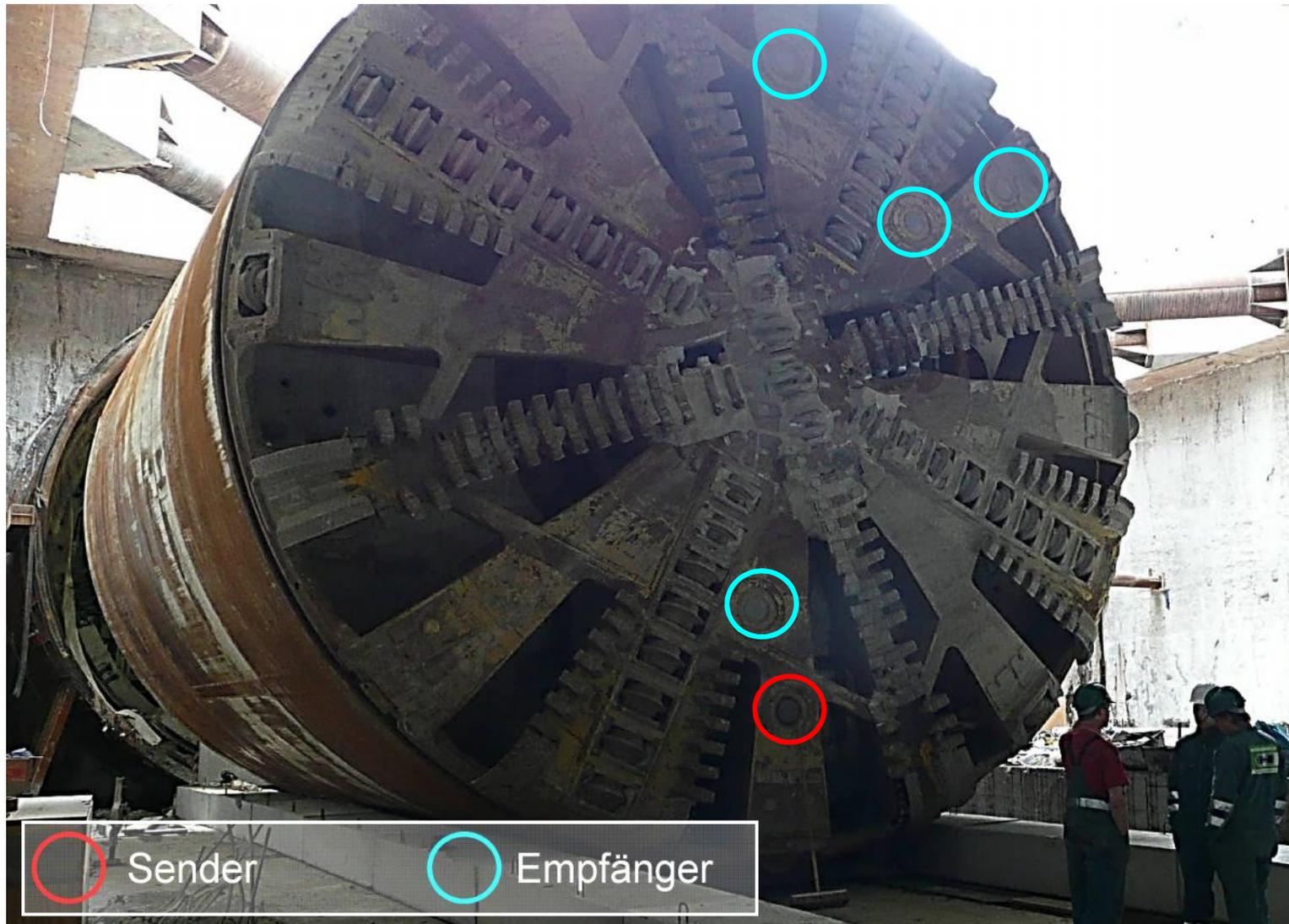
S-271 Piora-Sondierstollen, Gotthard, CH
Le Maire, FR

GFZ Potsdam

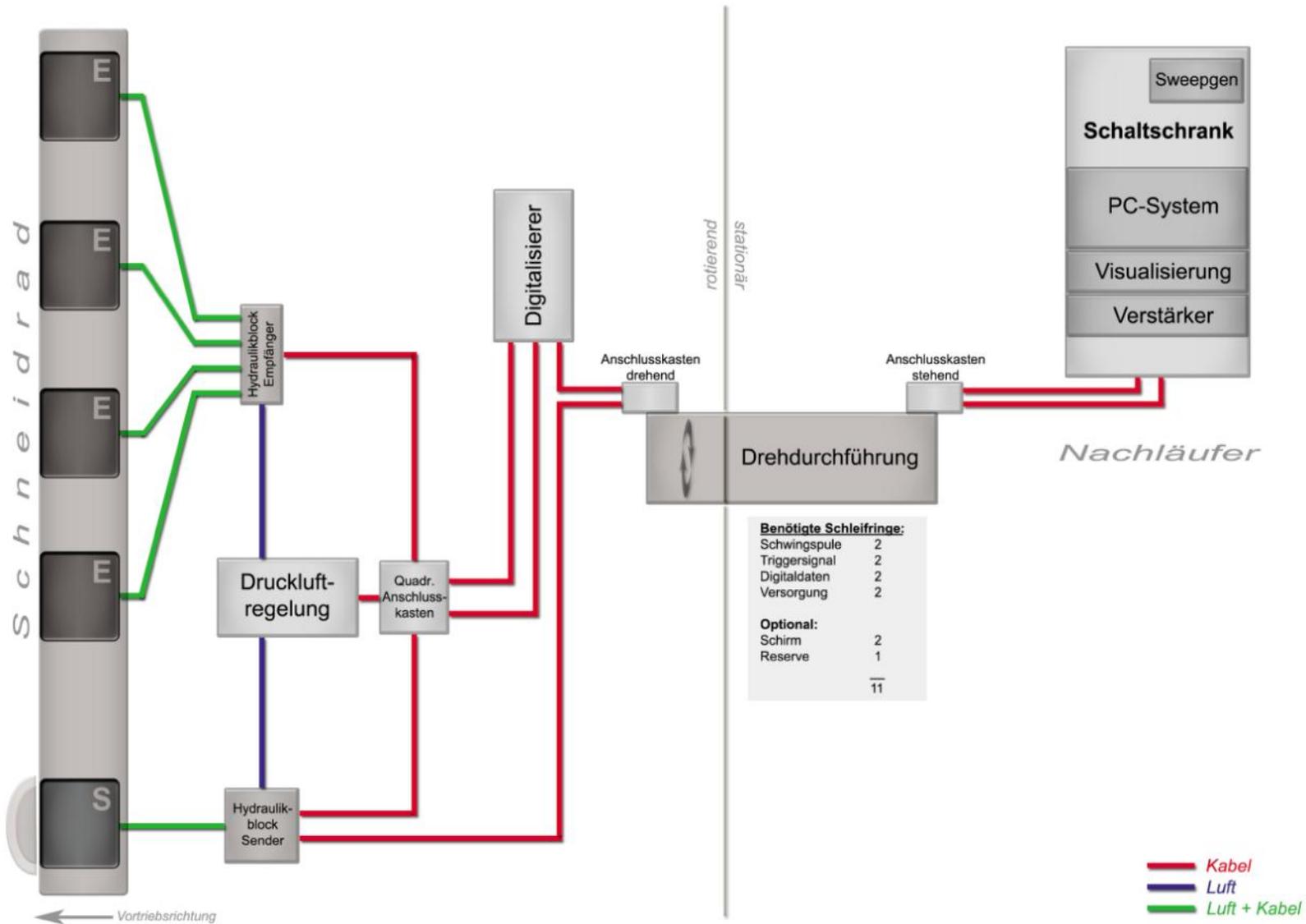
S-351 Glendoe, UK
Blessberg-Tunnel, DE (D&B-Vortrieb)
S-568 Fréjus, FR

F&E HK AG

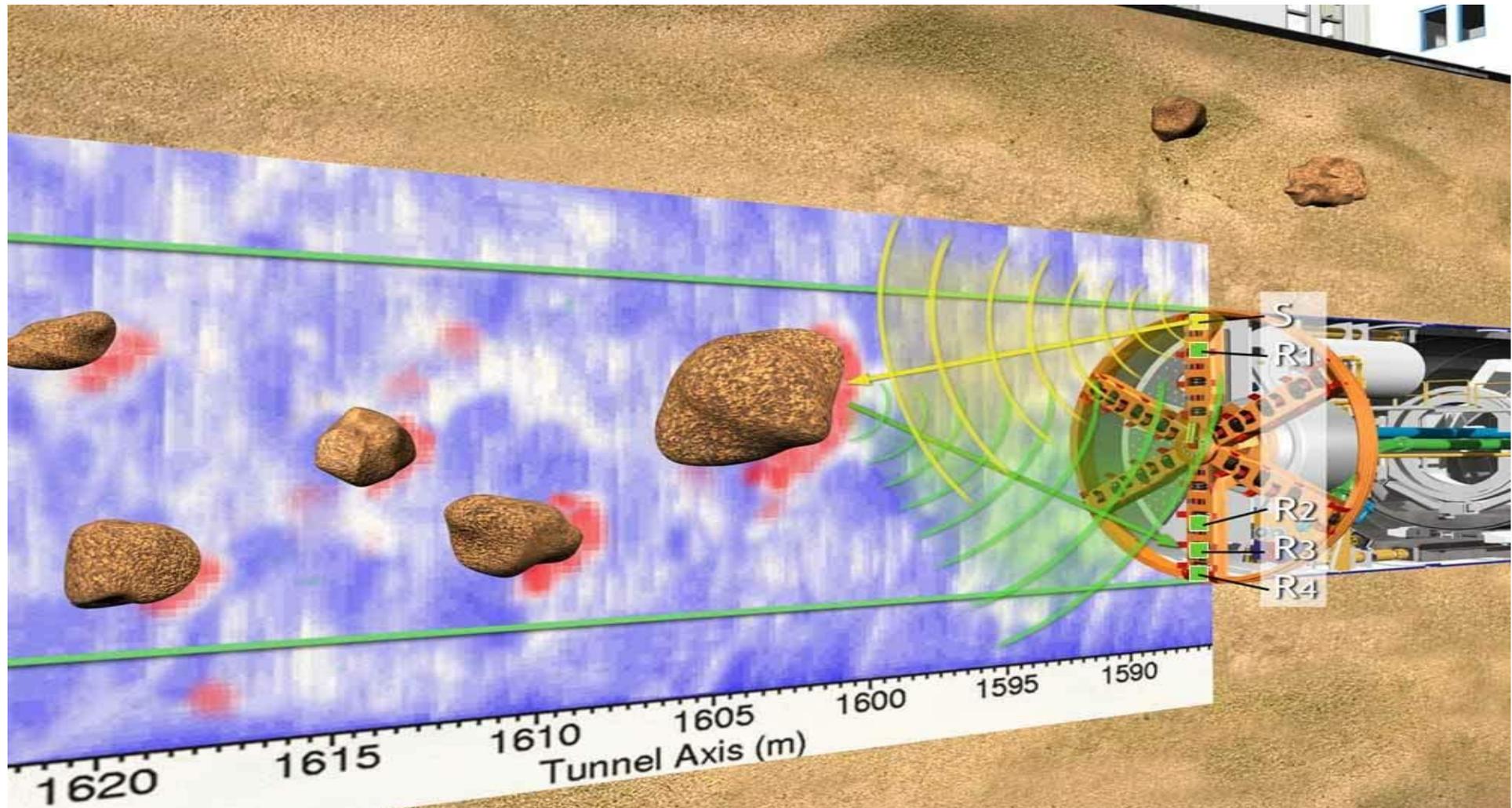
B2b. SSP – Sonic Softground Probing. Hardwareeinbau auf einer Mixschild-TBM.



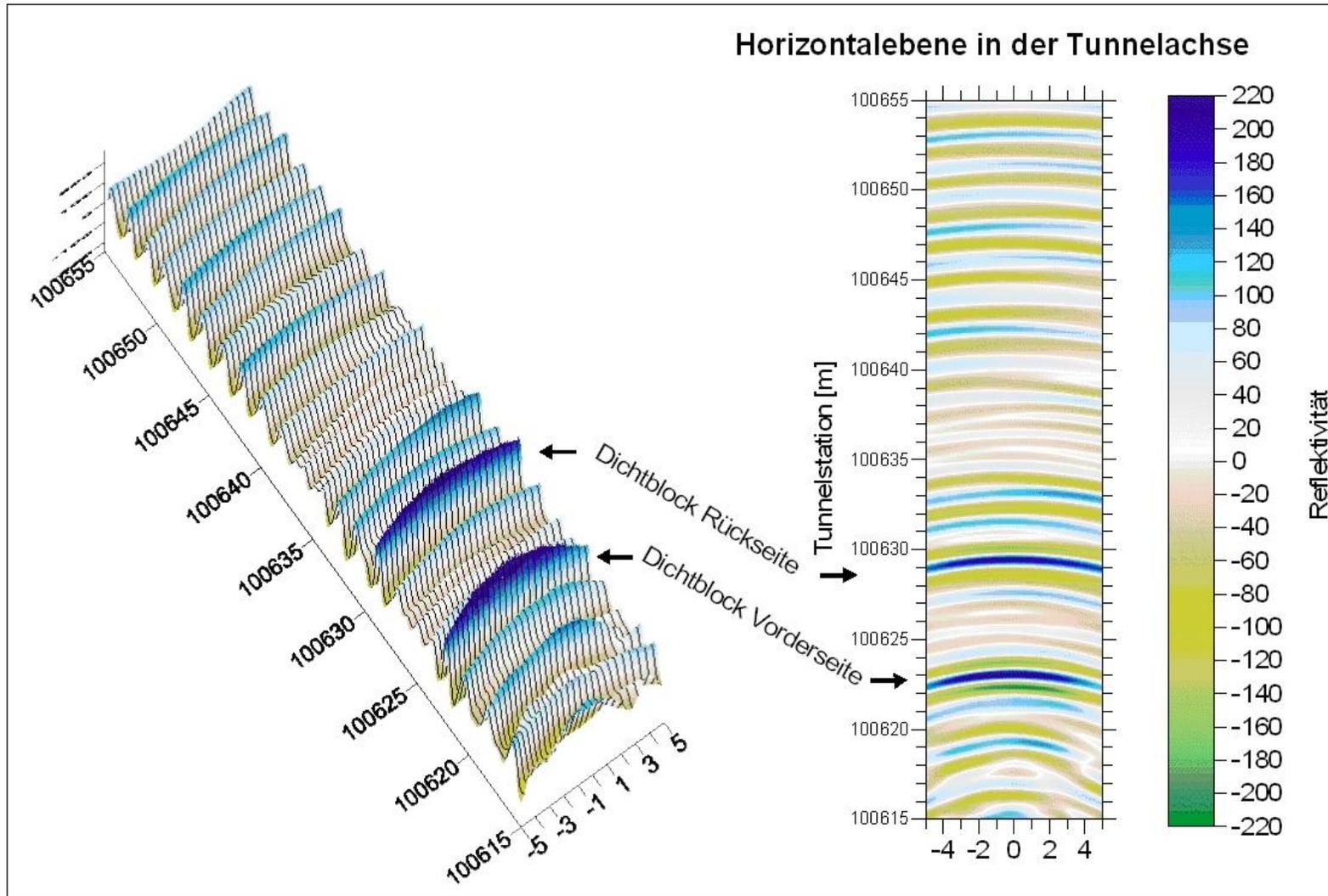
SSP. Installationschema.



SSP. Detektion von Anomalien in grobkörnigen Böden mit geringen
Feinanteilen.



SSP. Ergebnis. S-326 City Tunnel Leipzig (DE).
 Detektion des Dichtblocks.



SSP. Facts.

- TVM-Typ: Mixschild
- Erkundungsreichweite: < 40 m
- Detektionsgenauigkeit: > 0,5 m
- Störkörpergröße: > 0,5 m
- Messung während des Vortriebs → keine Stillstände
- Grad an Automatisierung und TVM-Integration hoch

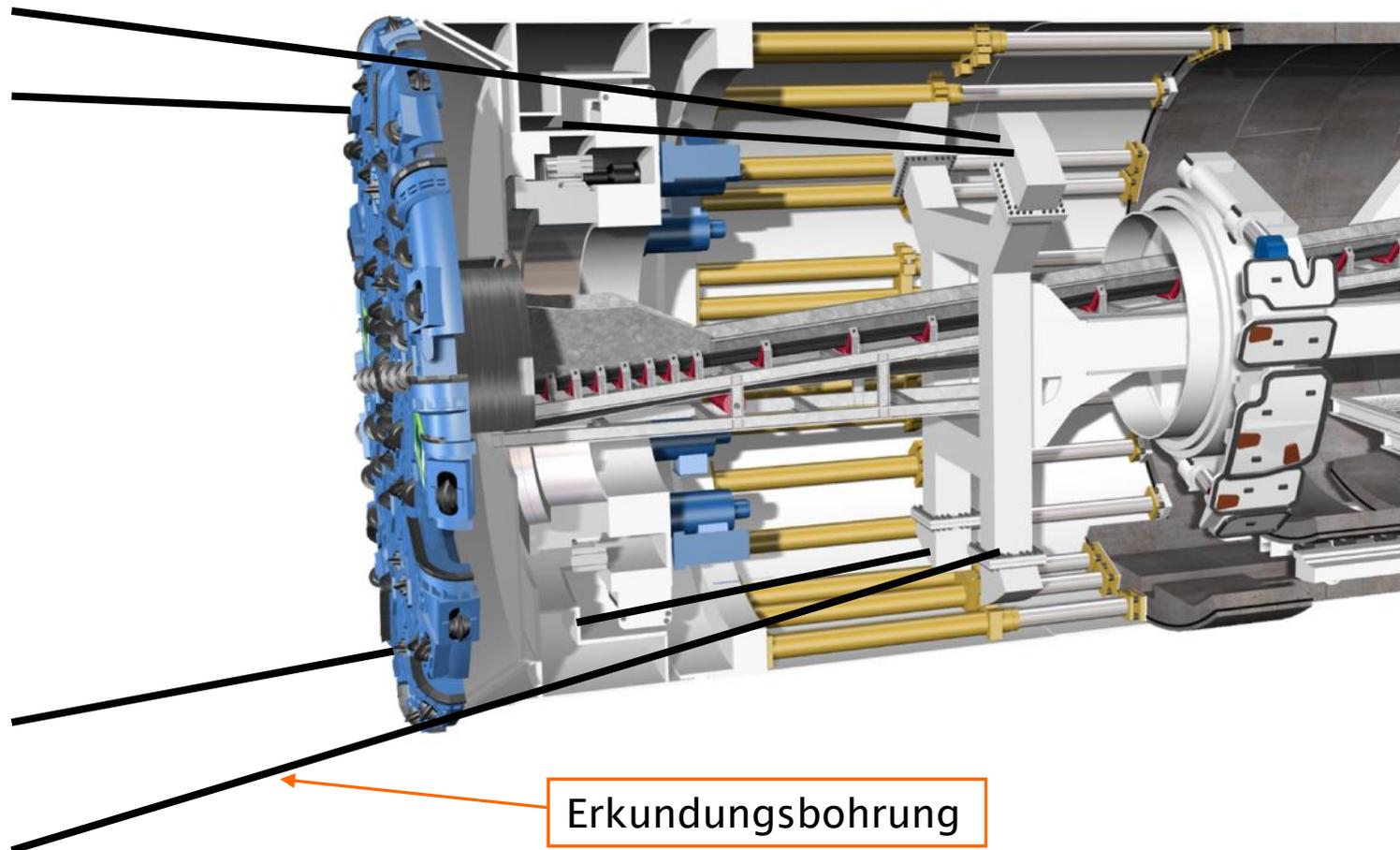
SSP – Referenzen.

S-108	4. Röhre Elbtunnel, Hamburg
S-144	Botlekspoortunnel, Niederlande
S-150	Sofiaspoortunnel, Niederlande
S-164	Lefortovo, Moskau
S-168	Pannerdensch Kanaal, Niederlande
S-252	Kuala Lumpur, Malaysia
S-253	Kuala Lumpur, Malaysia

S-258	Flughafen S-Bahn, Hamburg
S-293	Randstad Rail, Rotterdam
S-314	Stadtbahn Köln, Los Nord
S-321	Stadtbahn Köln, Los Süd, Weststrecke
S-322	Stadtbahn Köln, Los Süd, Oststrecke
S-326	City-Tunnel Leipzig
Aktuell U5 Berlin und USTRAB Karlsruhe	

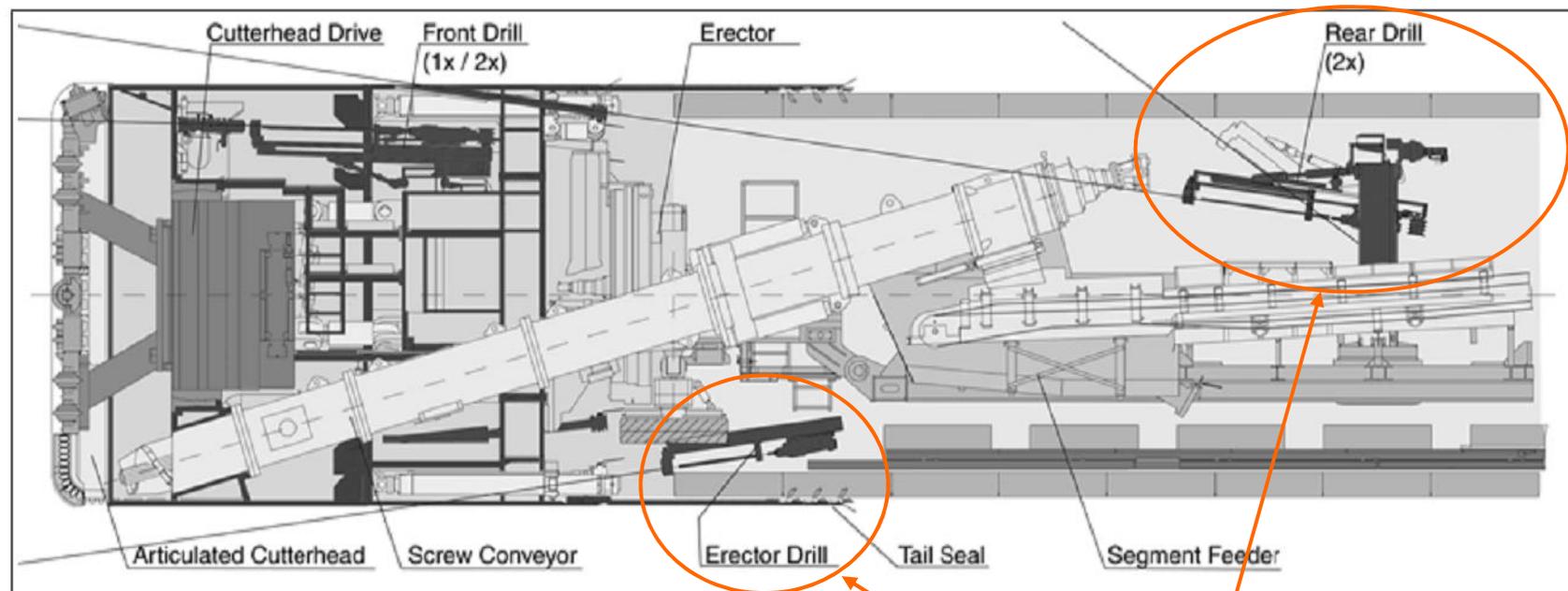
B2c. Measurement While Drilling - MWD. Bohrlocherkundungsraster einer TBM.

Möglichkeit der Messung mittels Bohrlocherkundung durch den Schild.



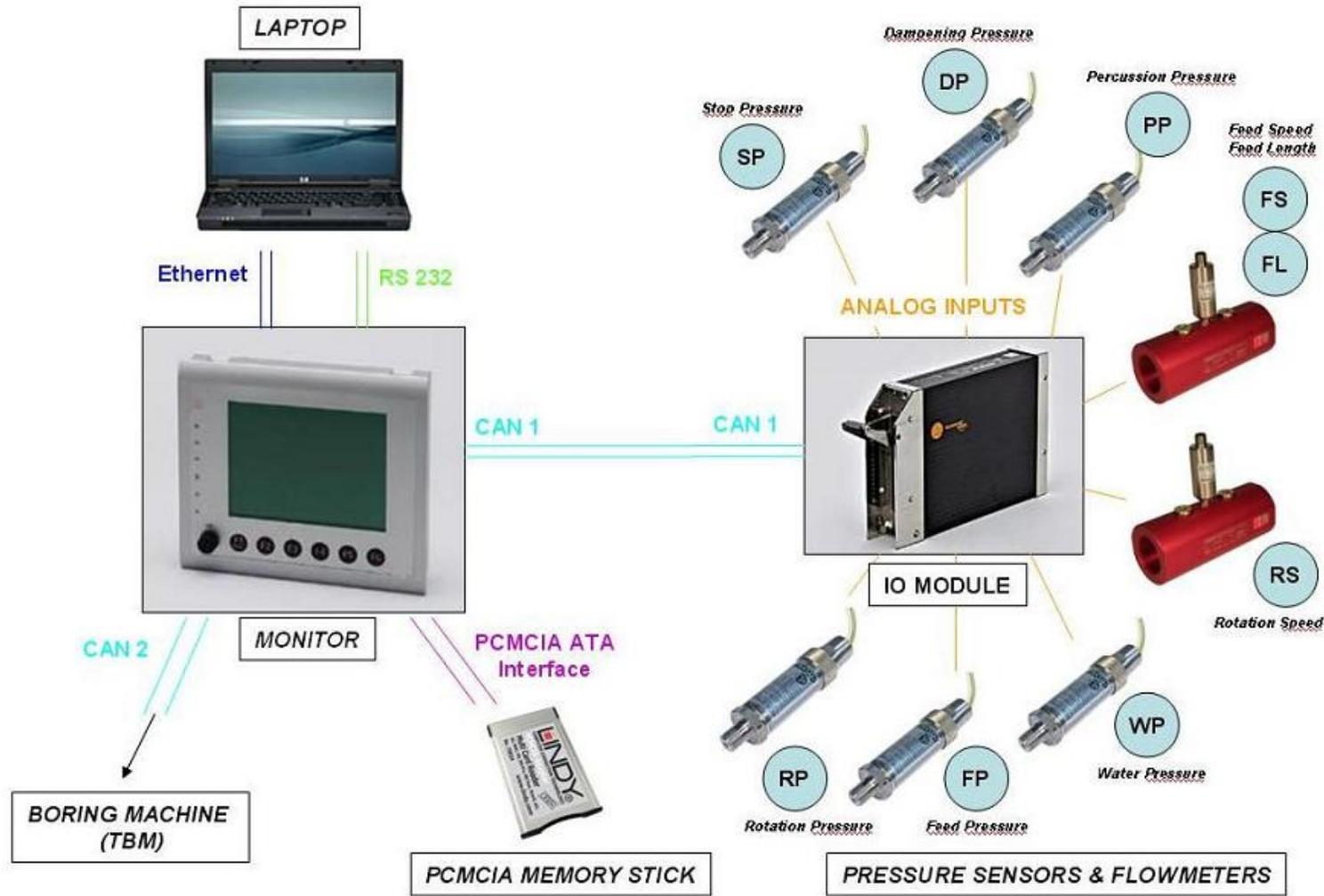
MWD. Anordnung der Bohrgeräte. Beispiel: Projekt Arrowhead (USA).

- 5,8 m Durchmesser geschliddete Hartgesteins-TBM.
- Datenerfassungssystem verbunden mit dem Erkundungsbohrungssystem.
- Detektionsreichweite: ~ 45 m.

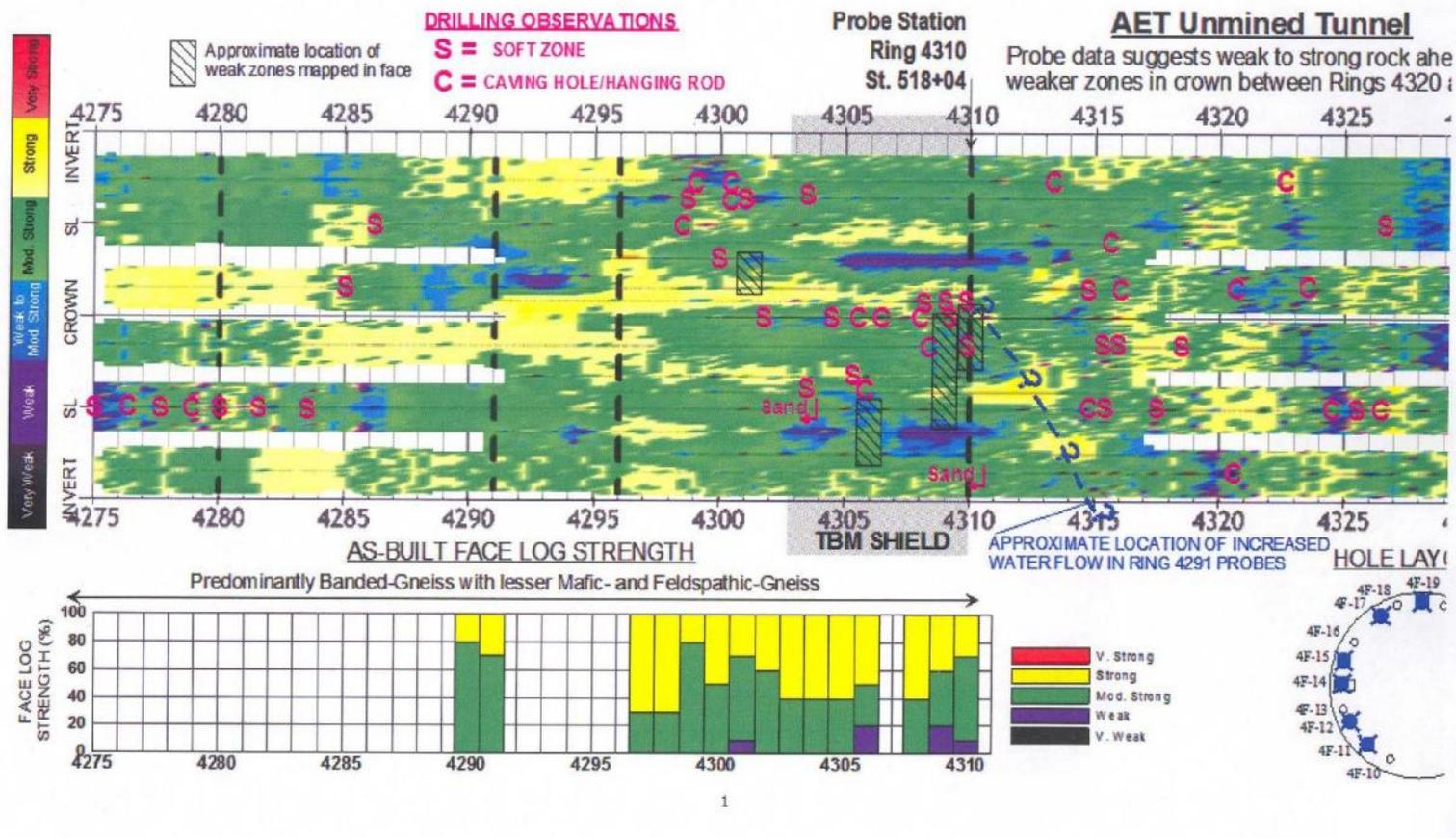


Bohrgeräte

MWD. Datenerfassungssystem.

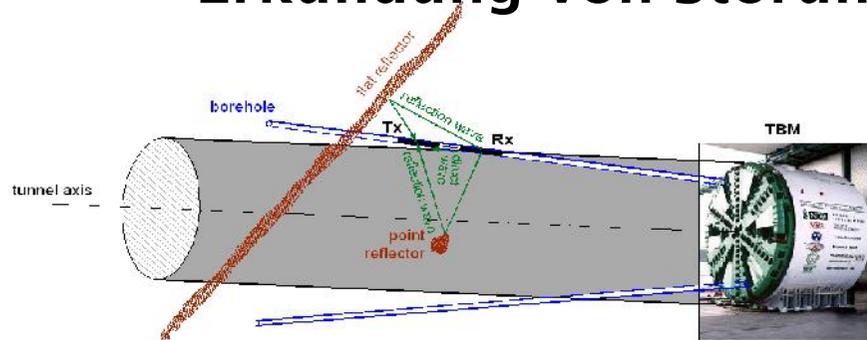


MWD. Interpretation der Daten und Farbdarstellung.



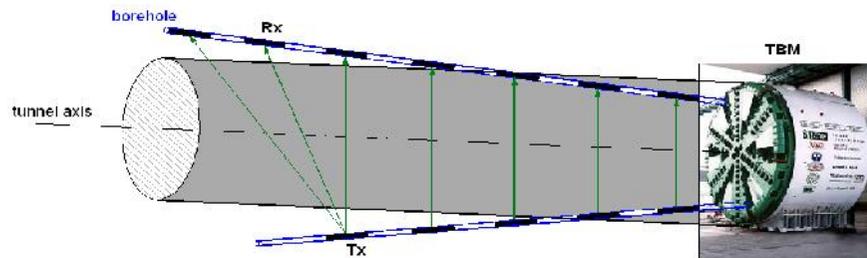
- Aufgezeichnete Parameter:**
- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| 1 - Vortriebsgeschwindigkeit | 5 - Bohrgut |
| 2 - Penetration | 6 - Wasser |
| 3 - Drehzahl | 7 - Hohlräume |
| 4 - Vortriebskraft | 8 - Optional Kernbohrung |

B2d. Bohrloch Radar Technologie - Bo-Ra-tec. Erkundung von Störungen und Karstanomalalien.



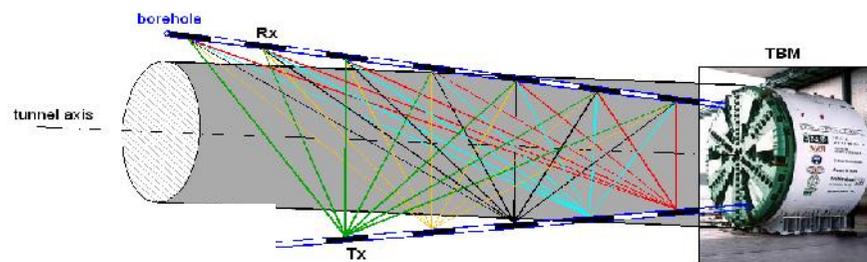
Reflexions-Messung

- Sender und Empfänger mit einem konstanten Abstand im Bohrloch
- Aussagen über geologische und tektonische Strukturen um das Bohrloch
- Lokalisierung von Karststrukturen um das Bohrloch



Crosshole-Messung

- Sender und Empfänger getrennt aber generell parallel in zwei verschiedenen Bohrlöchern geführt
- Aussagen über die mittlere Geschwindigkeit und Dämpfung abhängig von der Strecke zwischen den beiden Bohrlöchern
- Direkte Aussagen über offene Karststrukturen



Tomographische Messungen

- Sender und Empfänger getrennt in zwei verschiedenen Bohrlöchern
- Verteilung von Geschwindigkeit und Dämpfung in der Ebene zwischen den beiden Bohrlöchern
- Abschätzung der Dimensionen von Karststrukturen



Messdurchführung

1. Bohrung

- Ein, zwei oder besser drei Bohrlöcher zur Erkundung mit Georadar
- Bohrungen alternativ auf 1 und 7 Uhr- oder 5 und 11 Uhr-Position
- Maximale Länge von 30 Metern bei geneigten Bohrungen aus dem TBM-Schild



2. Installation der Rohre

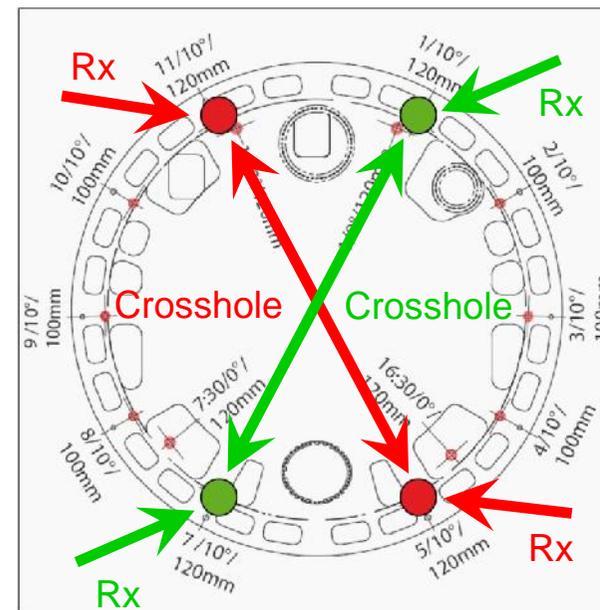
- Installation von 2,5-Zoll-PVC-, PE- oder HDPE-Rohren zum Schutz der Radarantennen



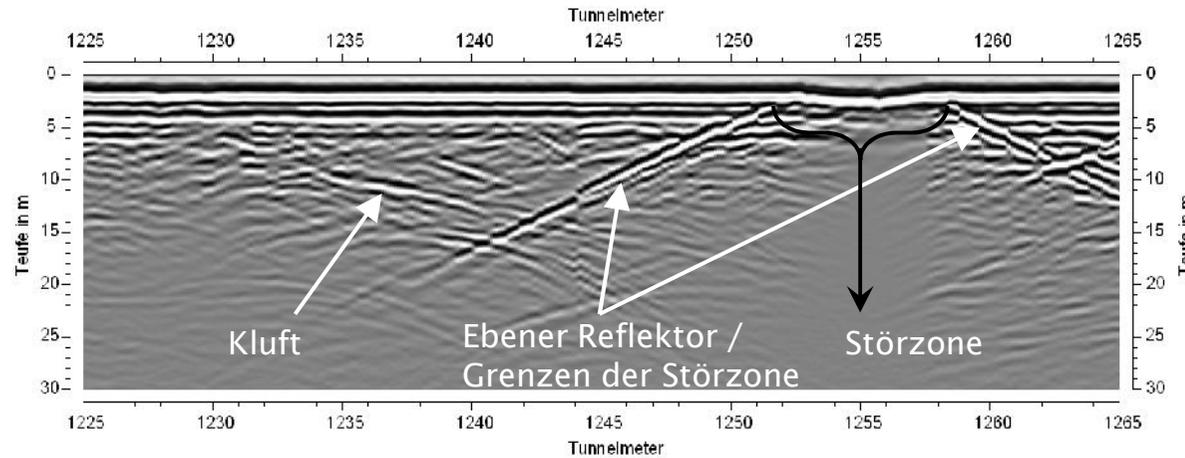
3. Messung



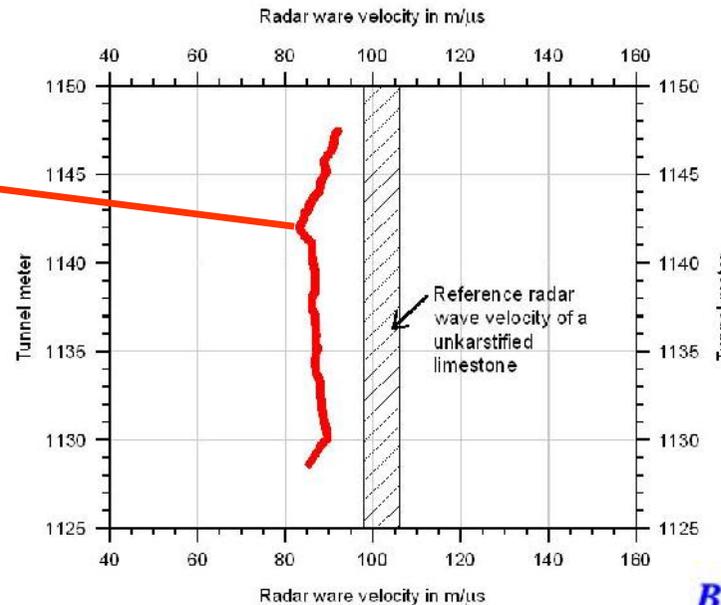
- Reflexions-Messung (Rx) in jedem Bohrloch
- Crosshole-Messung zwischen zwei Bohr-
löchern
- Messung der Bohrlochabweichung in
jedem Bohrloch
- 22 MHz, 60 MHz, 100 MHz und 250 MHz
Antennen, abhängig von den
physikalischen Bedingungen



4. Ergebnisse



- Radargramm einer Reflexions-Messung mit markierten Reflexionsstrukturen.
- Ursache: Störungen und Verkarstung.



- Interpretationsbeispiel einer Crosshole-Erkundung;
- Detektion einer mit tonigen Sedimenten verfüllten Karststruktur

C. Fakten Methodenüberblick.

Comparison of geophysical prediction systems	Geophysical System				
	TSP	ISIS	SSP	BORATEC	MWD
	Tunnel Seismic Prediction	Integrated Seismic Imaging System	Sonic Softground Probing	Borehole Radar Technology	Measurement While Drilling
Manufacturer	Amberg Messtechnik	Herrenknecht AG	Herrenknecht AG	Bo-Ra-tec GmbH	HK Drilling Systems
Method	Reflection seismics	Reflection seismics	Reflection seismics	Borehole Geo Radar	Drilling
Geology	Hardrock	Hardrock	Softground	does not work in clay and salty water	Any geology
Detection of	faults, voids	faults, voids	heterogeneities, boulders, voids, anthropogenic installations	heterogeneities, boulders, voids, anthropogenic installations	voids, changes of torque, penetration and rotation speed
Resolution / Range	≥ 5m / 150m	≥ 5m / 150m	≥ 0,5m / 40m	0,1m / 10m	0,1 / 30m
Advantage	no downtime, measurement during standstill	no downtime, measurement during standstill	no downtime, measurement during advance	additional information in plane	direct detection, cheap
Disadvantage	blastings required	forerun of 50m for first reliable detection, low resolution	components installed in cutting wheel	prevention necessary on high water pressure	downtime, punctual result, indistinct result

D. Ausblick.

Entwicklung einer Methode zur Vorauserkundung auf EPB-TVM.

A photograph of two workers in a tunnel. The workers are wearing red high-visibility clothing and hard hats. One worker is standing on the left, and the other is kneeling on the right, holding a camera. The tunnel walls are dark and textured, with a bright light source illuminating the scene from the left. The text "VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT." is overlaid in white, bold, uppercase letters in the center of the image.

**VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT.**

Fragen?