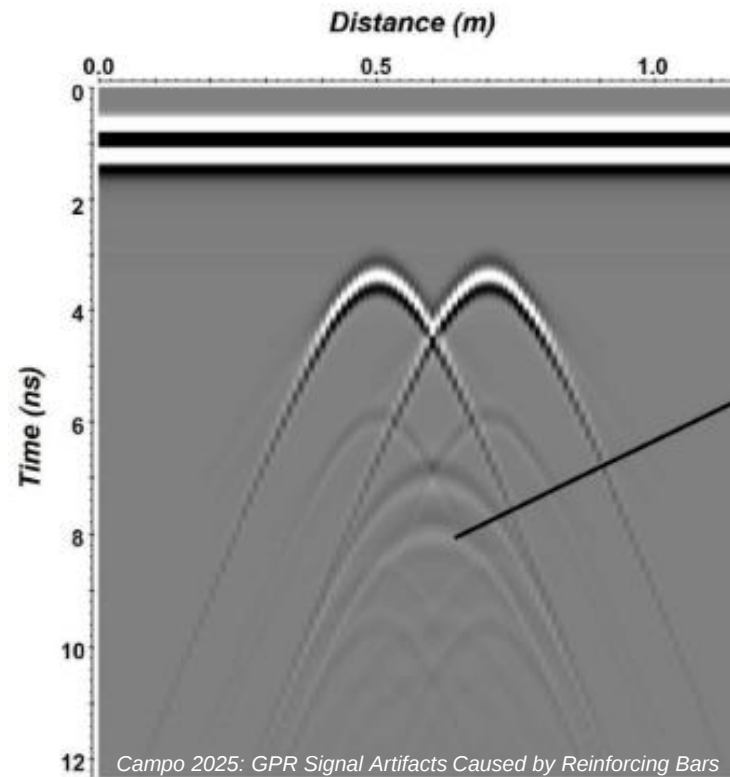




# **Bohrlochgeoradar zur Kampfmitteldetektion – Möglichkeiten und Grenzen**

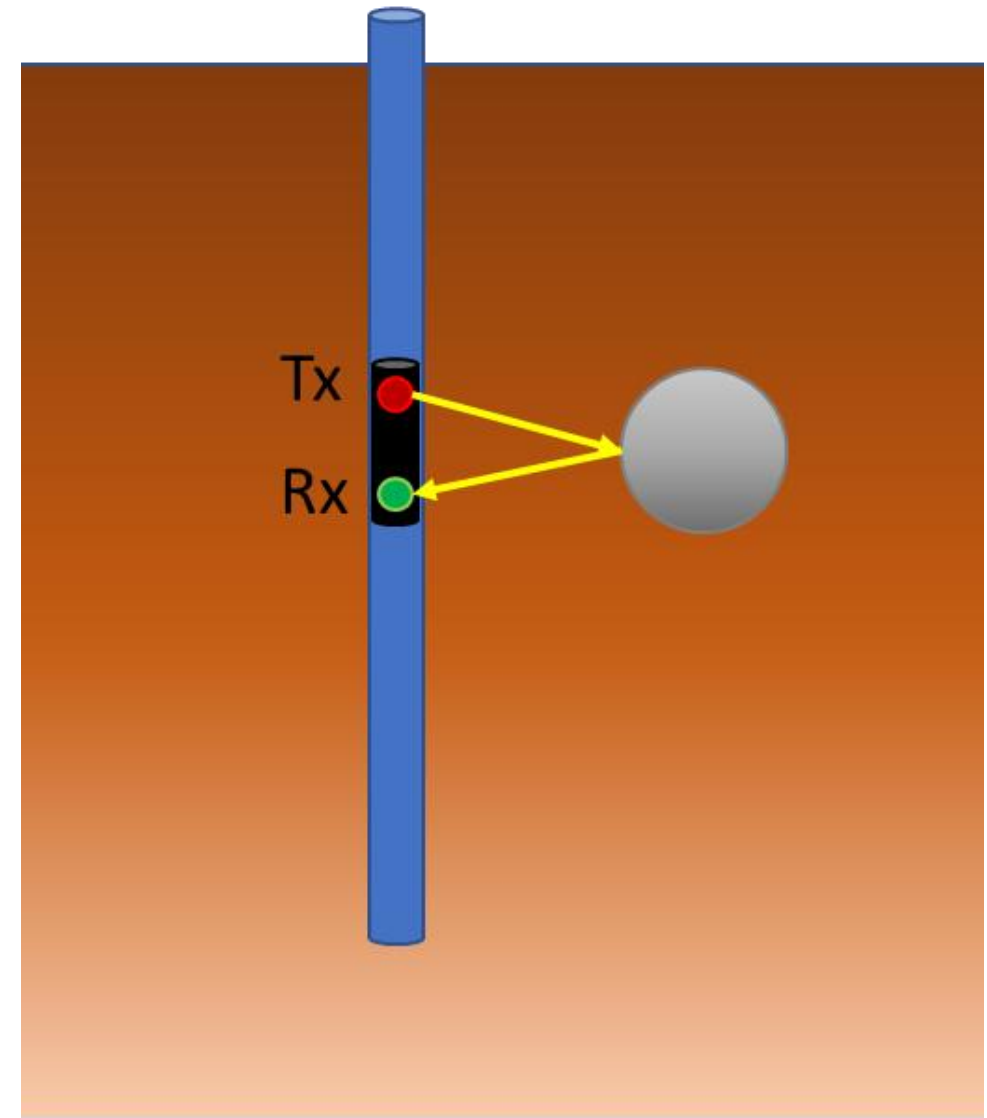
**Dr. Jan-Philipp Schmoldt (NLBL)**

- Das Georadar ist eine nicht-invasives Verfahren zur Erkundung von Strukturen und Objekten im Untergrund



| Jahr   | Meilenstein                                                                  |
|--------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1926   | Erste Experimente mit Georadar zur Bestimmung von Gletschermächtigkeiten     |
| 1970er | Verfügbarkeit von kommerziellen Georadar-Systemen mit analogen Komponenten   |
| 1980er | Verbesserung der Georadar-Systeme durch Einführung von digitalen Komponenten |
| 2000er | Verbesserung der Georadar-Systeme durch neue Antennen                        |
| 2010er | Verbesserung der Georadar-Systeme durch neue Software-Pakete                 |

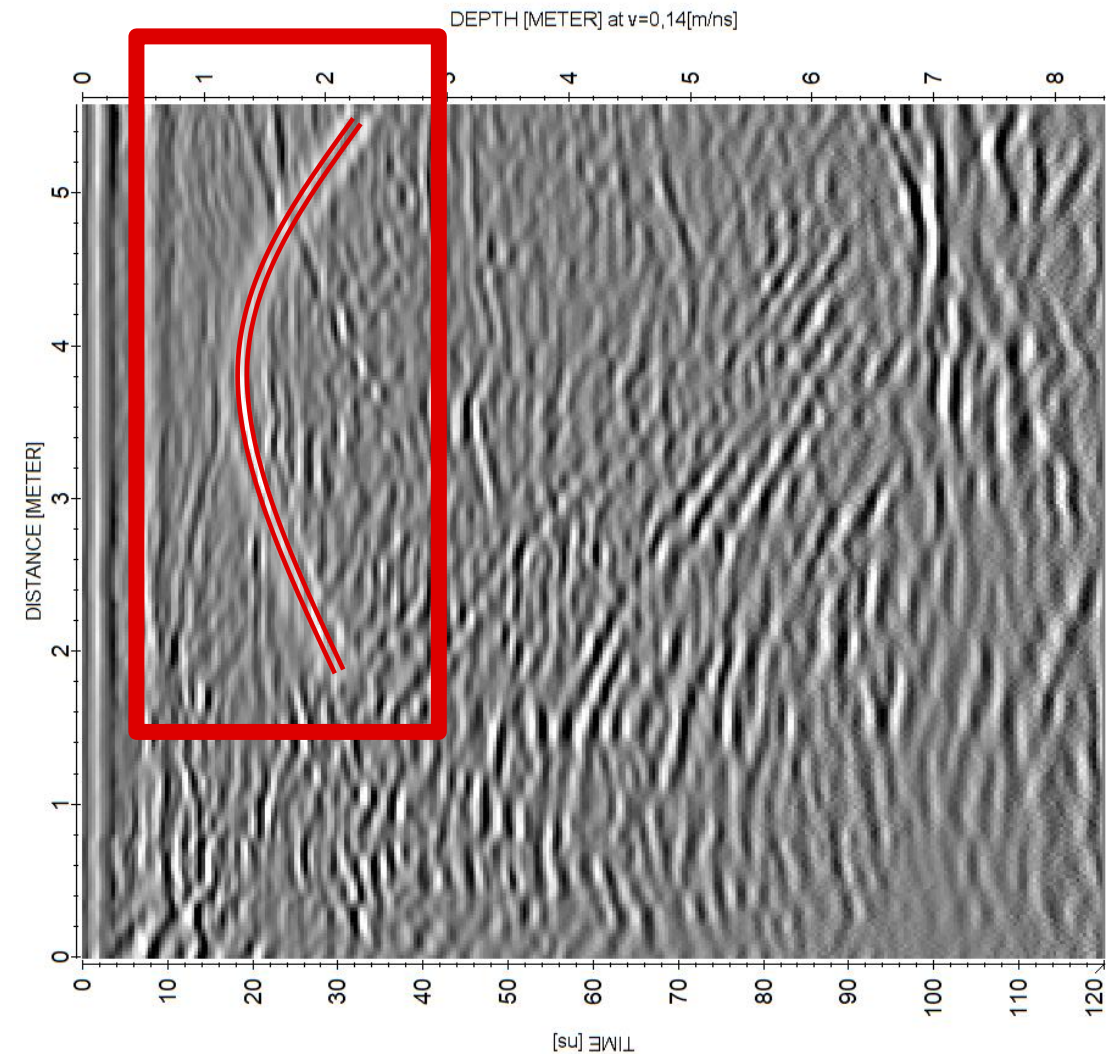
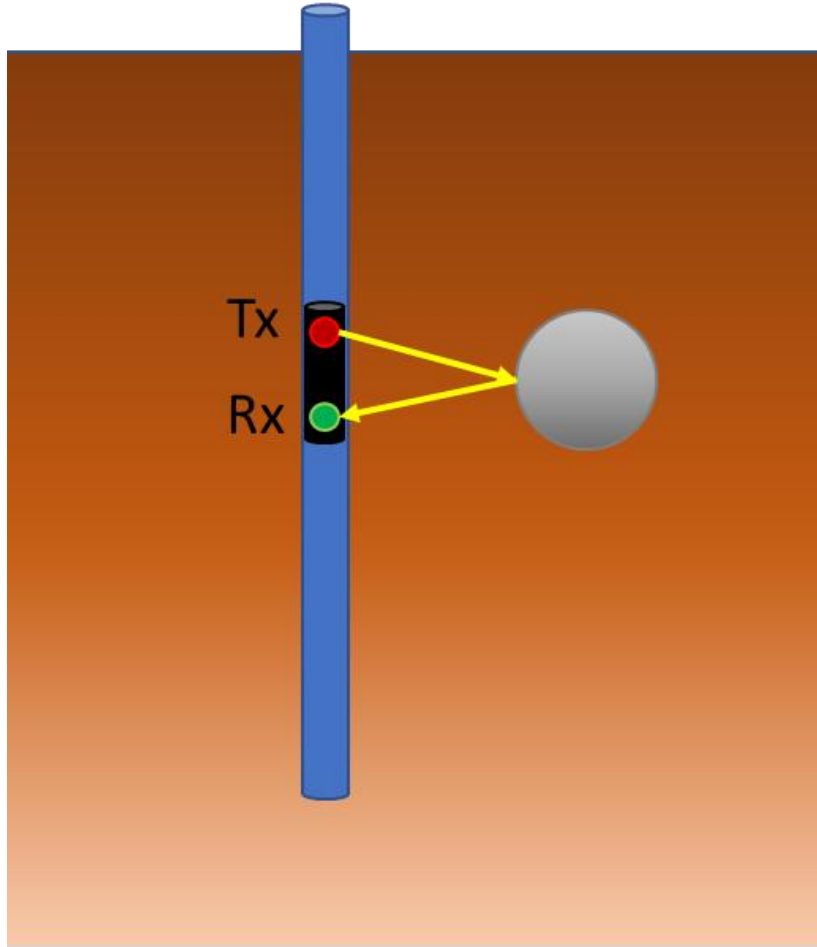
- Prinzipiell in der Lage, Objekte im Untergrund zu detektieren, die Ähnlichkeit mit Kampfmitteln haben.
- Ablauf
  - 1) Emission von Signalen am Transmitter (Tx)
  - 2) Reflexion an Grenzflächen
  - 3) Aufzeichnung am Empfänger (Rx)
- Vergleichbar mit Echolot-Verfahren, nur mit *elektromagnetische* Signalen

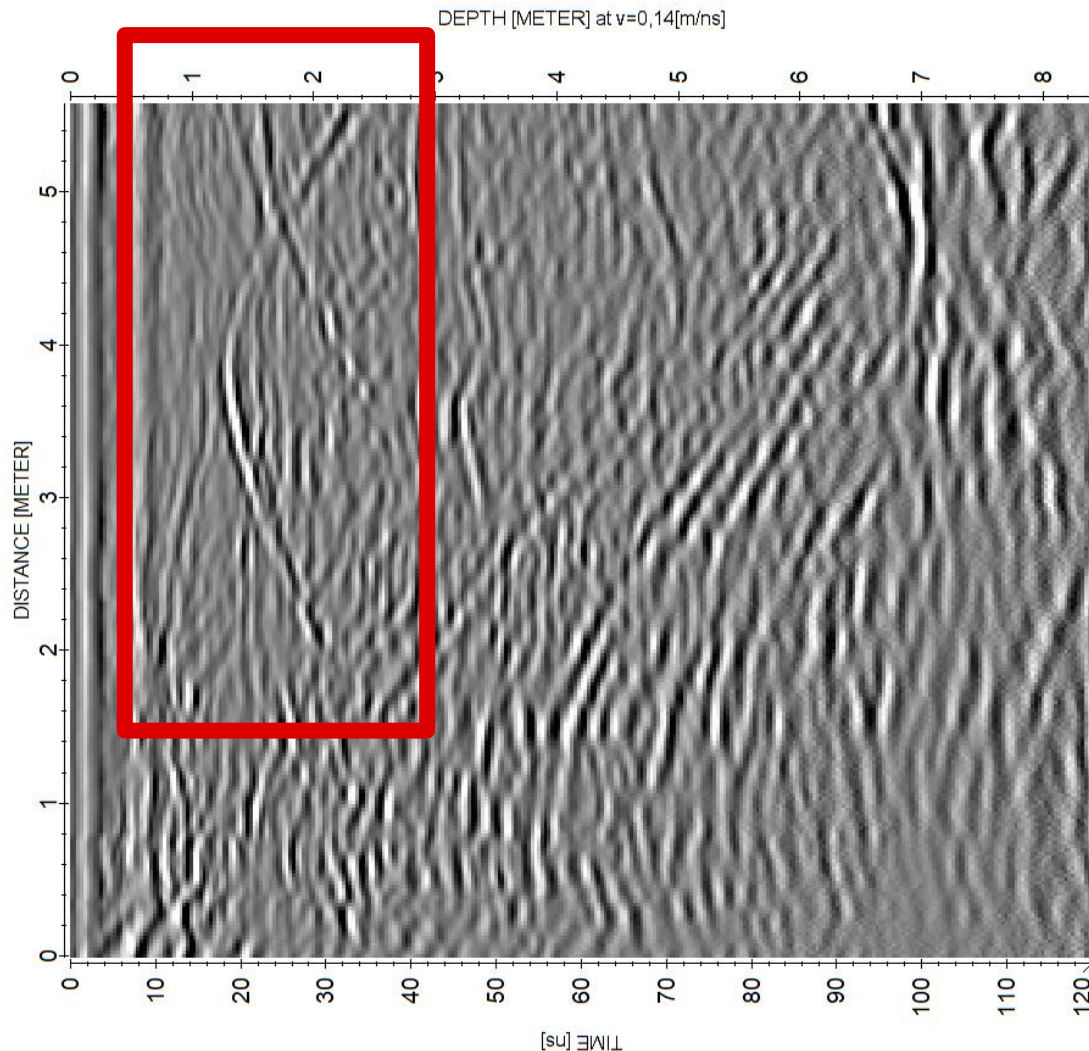


# Prinzip des Bohrloch-Georadarverfahrens



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften





- Die Aufgezeichneten Messdaten werden zu 2D-Diagrammen zusammengefasst
- Bei Bohrloch-Messungen ist die Tiefe auf der vertikalen Achse aufgetragen und die radiale Entfernung vom Bohrloch auf der horizontalen Achse
- Signaturen von Kampfmitteln können sich dann als Kurven (sogenannten Hyperbeln) in den Daten abzeichnen

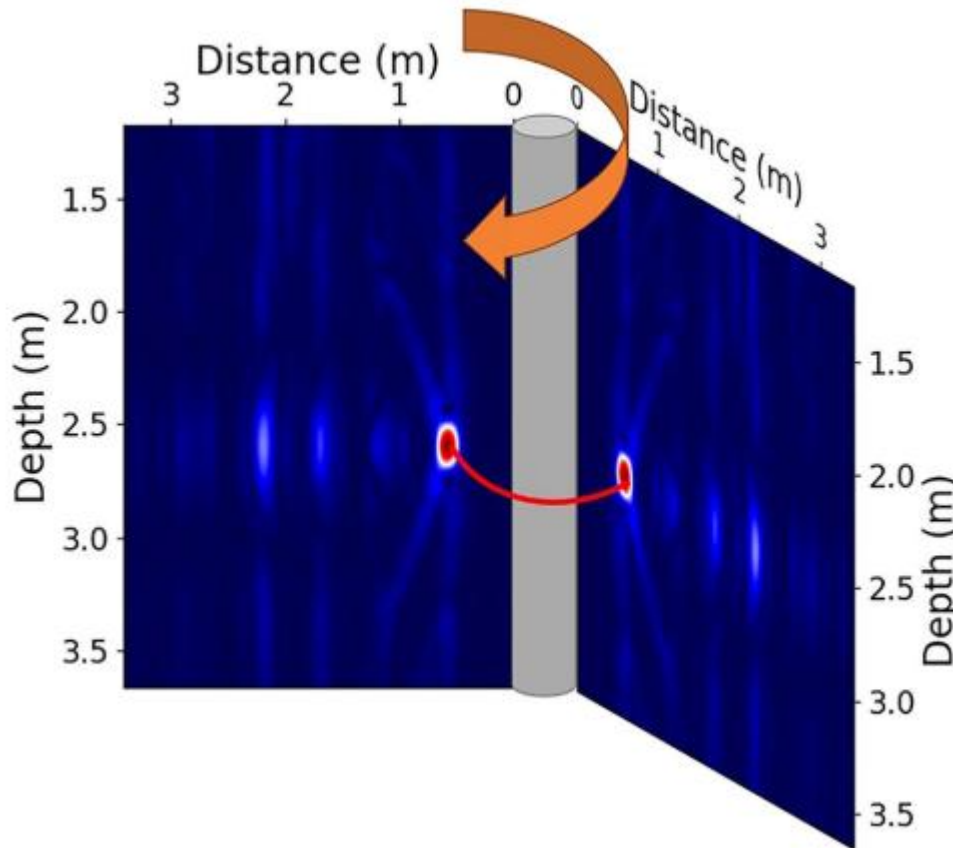
# Mehrdeutigkeit der Richtung



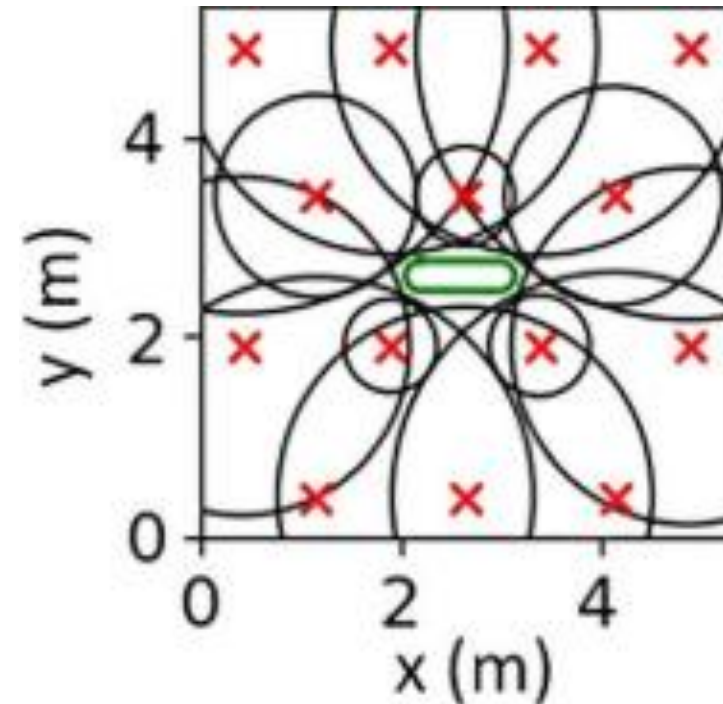
Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften



# Mehrdeutigkeit der Richtung



- Umgehen der Mehrdeutigkeit durch Einsatz mehrere Sondierungen  
→ Schnittpunkte der Kreise  
→ „Hohlräume“



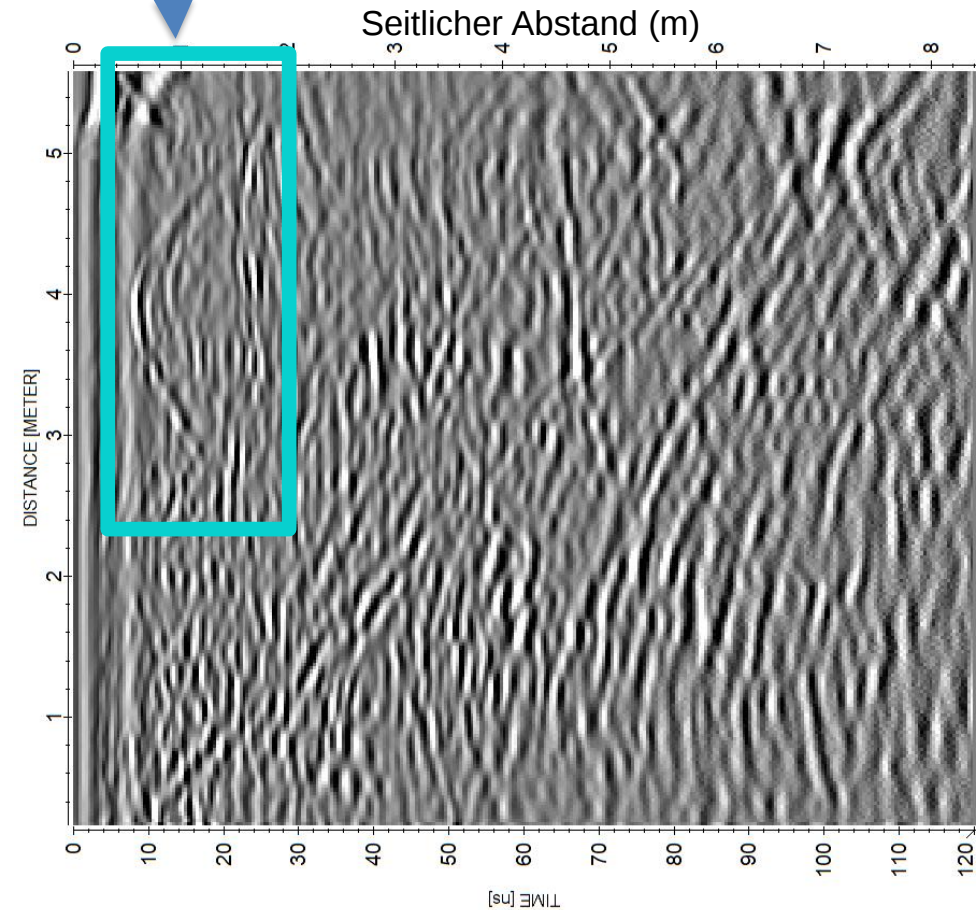
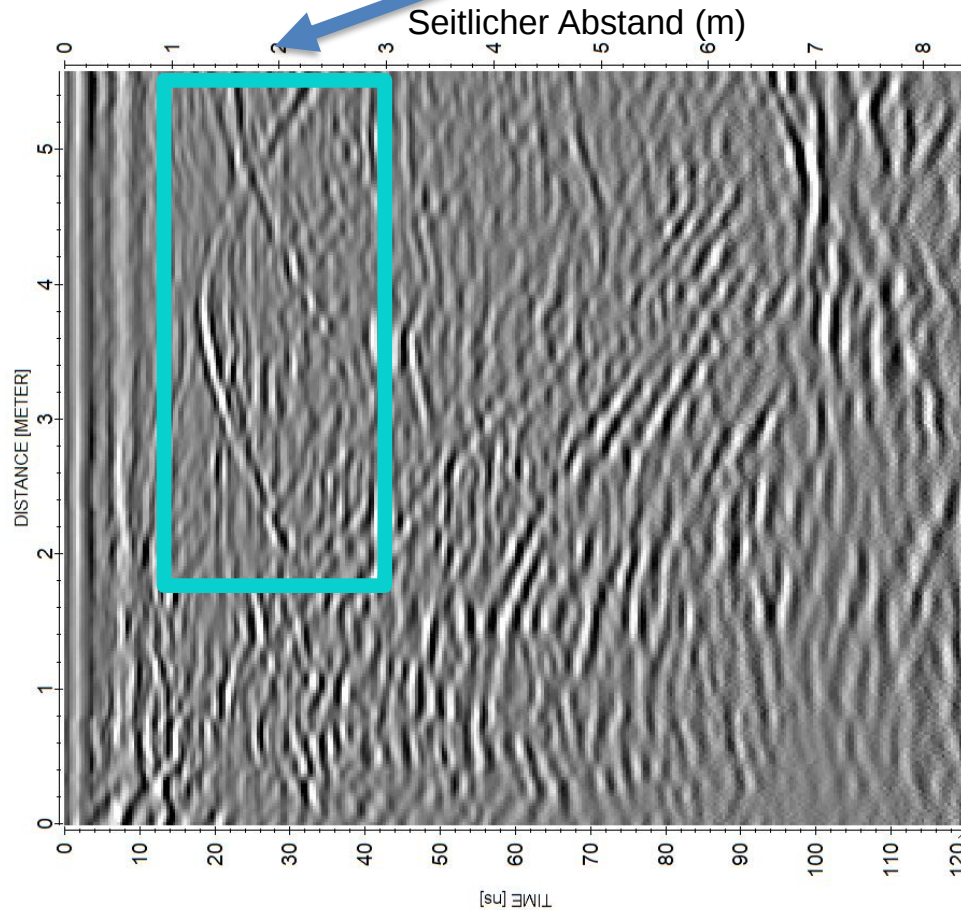
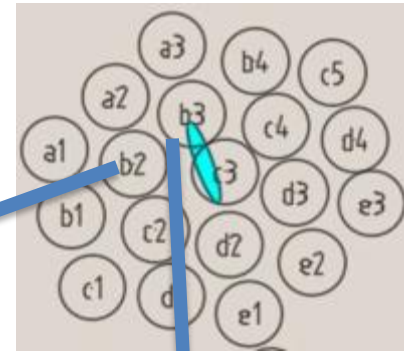
# Erfolgreiche Detektion



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften

## Messaufbau

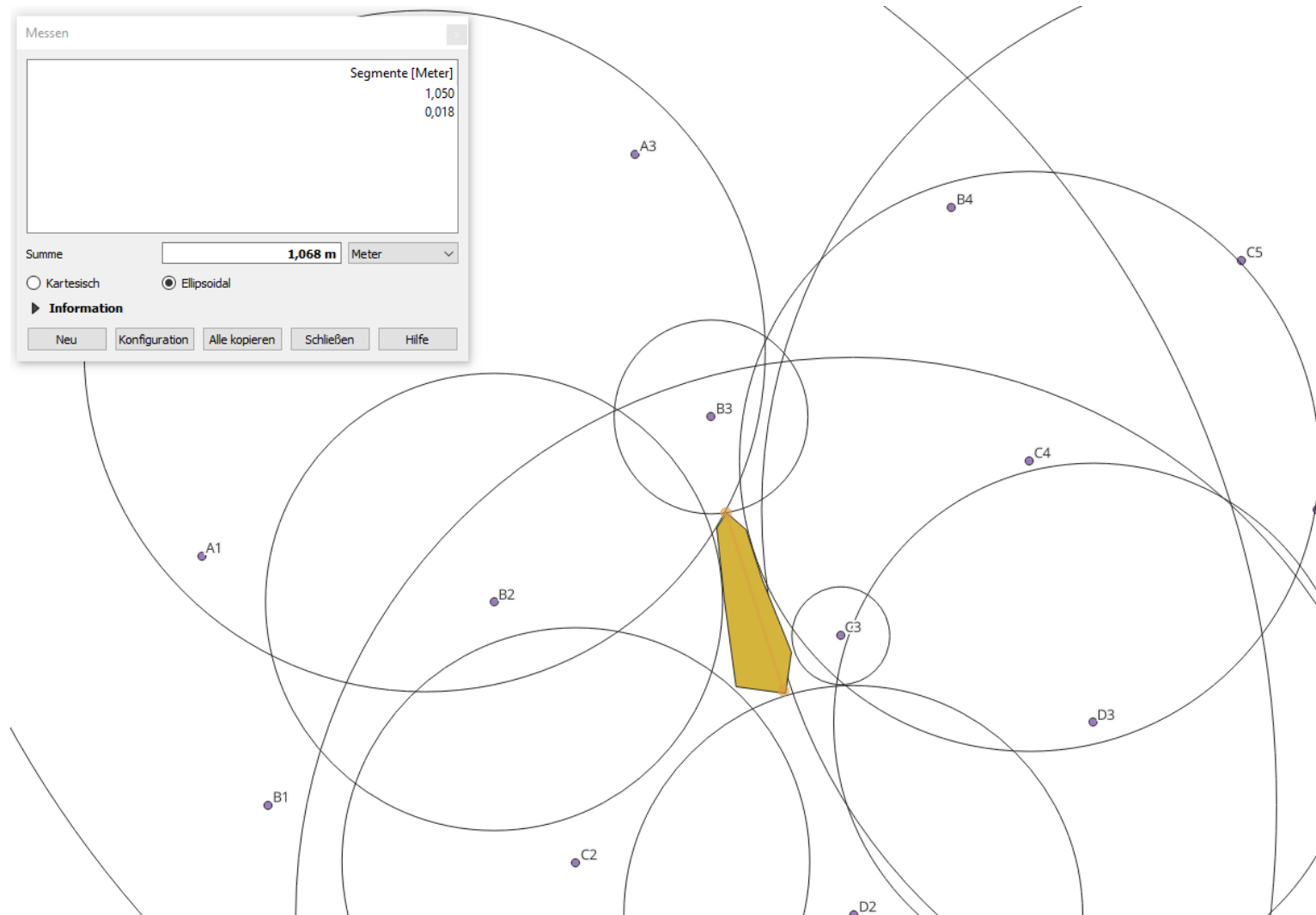
Bohrlochfeld (Draufsicht)  
mit 19 Bohrlöchern (Kreise)  
und Bomben-Dummy (türkises Oval)



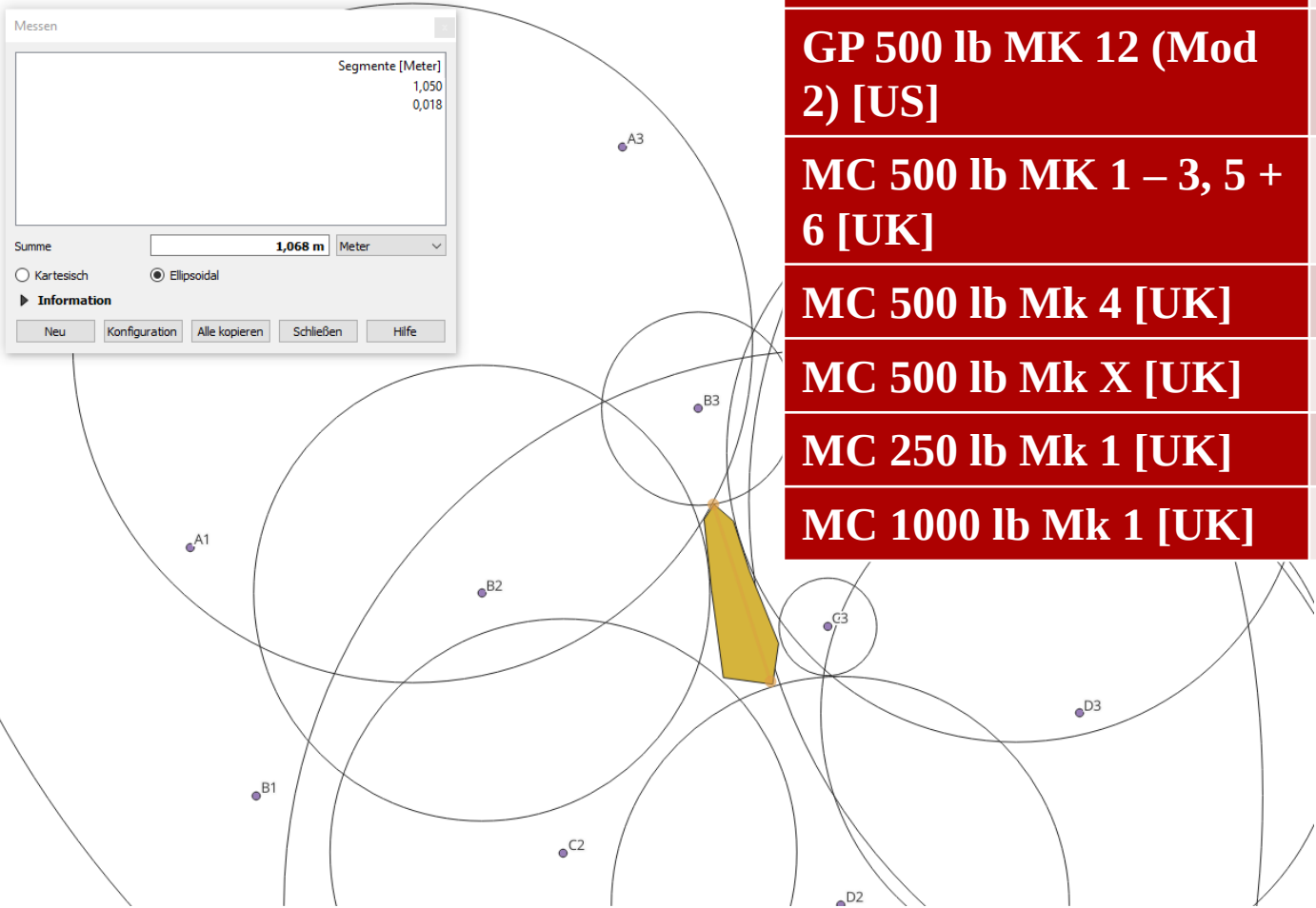
# Erfolgreiche Detektion → Objektbestimmung



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften



# Erfolgreiche Detektion → Objektbestimmung

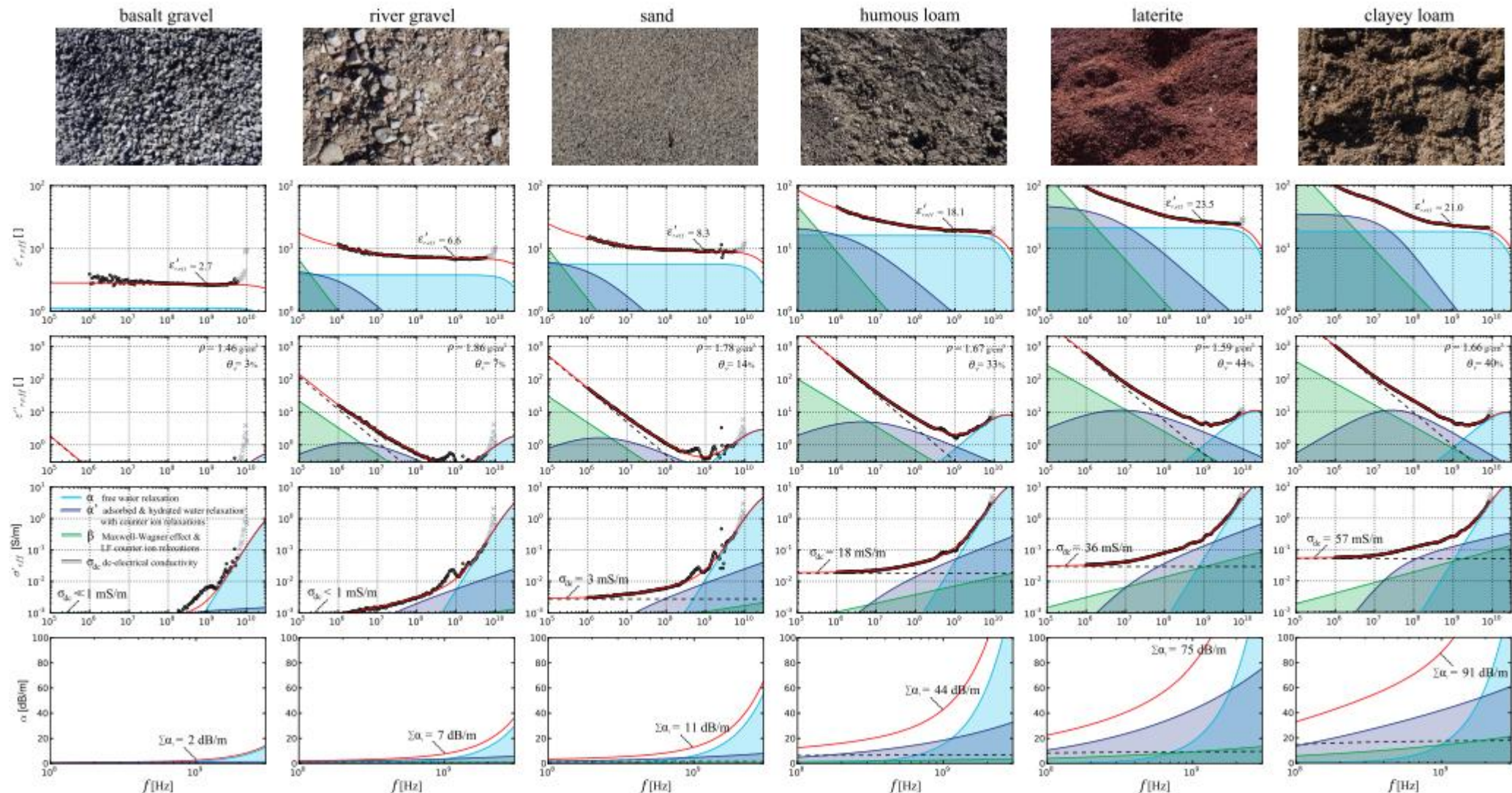


|                                | Length (m) | Width (m) |
|--------------------------------|------------|-----------|
| calculated                     | 1,05       | 0,27      |
| GP 500 lb M43 [US]             | 1,143      | 0,360     |
| GP 500 lb MK 12 (Mod 2) [US]   | 1,082      | 0,356     |
| MC 500 lb MK 1 – 3, 5 + 6 [UK] | 1,041      | 0,328     |
| MC 500 lb Mk 4 [UK]            | 0,914      | 0,328     |
| MC 500 lb Mk X [UK]            | 1,088      | 0,328     |
| MC 250 lb Mk 1 [UK]            | 0,700      | 0,260     |
| MC 1000 lb Mk 1 [UK]           | 1,334      | 0,451     |

# Einfluss des Bodens auf Georadardaten



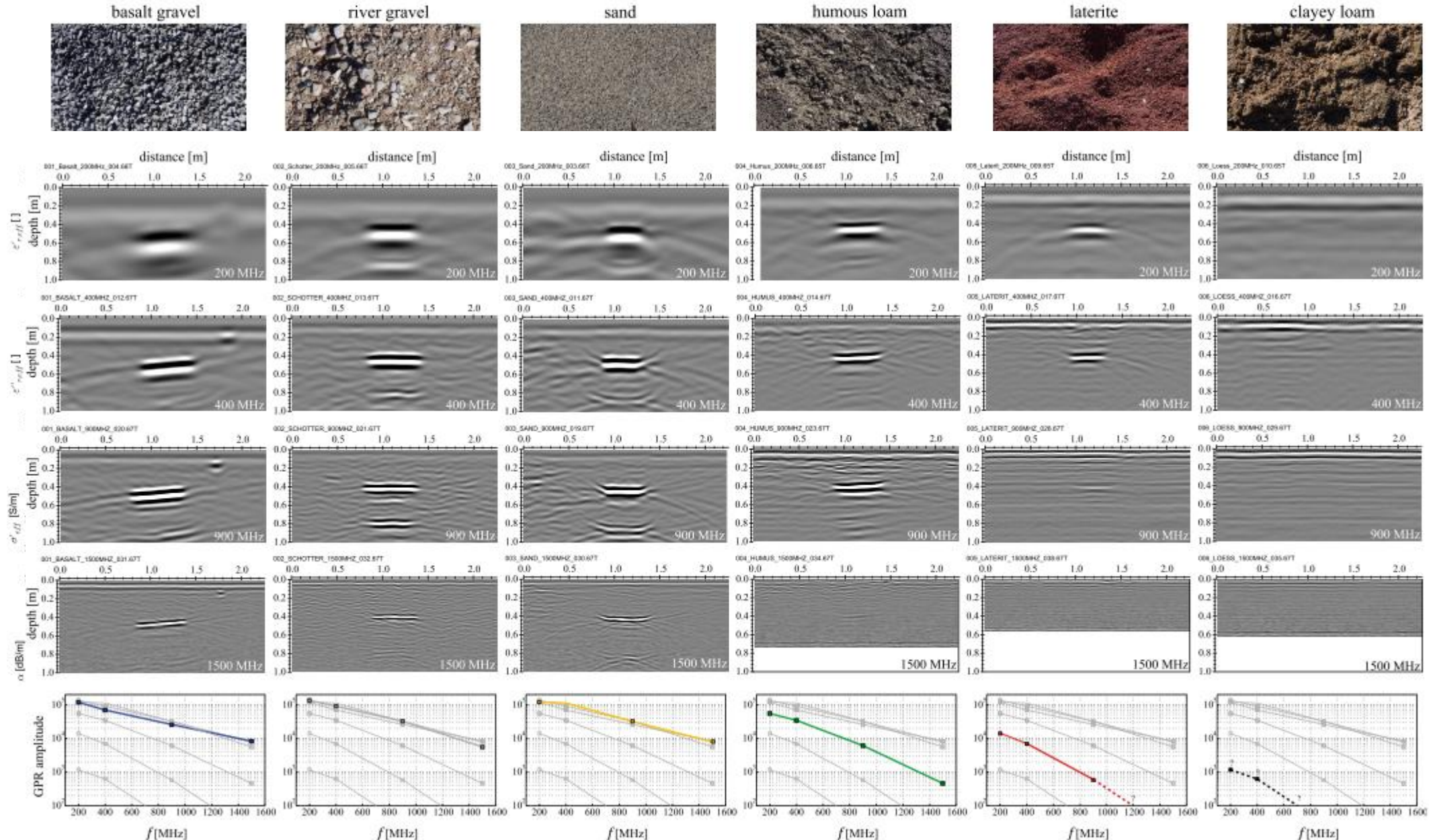
Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften



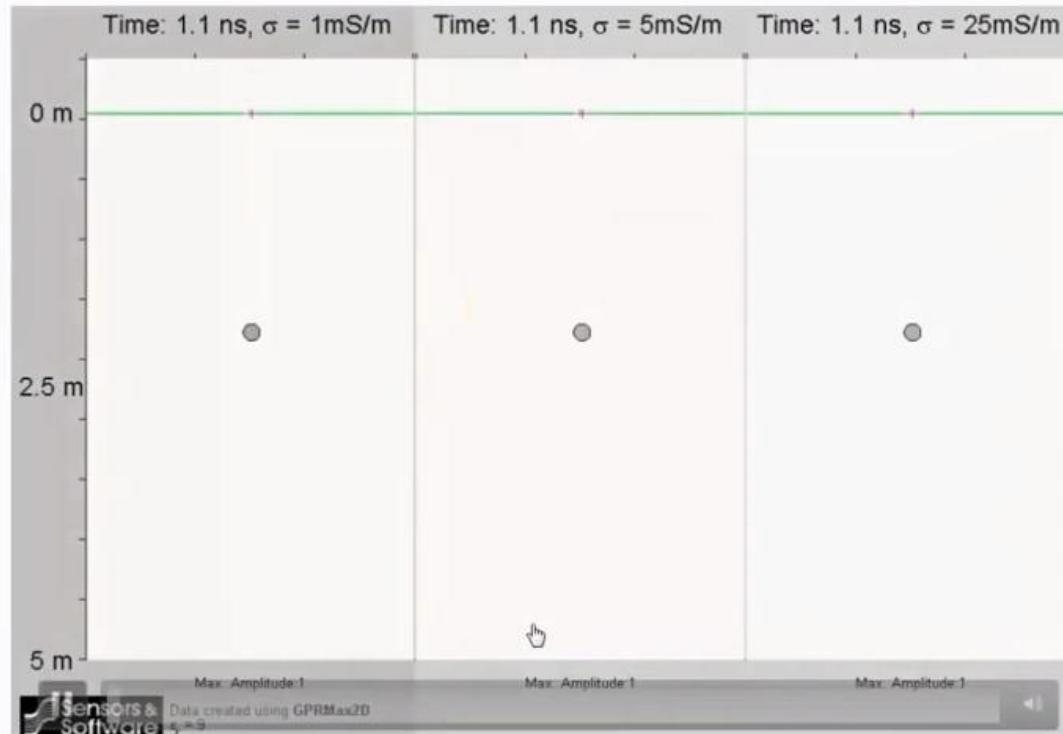
# Einfluss der Frequenz auf Georadardaten



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften



# Einfluss des Bodens auf Georadardaten



Copyright 2017, Sensors & Software



**Tab. 6.1:** Dielektrizitätszahl, Leitfähigkeit, Geschwindigkeit und Dämpfung einiger Materialien bei 100 MHz (modifiziert nach DAVIS & ANNAN 1989). Die Werte für  $v$  sind jeweils typische Werte aus einer möglichen Streubreite, die durch  $\epsilon'_r$  bestimmt wird. Die Werte für Eis wurden von JOHARIN & CHARETTE (1975) bei 60 MHz ermittelt. Die Werte für Öl stammen von BEBLO (1982).

| Material         | $\epsilon'_r$ Dimensionslos | $\sigma$ (mS m <sup>-1</sup> ) | $v$ (m ns <sup>-1</sup> ) | $\alpha'$ (dB m <sup>-1</sup> ) |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Luft             | 1                           | 0                              | 0,2998                    | 0                               |
| Aqua dest.       | 80                          | 0,01                           | 0,033                     | 0,002                           |
| Süßwasser        | 80                          | 0,5                            | 0,033                     | 0,1                             |
| Meerwasser       | 80                          | 30 000                         | 0,01                      | 1 000                           |
| trockener Sand   | 3 - 5                       | 0,01                           | 0,15                      | 0,01                            |
| gesättigter Sand | 20 - 30                     | 0,1 - 1                        | 0,06                      | 0,03 - 0,3                      |
| Schluff          | 5 - 30                      | 1 - 100                        | 0,07                      | 1 - 100                         |
| Ton              | 5 - 40                      | 2 - 1 000                      | 0,06                      | 1 - 300                         |
| Kalkstein        | 4 - 8                       | 0,5 - 2                        | 0,12                      | 0,4 - 1                         |
| Schiefer         | 5 - 15                      | 1 - 100                        | 0,09                      | 1 - 100                         |
| Granit           | 6                           | 0,01 - 1                       | 0,12                      | 0,01 - 1                        |
| trockenes Salz   | ≈ 6                         | 0,001 - 0,1                    | 0,125                     | 0,01 - 1                        |
| Eis              | 3,18                        | 0,01                           | 0,168                     | 0,02                            |
| Öl, Asphalt      | 2 - 3                       | 0,01                           | 0,19                      | 0,01                            |

# Einfluss der Frequenz auf Georadardaten



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften

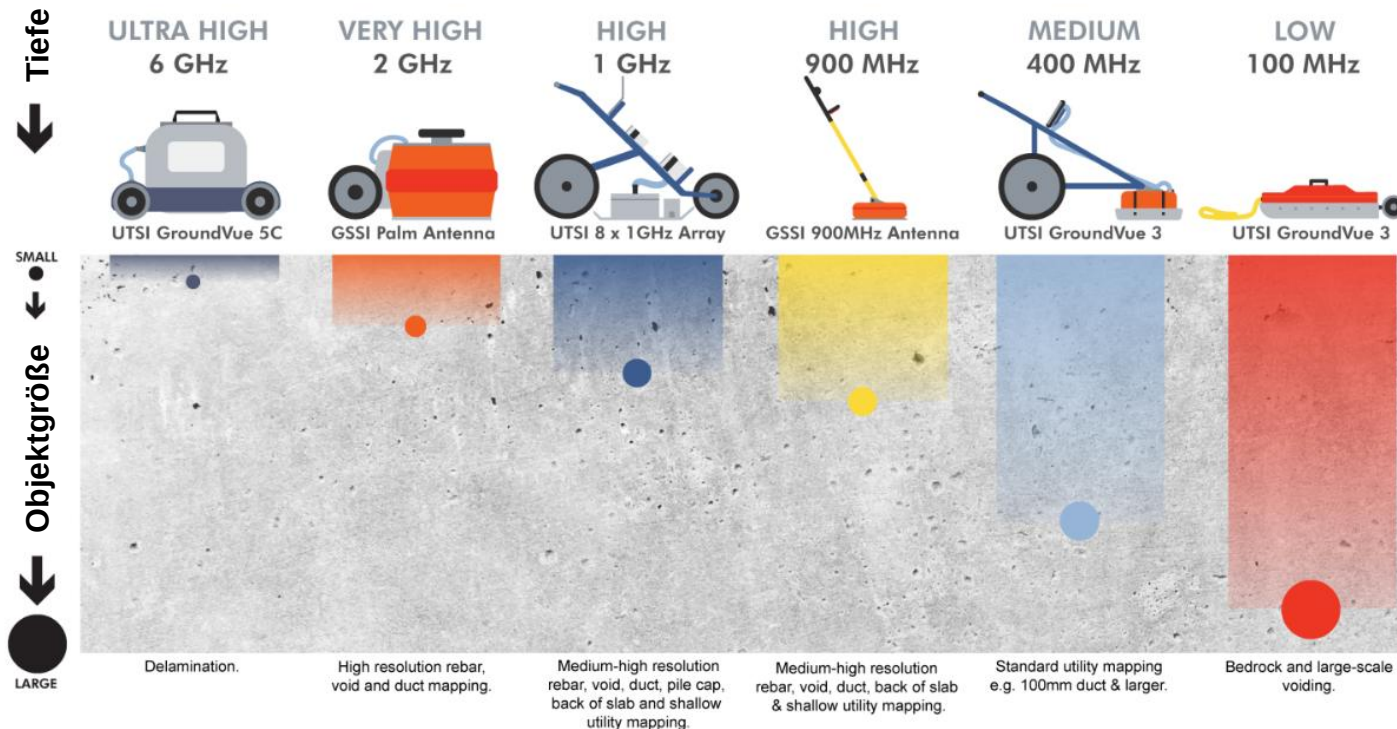
## Hohe Frequenzen

- Hohe Auflösung
- Geringe Eindringtiefe

## Niedrige Frequenzen

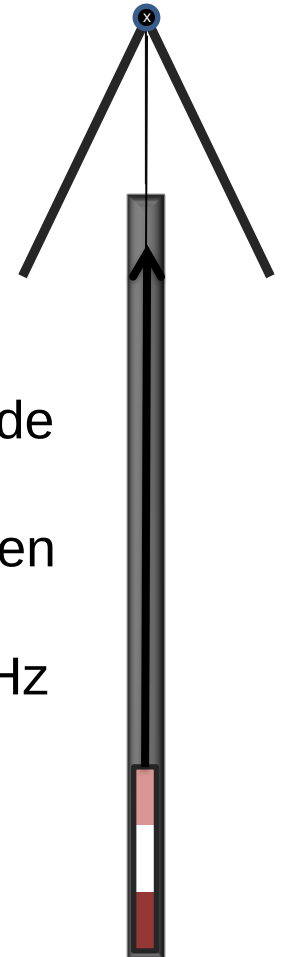
- Große Eindringtiefen
- Geringe Auflösung

Frequenz: Hoch ← → Niedrig

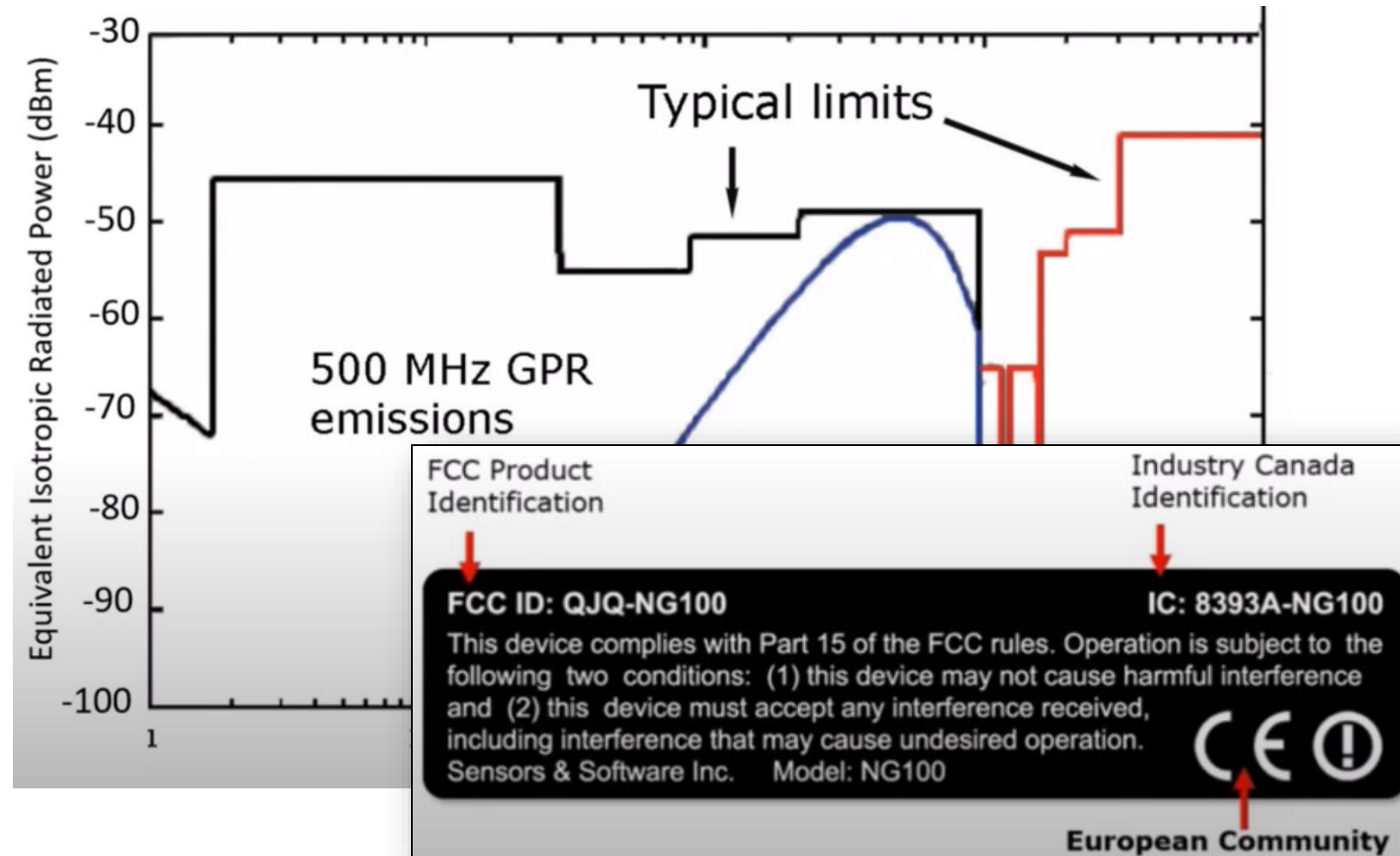


## Im Bohrloch

Wenig Platz für Sonde  
→ Kleines Kaliber  
Üblicherweise Sonden  
mit Frequenzen  
200 MHz bis 500 MHz



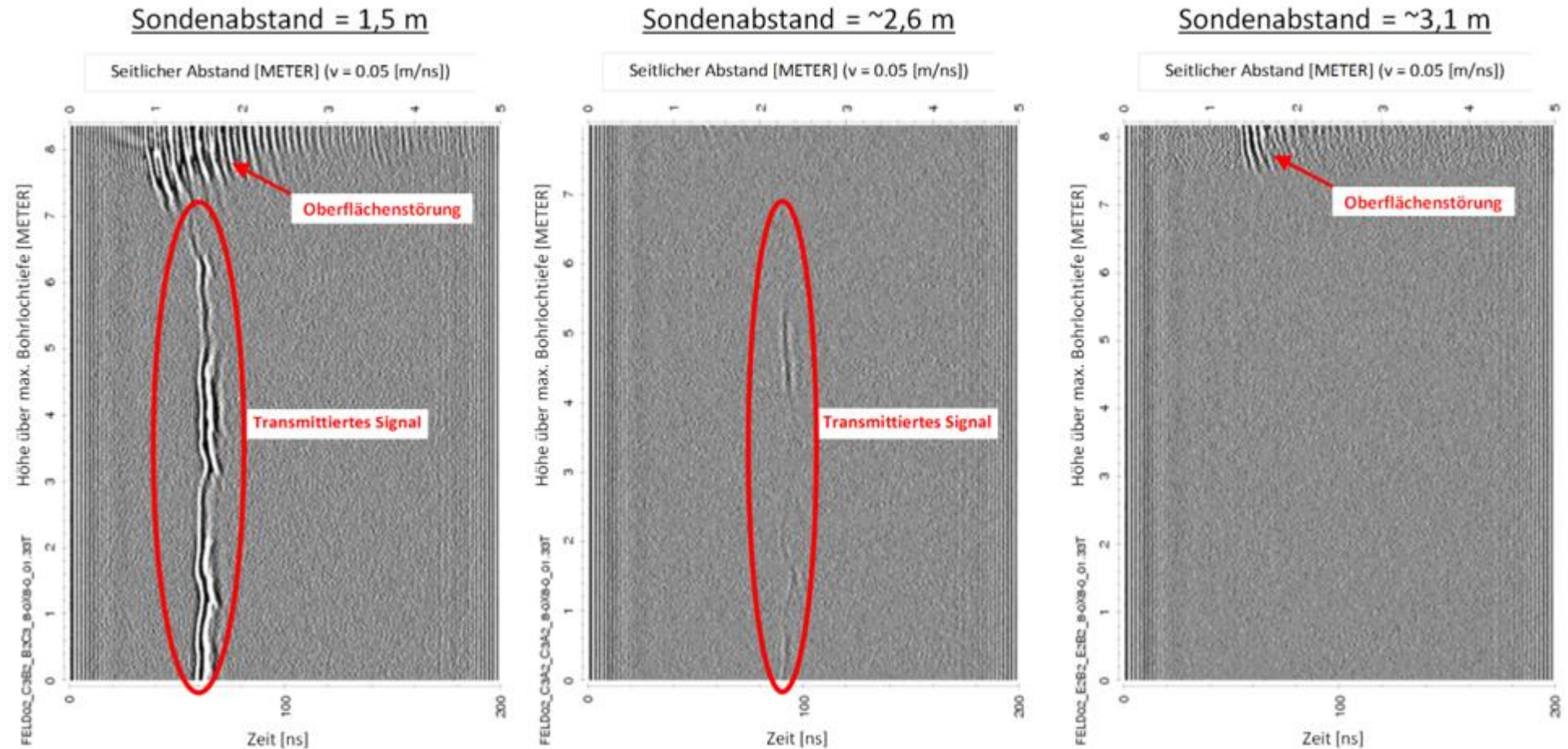
- Warum nicht einfach mehr Power?



# Test der Reichweite



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften



Sender

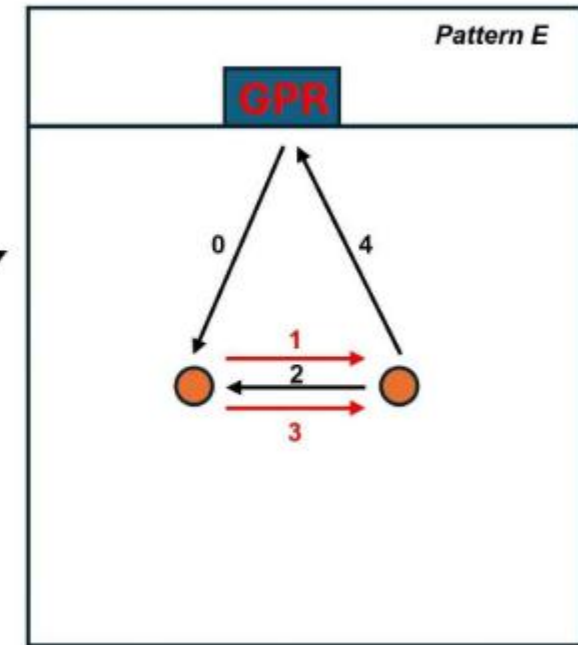
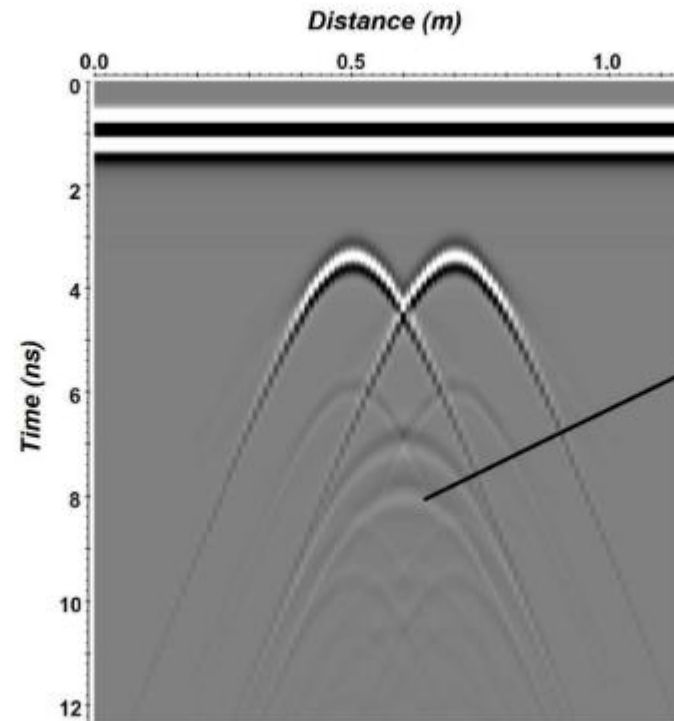
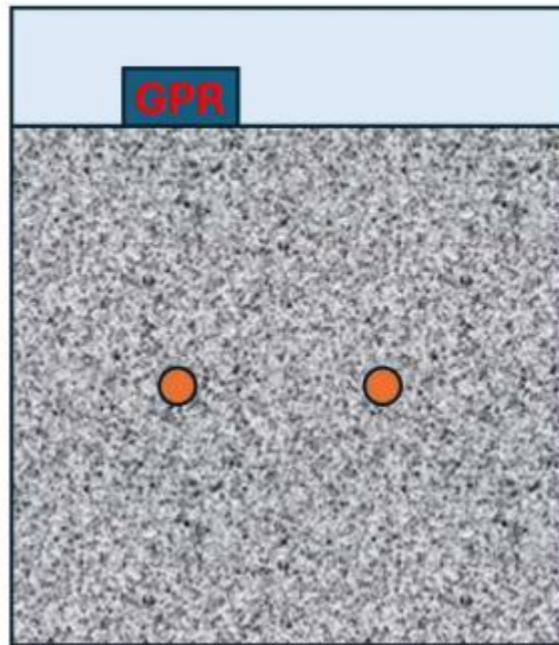


# Das Problem mit Störobjekten



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften

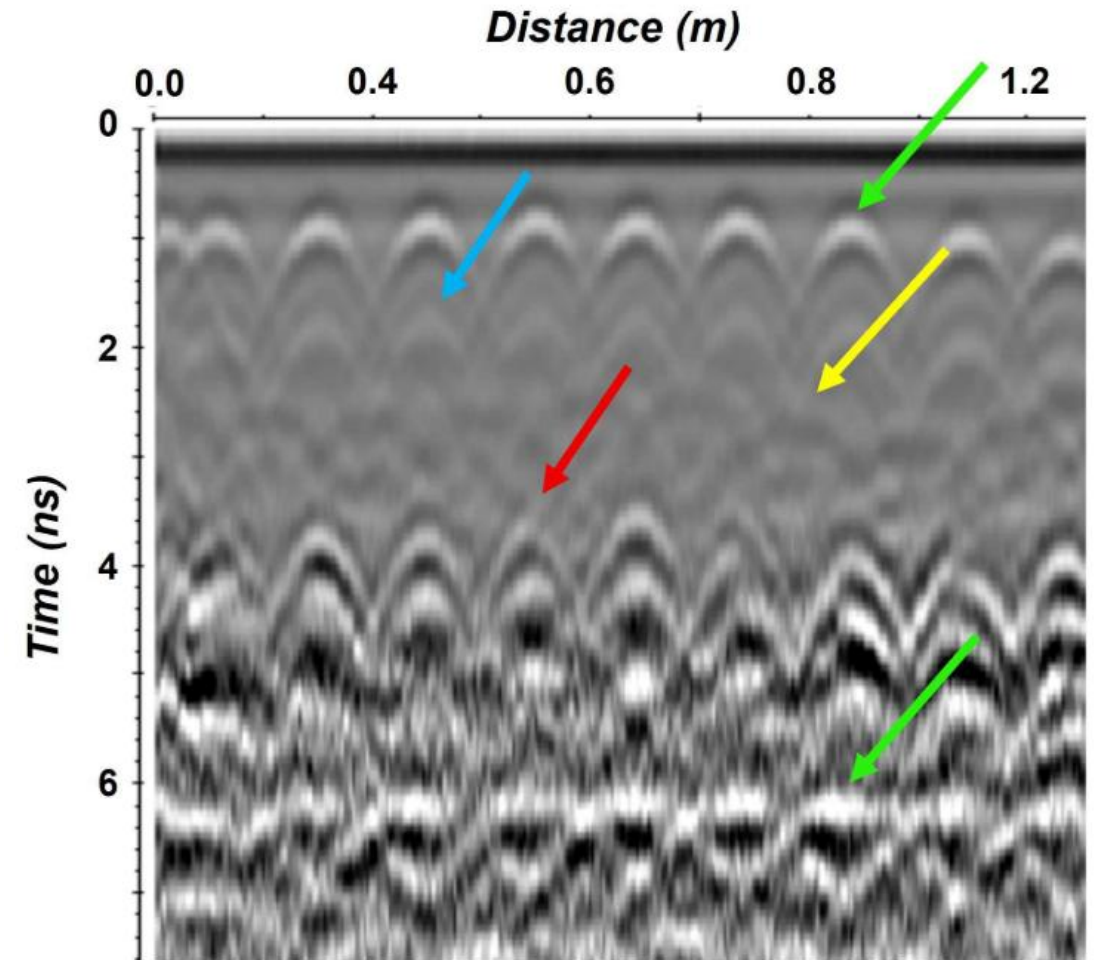
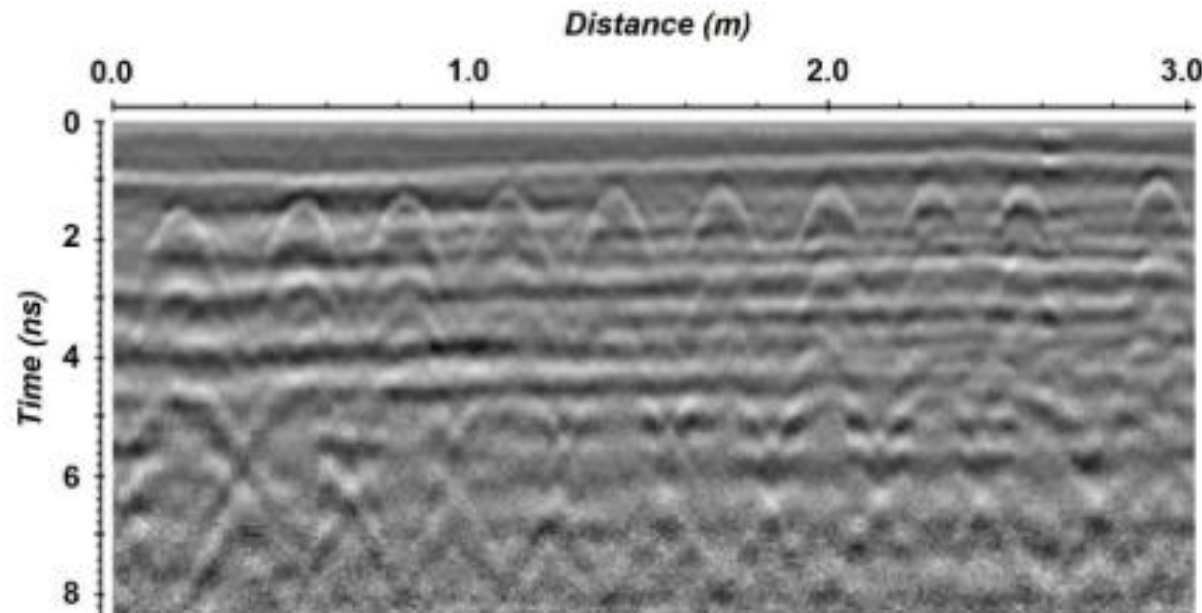
c)

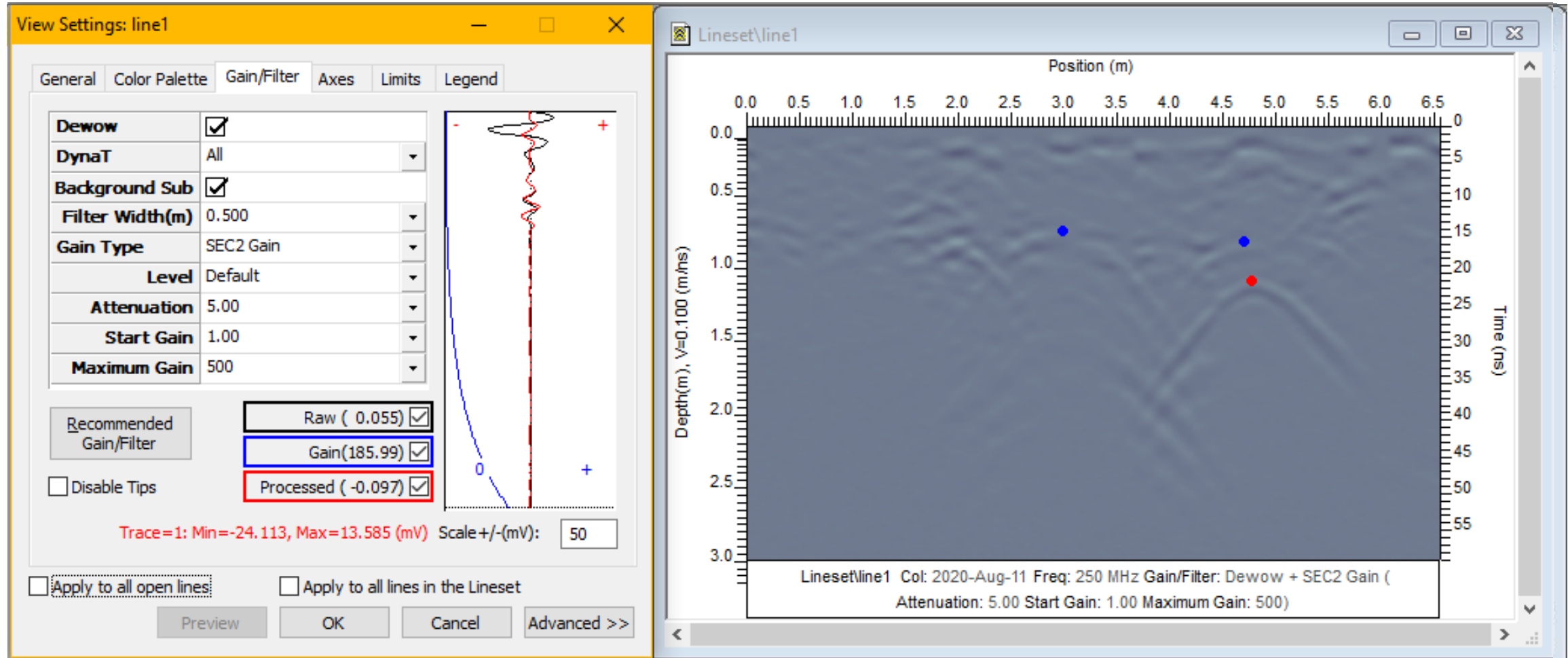


# Das Problem mit Störobjekten



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften

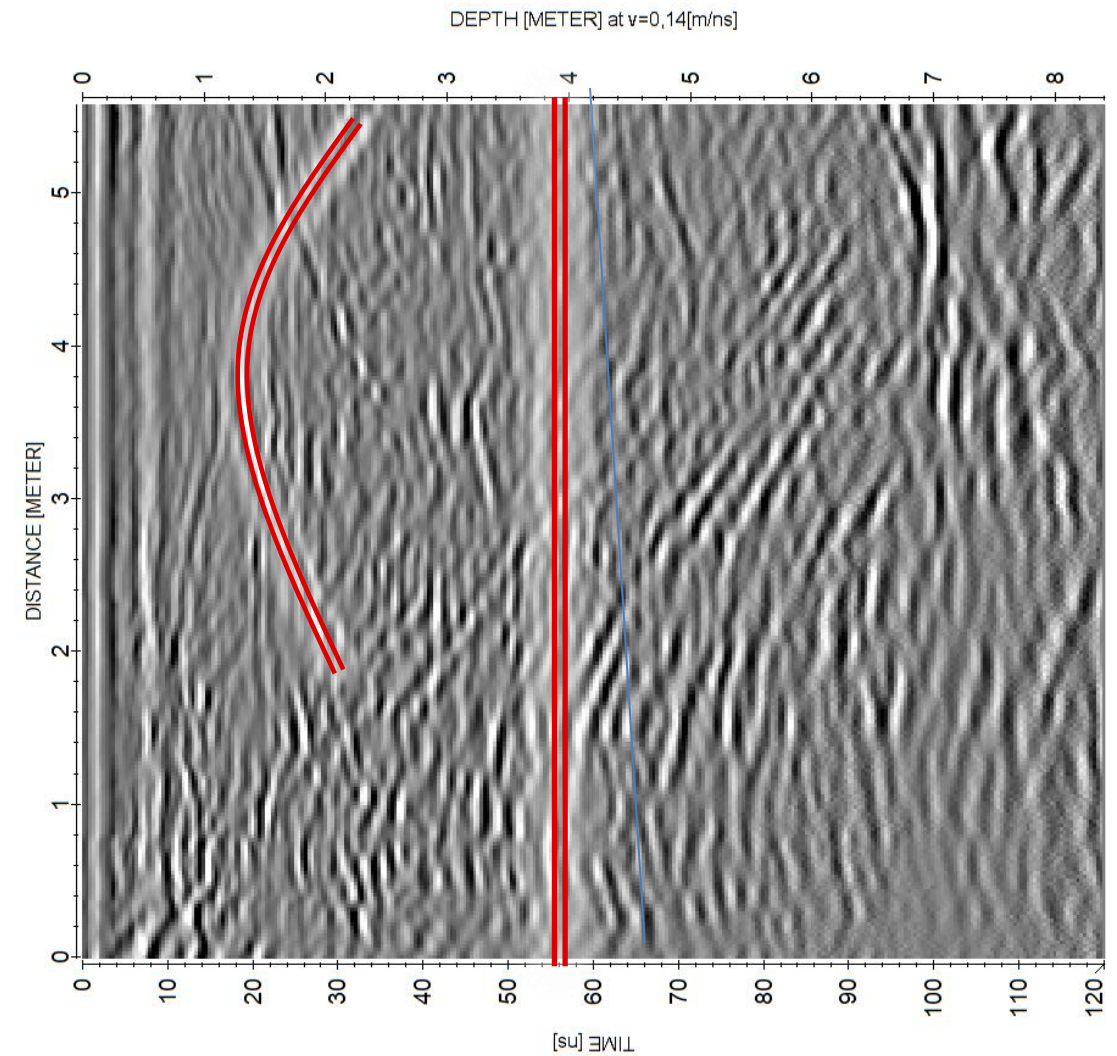
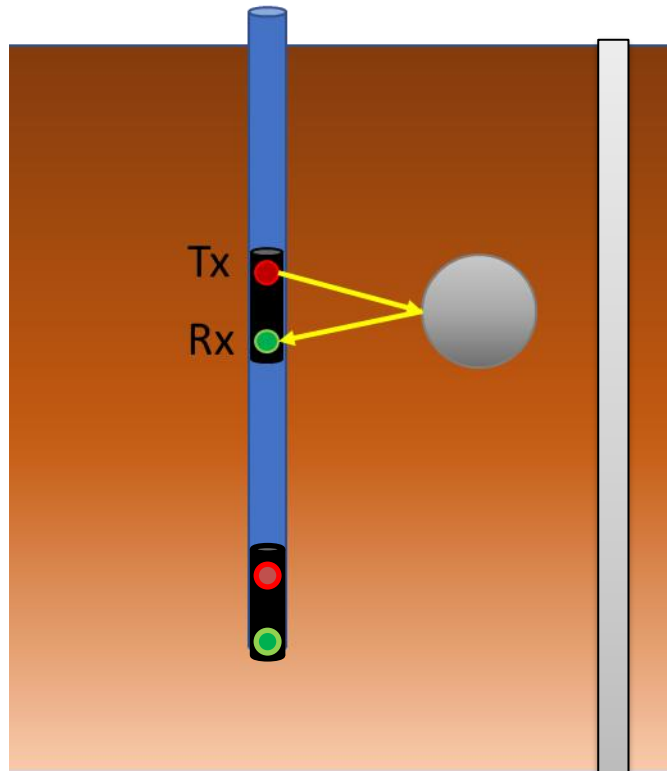




# Objekt vor Spundwand

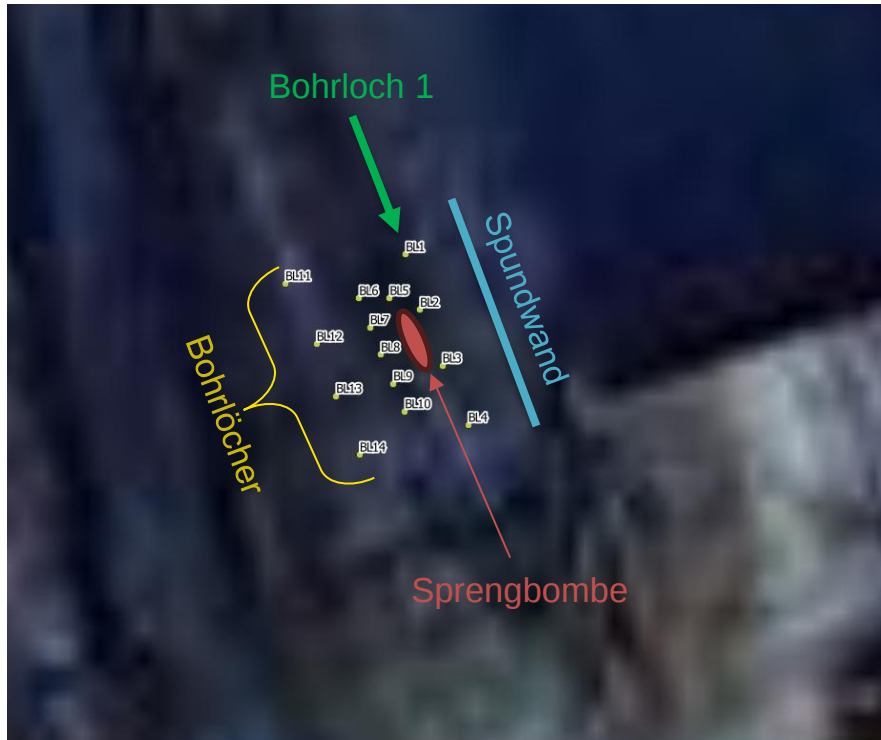


Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften

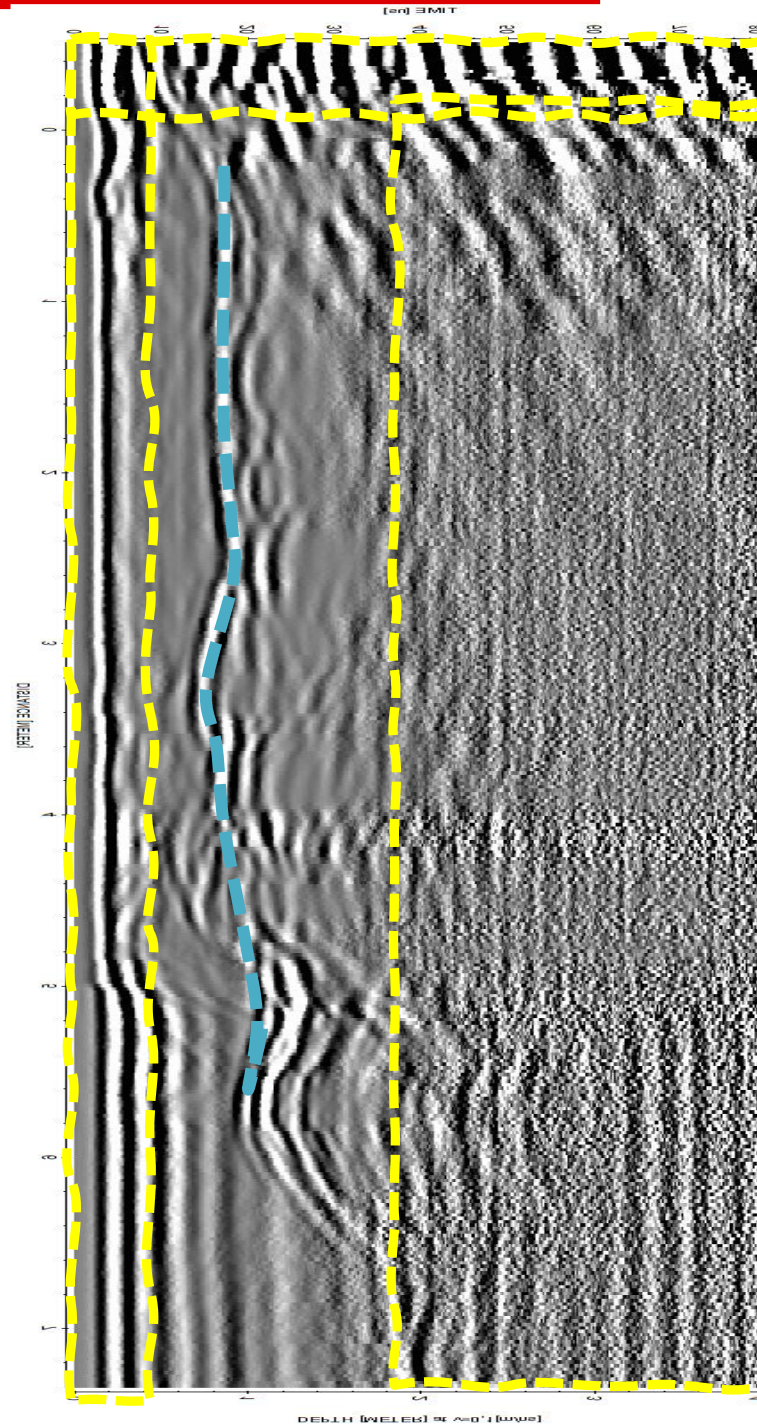


# Objekt vor Spundwand

250 Sprengbombe  
Horizontale Lage || Spundwand  
3m uGOK



© Tauber Unternehmensgruppe



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften

## Echte Messdaten

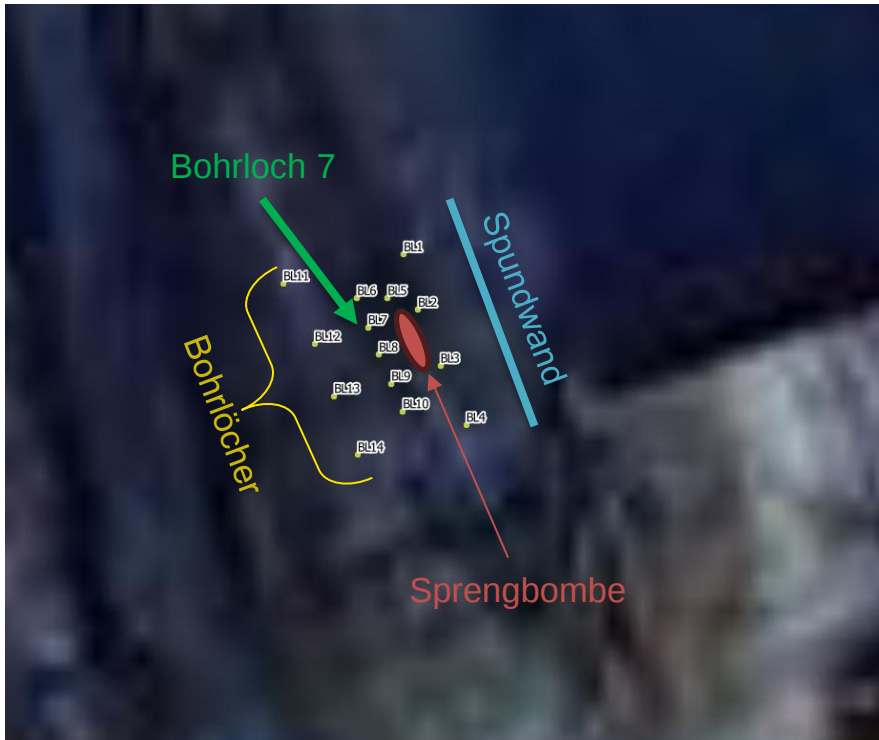
Angelegtes Testfeld:  
Bohrlochfeld mit Spundwand und  
Sprengbombe

### **Bohrloch 1:**

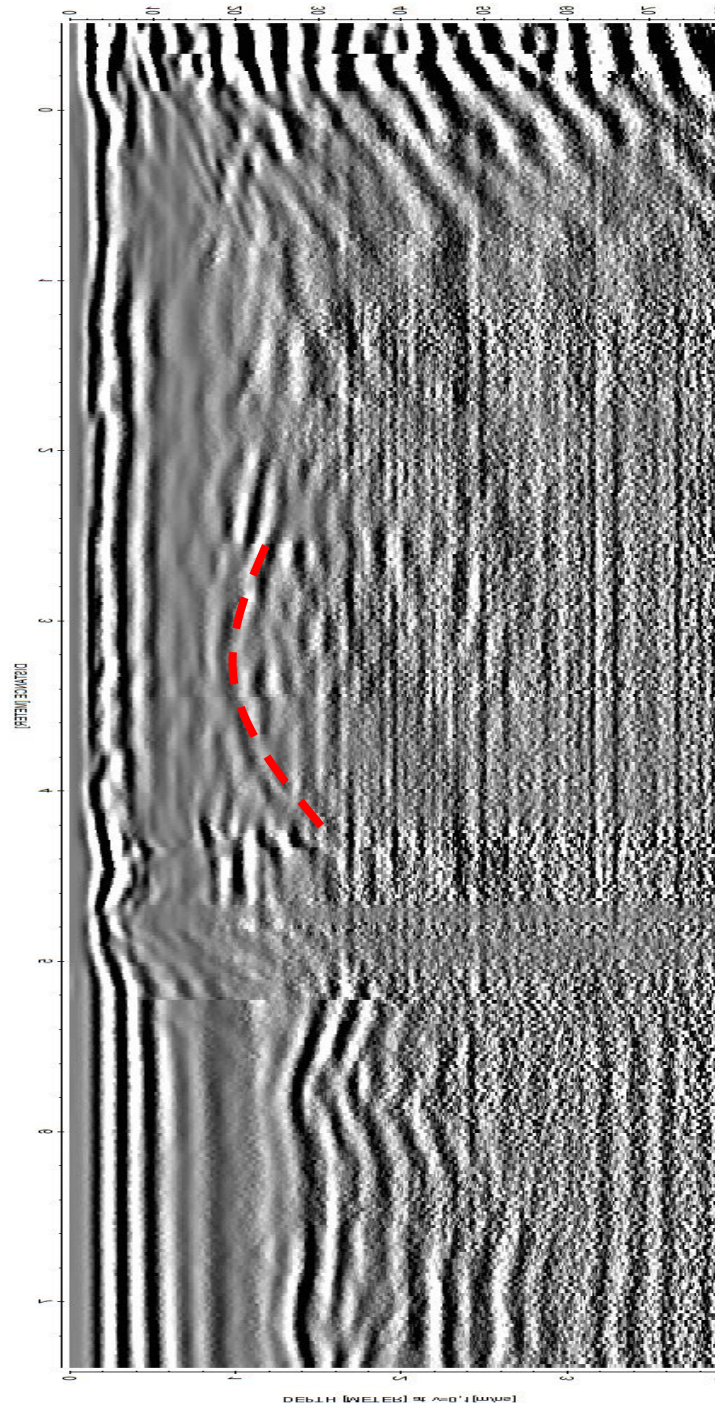
- Im Nahbereich Reflexion der Rohrinneenseite
- Oberflächennahe Störungen
- In größerer Entfernung keine Nutzsignale mehr
- Reflexion der Spundwand im mittleren Bereich

# Objekt vor Spundwand

250 Sprengbombe  
Horizontale Lage || Spundwand  
3m uGOK



© Tauber Unternehmensgruppe



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften

## Echte Messdaten

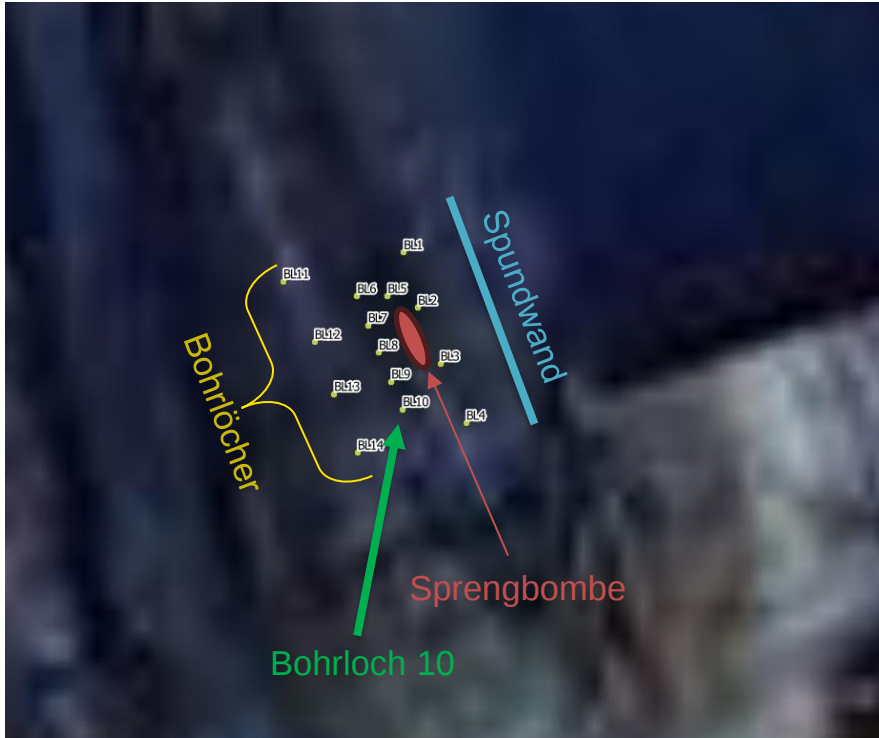
Angelegtes Testfeld:  
Bohrlochfeld mit Spundwand und  
Sprengbombe

### **Bohrloch 7:**

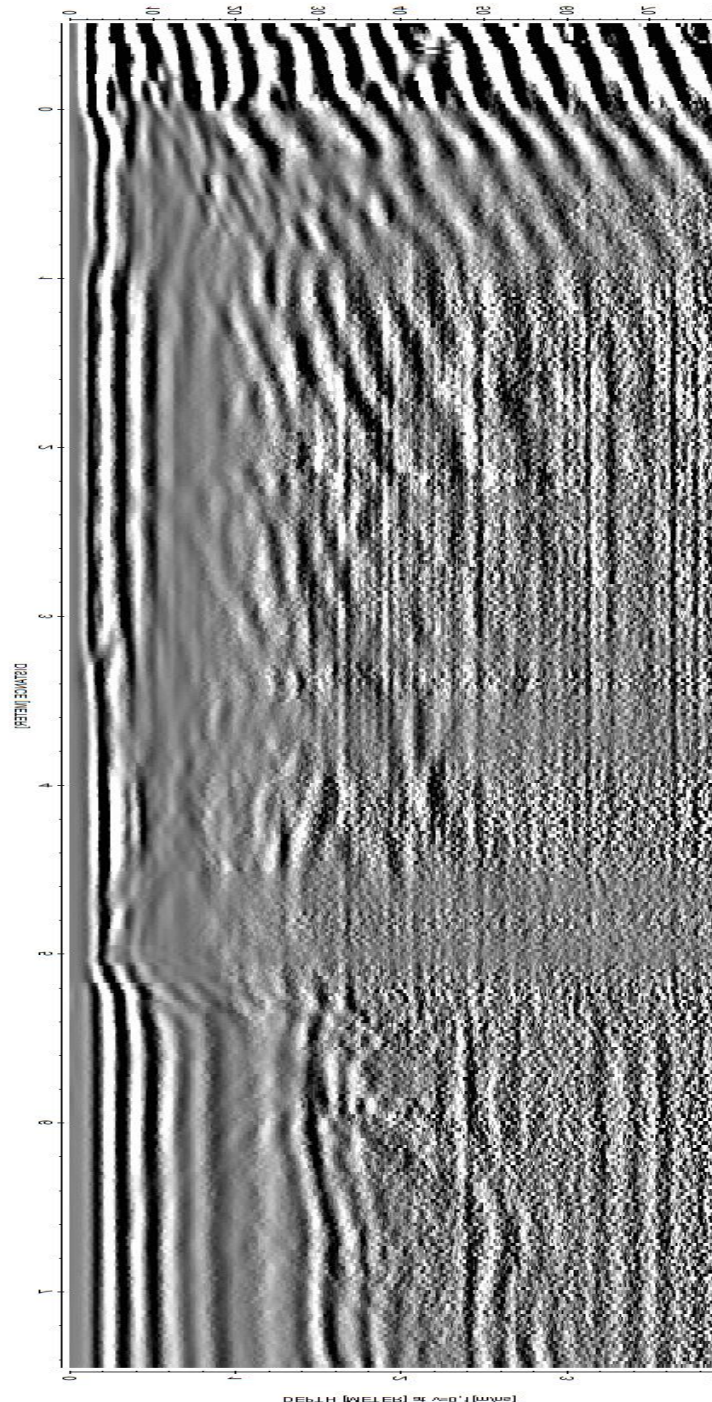
- Signatur der Bombe

# Objekt vor Spundwand

250 Sprengbombe  
Horizontale Lage || Spundwand  
3m uGOK



© Tauber Unternehmensgruppe



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften

## Echte Messdaten

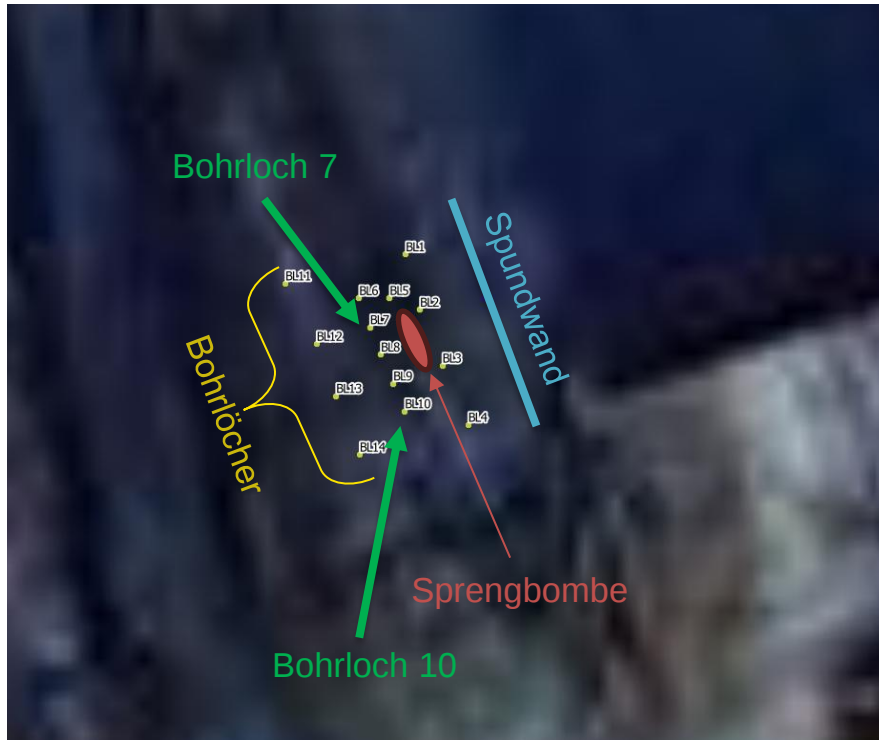
Angelegtes Testfeld:  
Bohrlochfeld mit Spundwand und  
Sprengbombe

### **Bohrloch 10:**

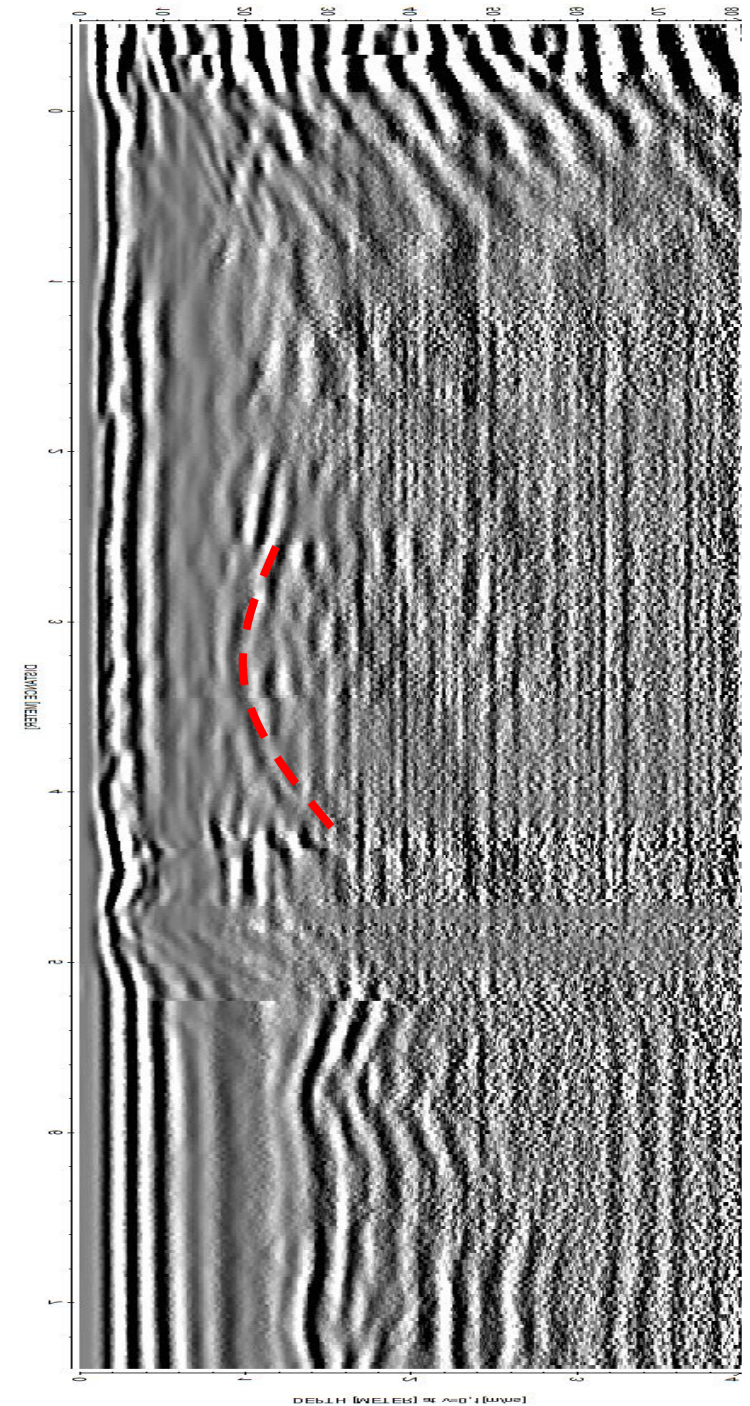
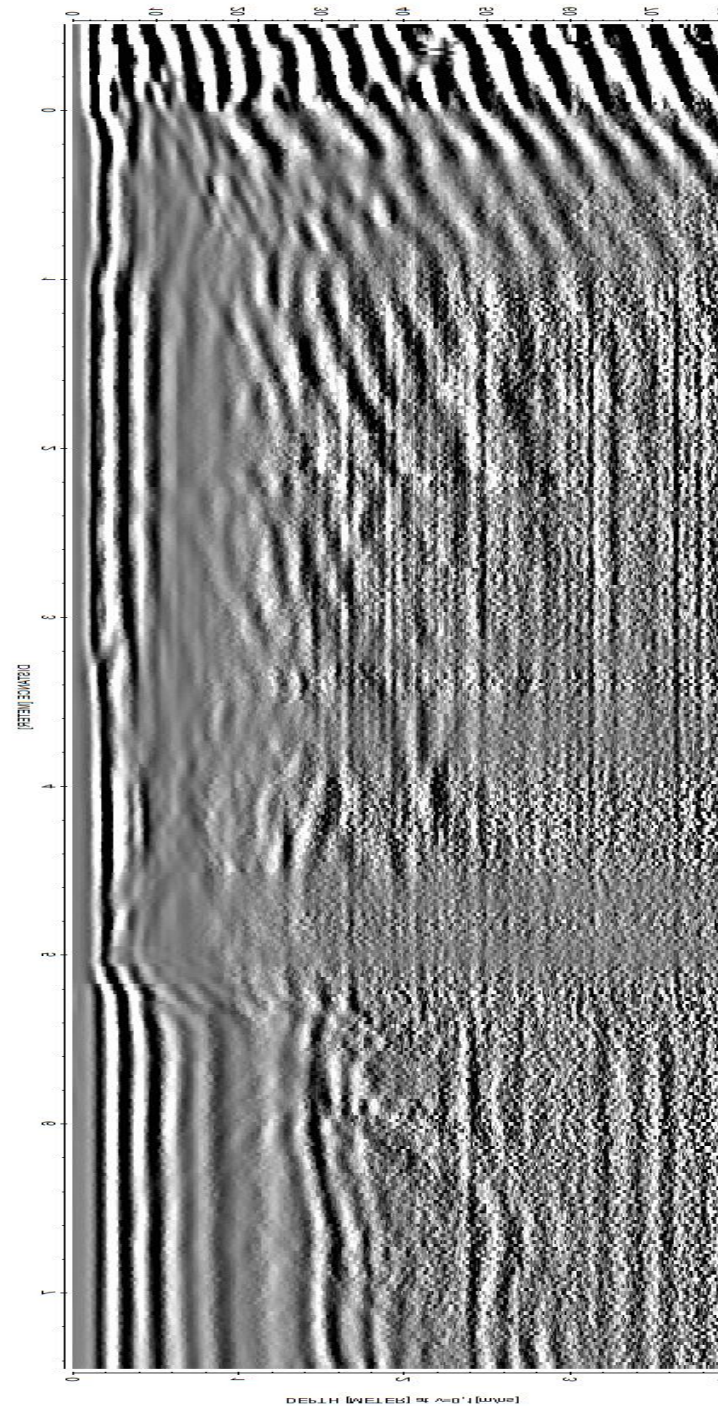
- Keine Signatur der Bombe

# Objekt vor Spundwand

250 Sprengbombe  
Horizontale Lage || Spundwand  
3m uGOK



© Tauber Unternehmensgruppe



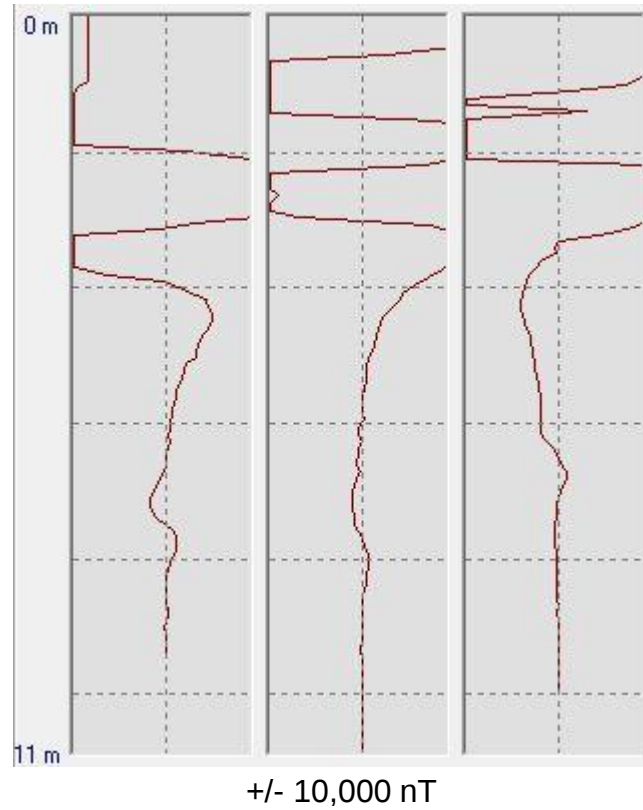
## Bohrloch-Magnetik



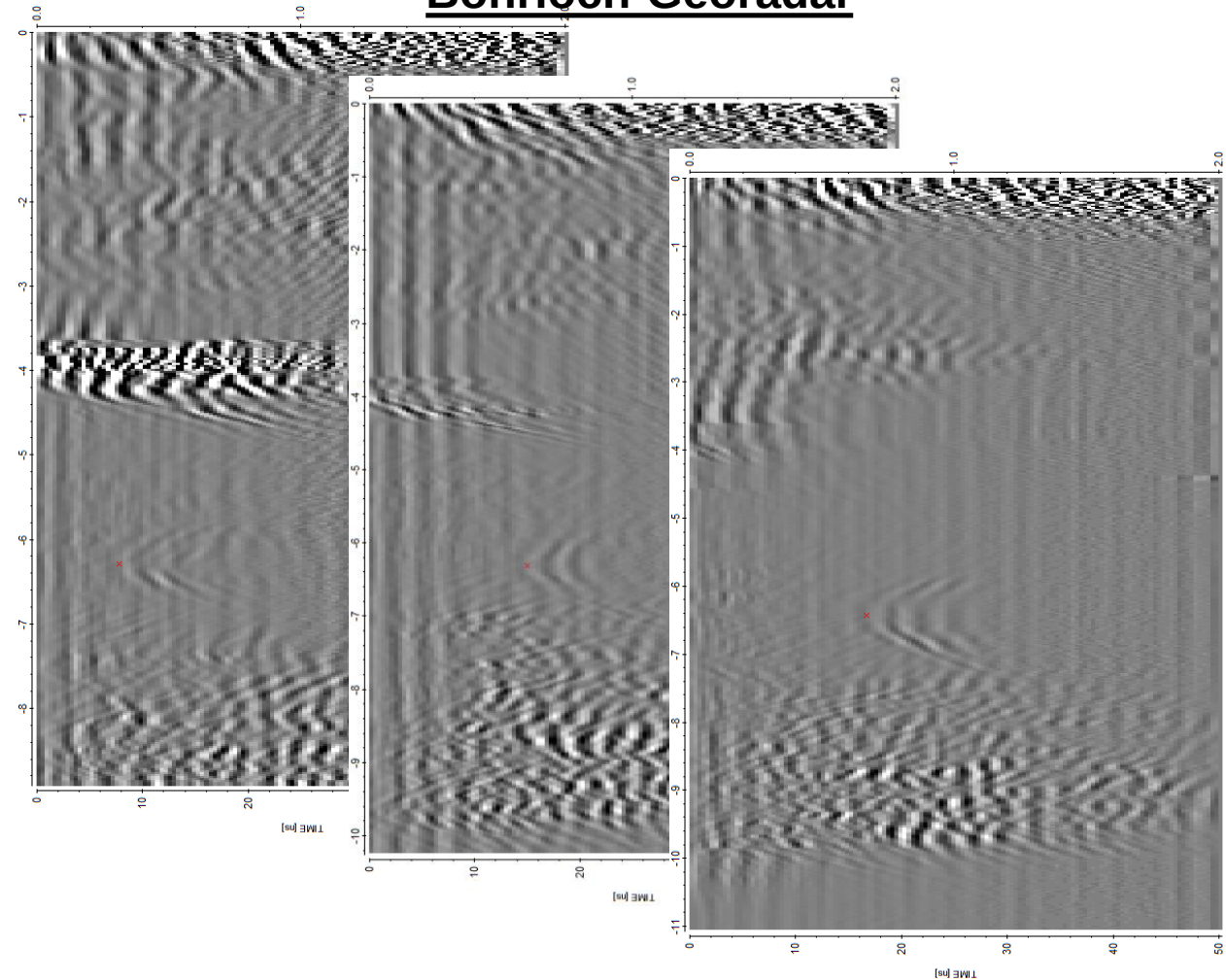
## Bohrloch-Georadar



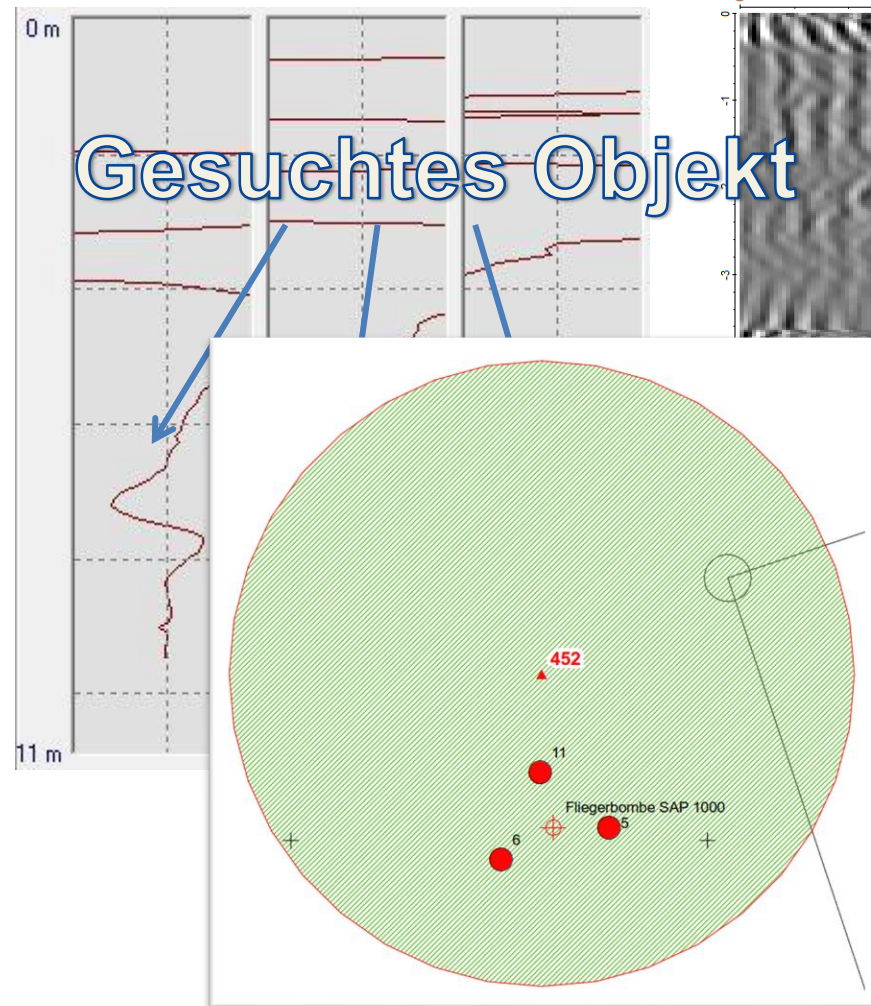
# Bohrloch-Magnetik



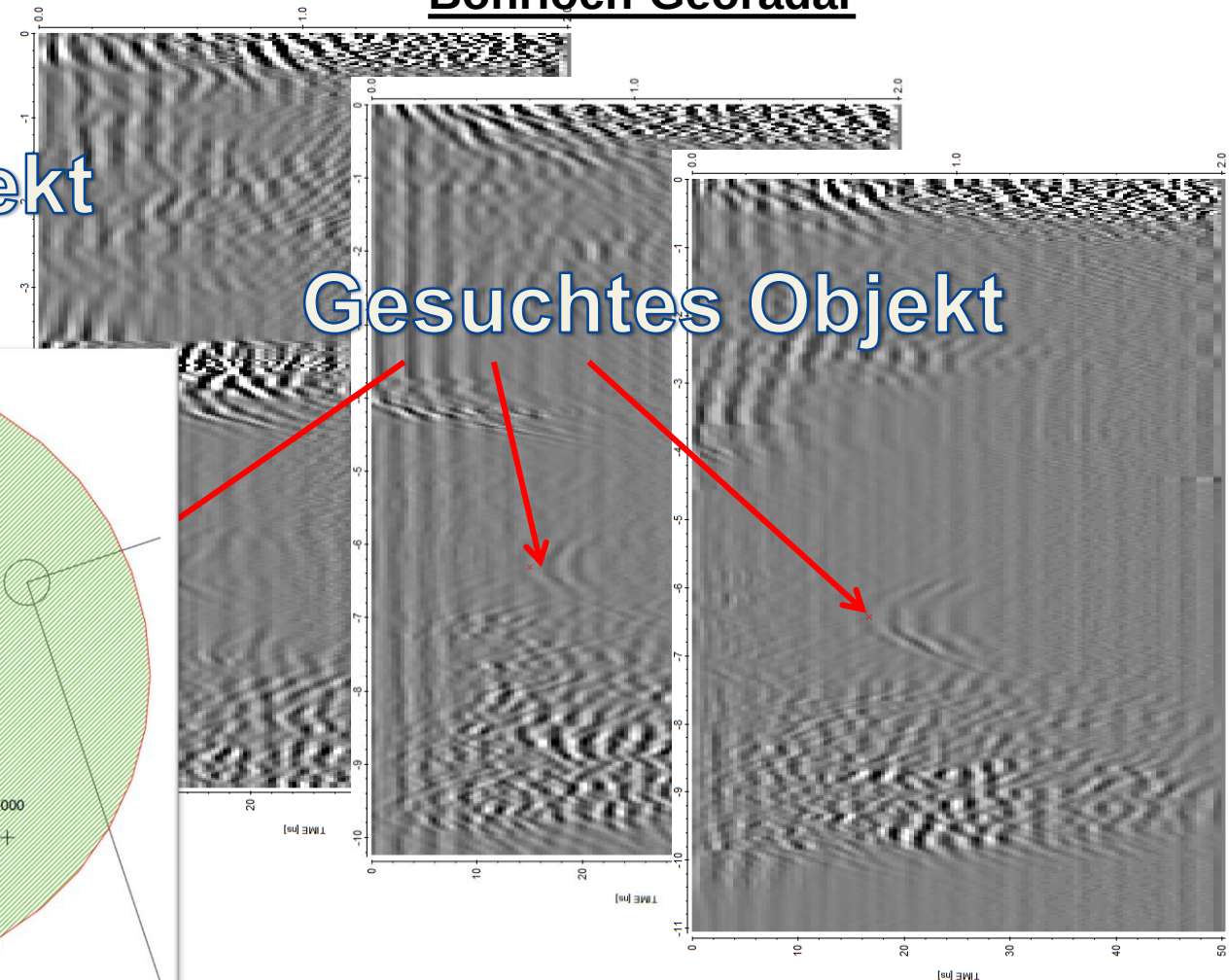
## Bohrloch-Georadar



## Bohrloch-Magnetik



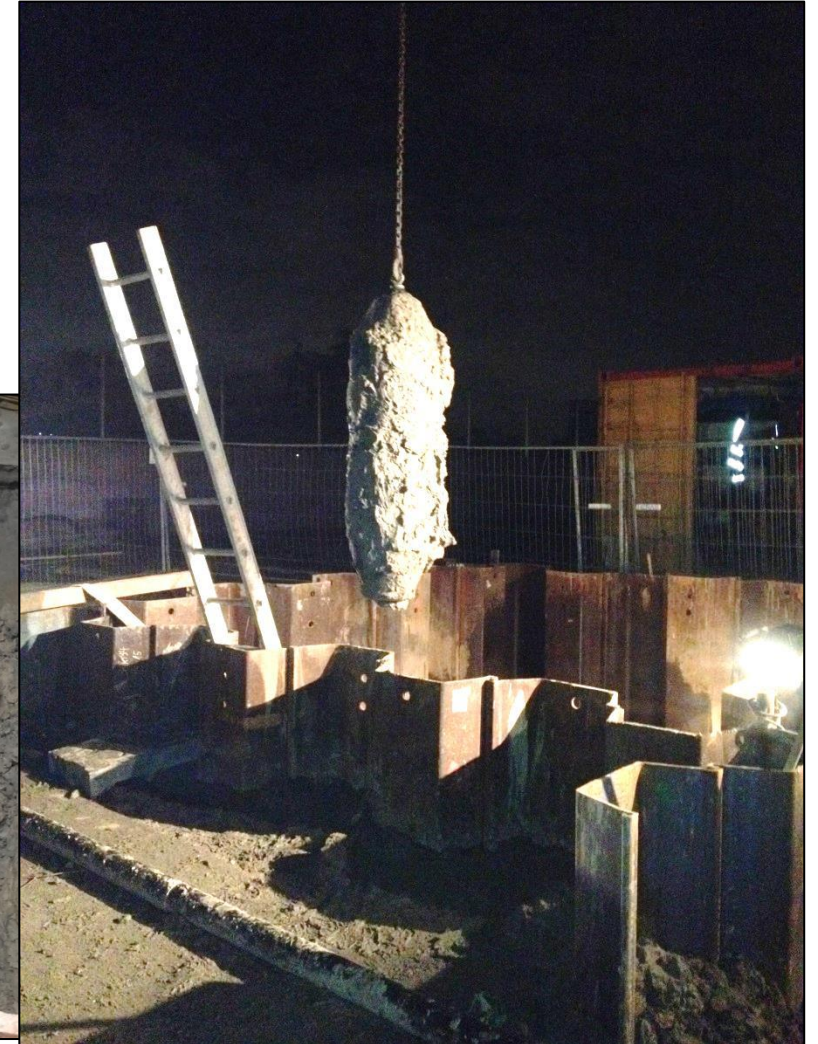
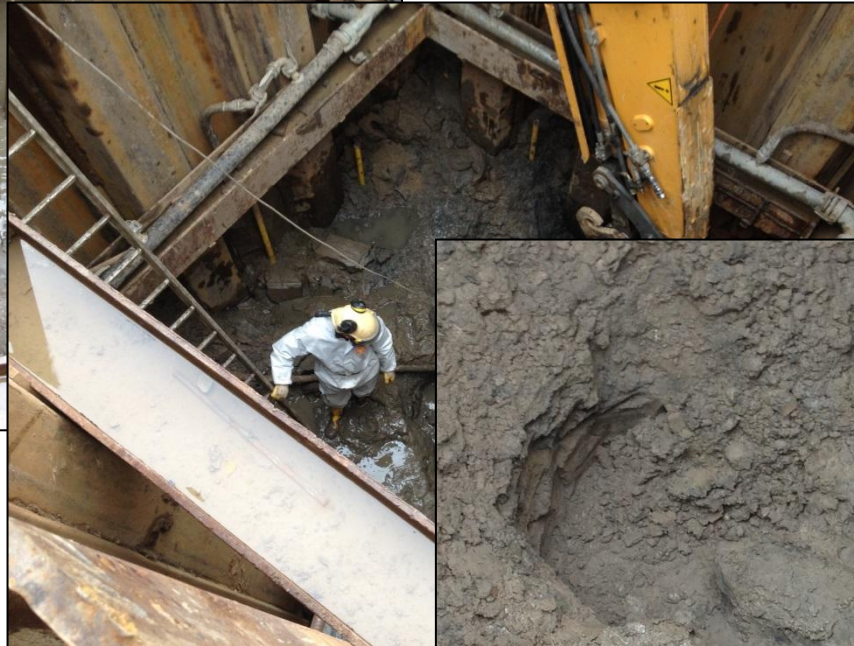
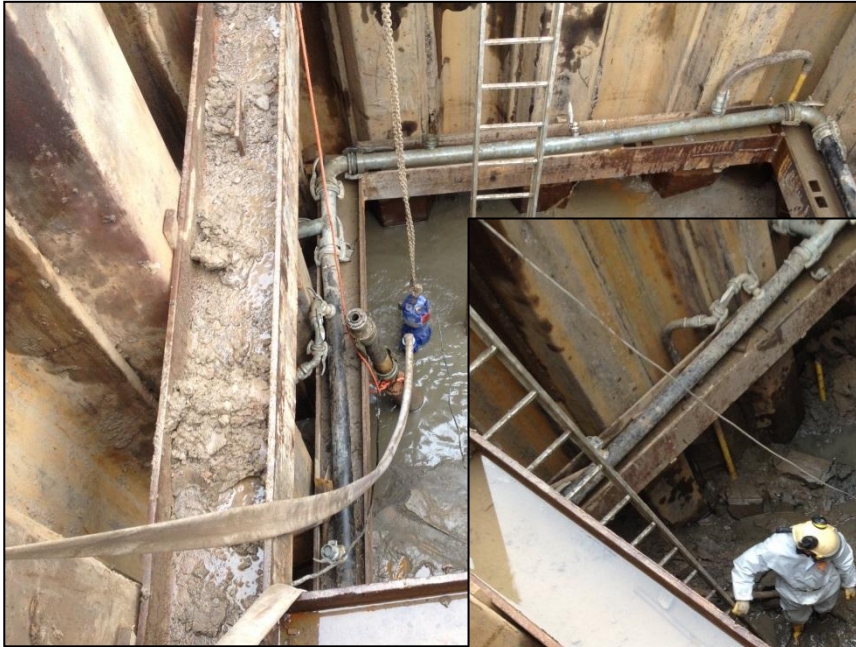
## Bohrloch-Georadar



# Verifizierung von Anomalien



Niedersächsisches Landesamt  
für Bau und Liegenschaften



Wahl der richtigen Antennenfrequenz ist wichtig. Abhängig von

- Bodeneigenschaften
- Größe des gesuchten Objekts

Reichweitentest vor Einsatz im Feld

Auswertung nur durch geeignetes Personal

Besonders hilfreich

- zur Verifizierung von Anomalien
- beim Einsatz in der Nähe von Störquellen von Bohrloch-Magnetik



**Vielen  
Dank  
für  
Ihre  
Aufmerksamkeit**

