



**Institut für
Materialprüfung,
Bauberatung
und Analytik.**

Workshop

Einsatz von Georadar in der Praxis

Utilisation du géoradar dans la pratique



IMP Bautest AG
impbautest.ch

Dr. Jürg Leckebusch / Dr. Elmar Strobach
18. März 2025

- 1 **Einführung in die Methode** | Introduction à la méthode
- 2 **Einführung in die Interpretation** | Introduction à l'interprétation
- 3 **Live Hands-On Demonstration** | Démonstration en direct
- 4 **Auswertung gemessener Daten** | Analyse des données mesurées
- 5 **Diskussion** | Discussion

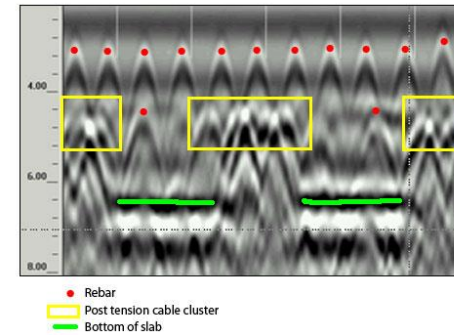
i.m.p

Einführung in die Methode

Introduction à la méthode

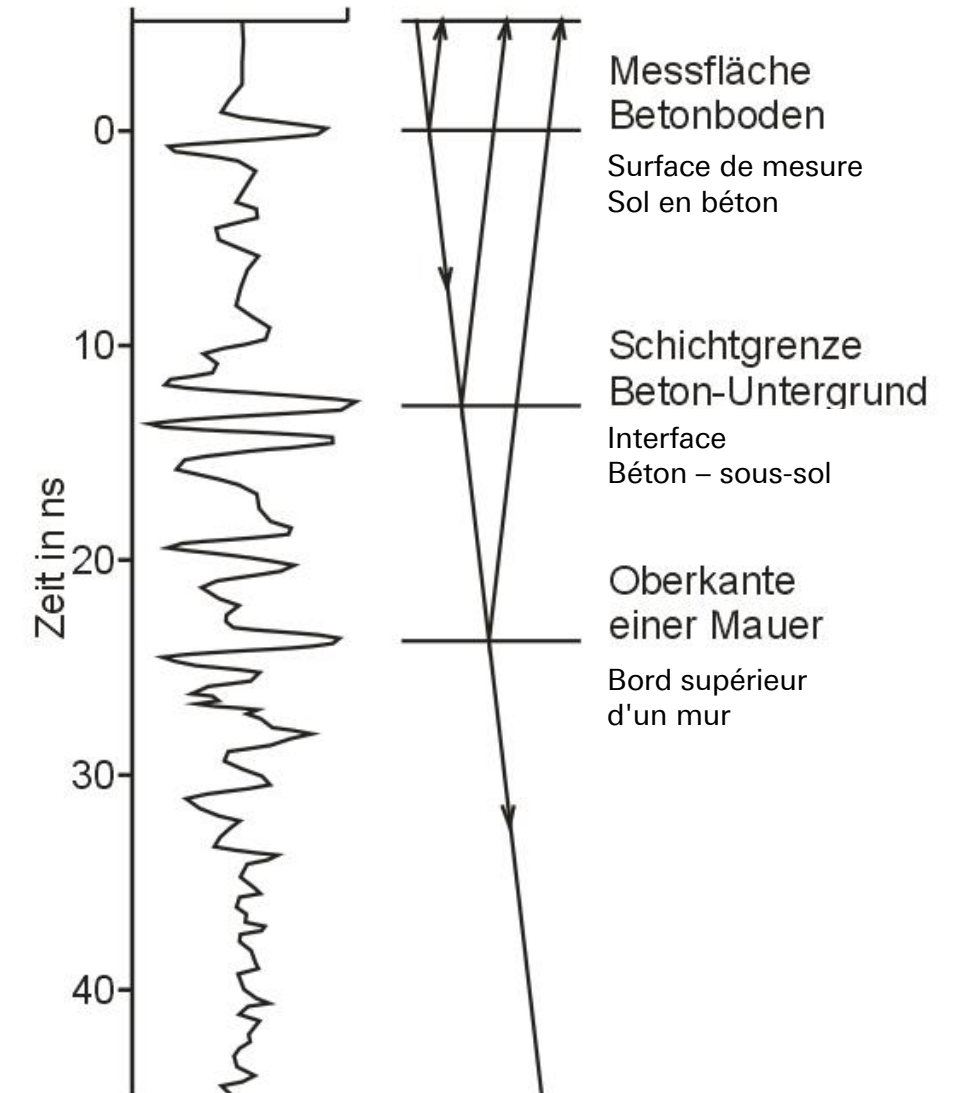
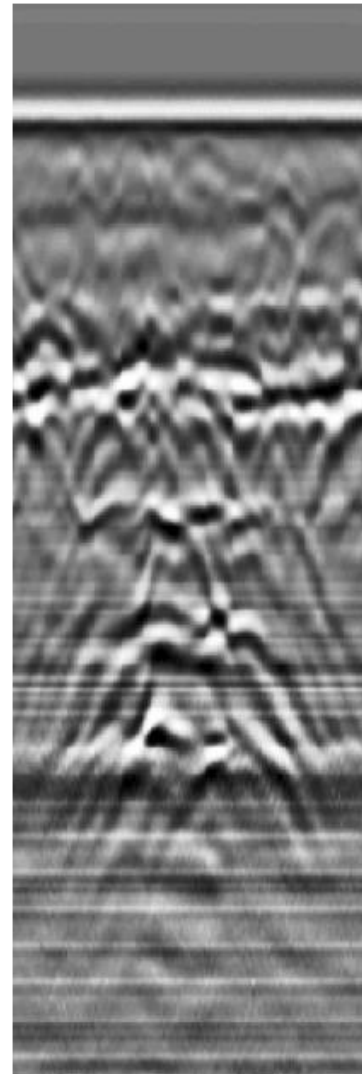
Georadar

- Radar = **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging
- **Hochauflösende, dreidimensionale Erfassung des Untergrundes mit elektromagnetischen Wellen**
Détection tridimensionnelle haute résolution du sous-sol par ondes électromagnétiques
- **Signale werden an allen (elektromagnetischen) Schichtgrenzen reflektiert**
Les signaux sont réfléchis à toutes les interfaces des couches (électromagnétiques)
- **Probleme: Feuchtigkeit und Lehm (Salzgehalt)**
Problèmes : Humidité et argile (salinité)

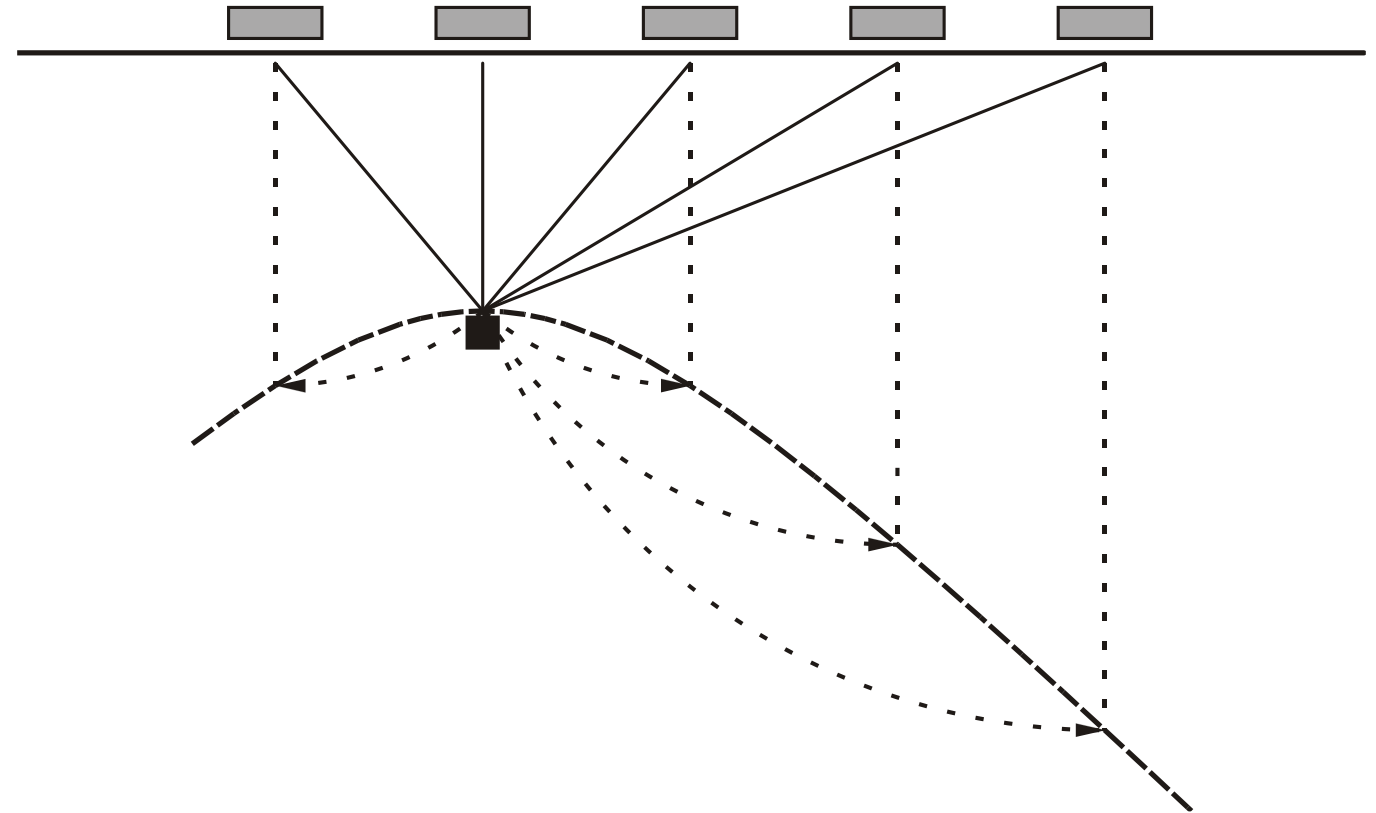
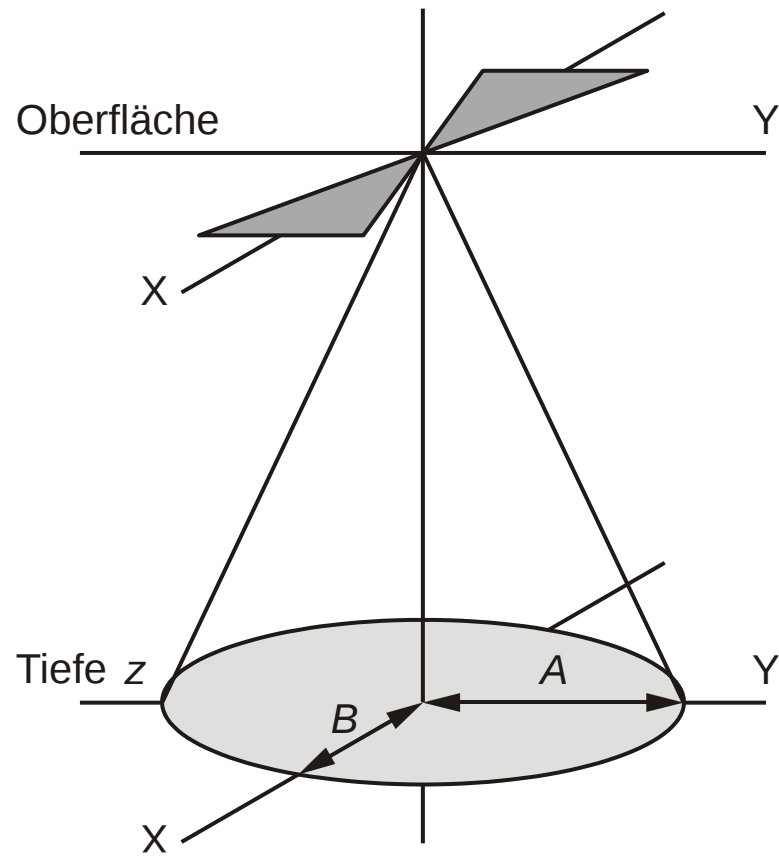


Messprinzip

Principe de mesure



Wellenausbreitung | Propagation des ondes



Antennenfrequenz – Auflösung Fréquence de l'antenne – résolution



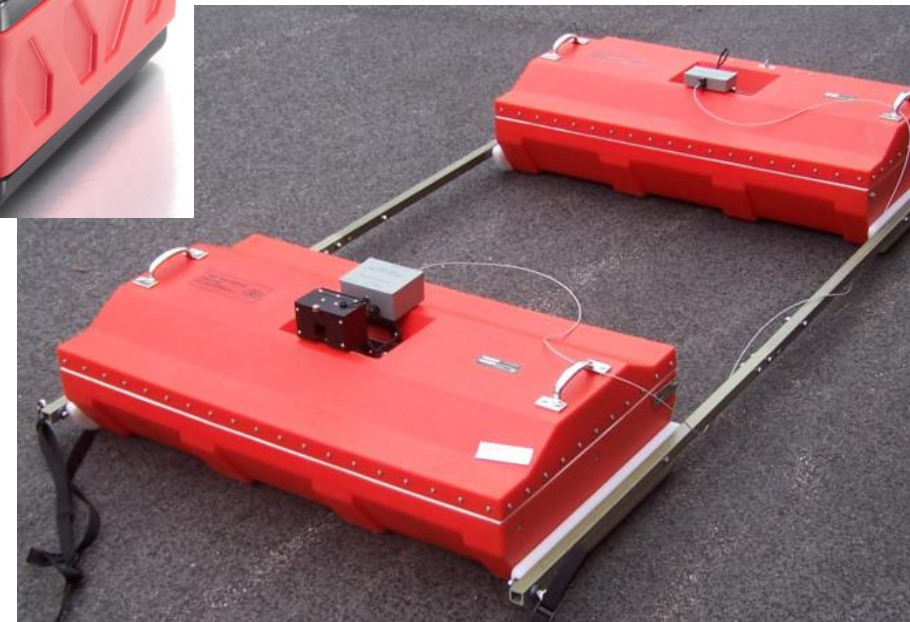
1600 MHz

Eindringtiefe 0.5 m
Auflösung 1 cm



350 MHz

Eindringtiefe 3.5 m
Auflösung 4 cm



100 MHz

Eindringtiefe 12 m
Auflösung 20 cm

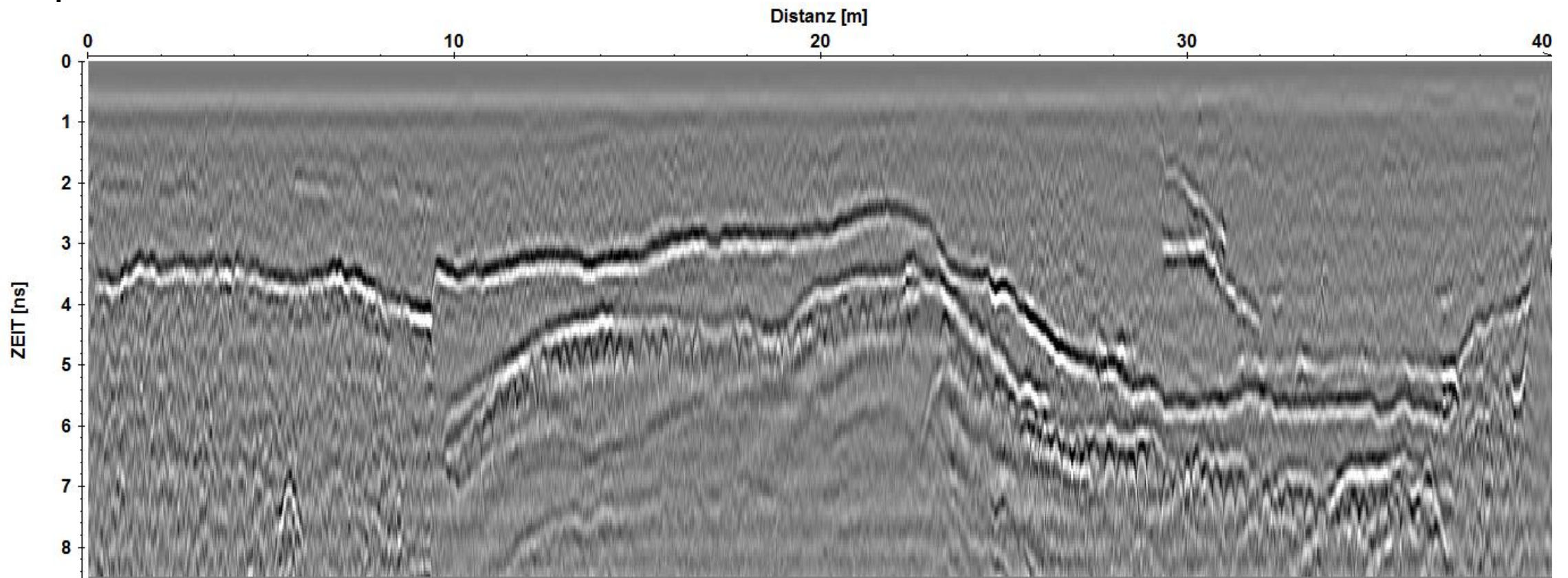
2000 MHz

Eindringtiefe 0.4 m
Auflösung 0.5 cm

unterschiedliche Antennenbauweisen
différentes constructions d'antennes

Abbildung des Untergrundes

Représentation du sous-sol



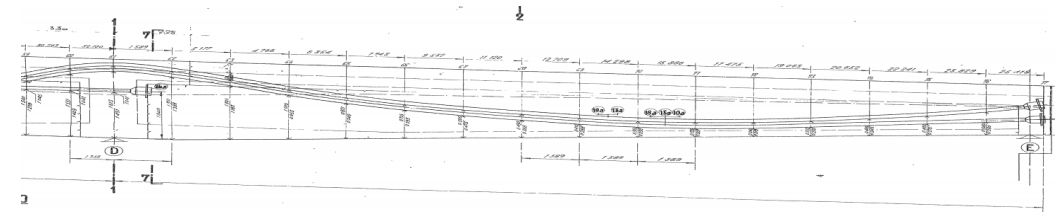
i.m.p

Einführung in die Interpretation

Introduction à l'interprétation

Interpretation von Radargrammen

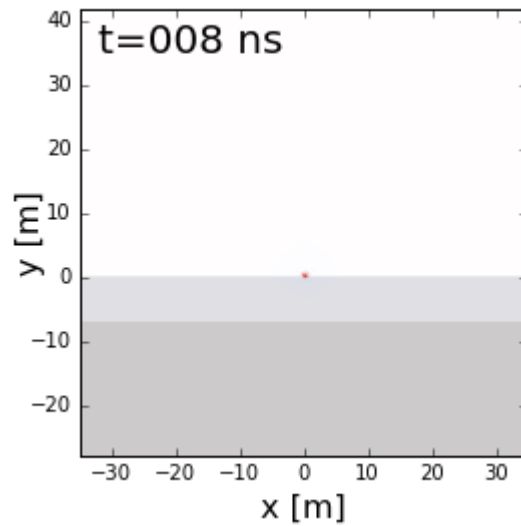
- Grundlagen studieren:
 - Was ist bekannt? – Ausführungspläne, Armierungspläne, Schalungspläne, Werkleitungskataster, Untersuchungs-/Sondageberichte, etc.
 - Was wird erwartet? – Gibt es erwartete Abweichungen zu den Plänen? Oder falls keine Pläne vorhanden, welches sind die wahrscheinlichsten Möglichkeiten?
 - Was ist die genaue Fragestellung?
- Radargramme mit dem Hintergrundwissen nach Merkmalen absuchen, die mit den Plänen übereinstimmen
- Optimale Erkundungsgeometrie vorab planen



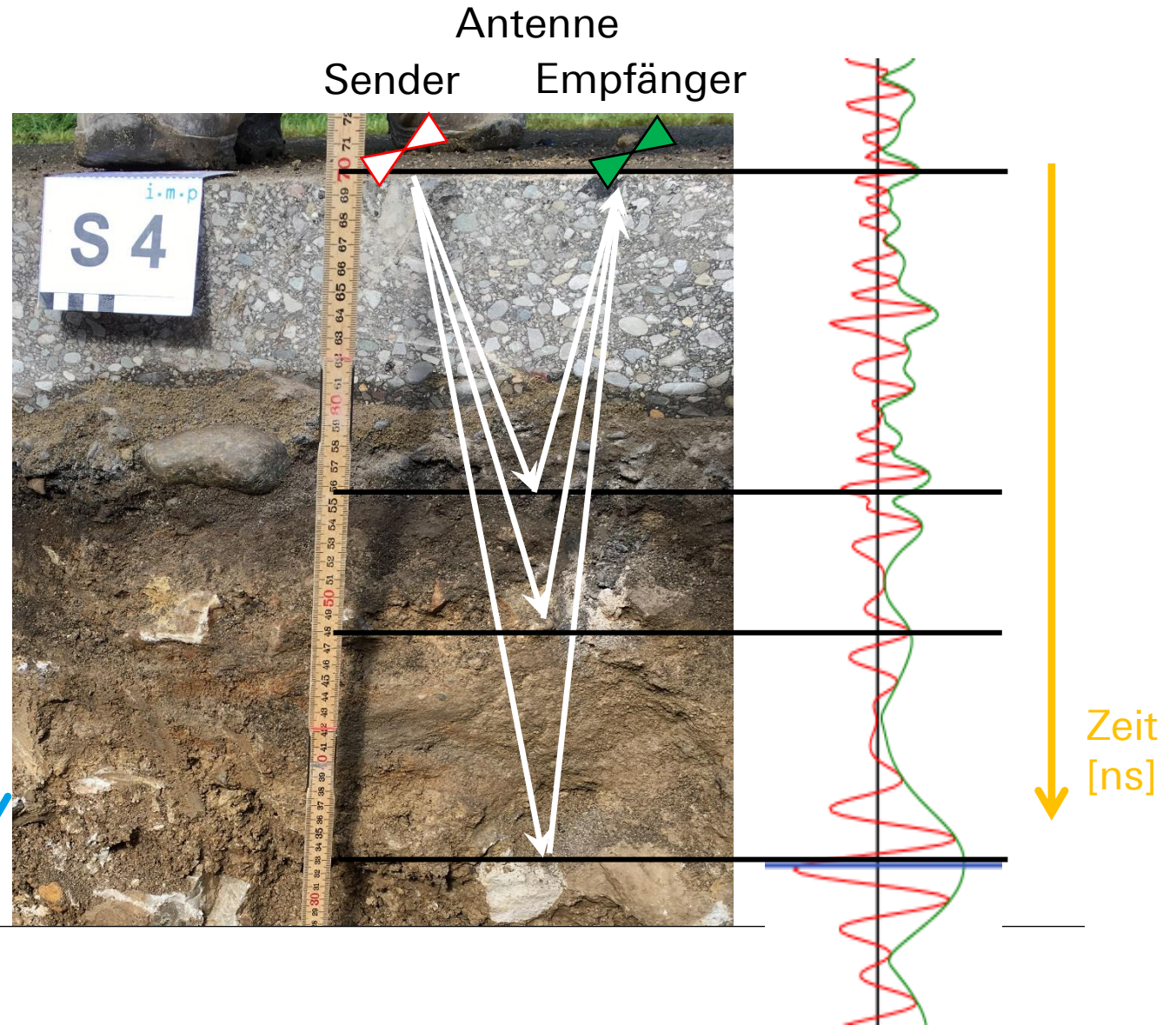
Merkmale in den Daten - Reflexionen

Caractéristiques dans les données -
Réflexions

Schichtreflexion



Tiefe d
[m]



Merkmale in den Daten - Reflexionen

Caractéristiques dans les données -
Réflexions

$$d \text{ [m]} = 0.5 \times t \text{ [ns]} \times v \left[\frac{\text{m}}{\text{ns}} \right]$$

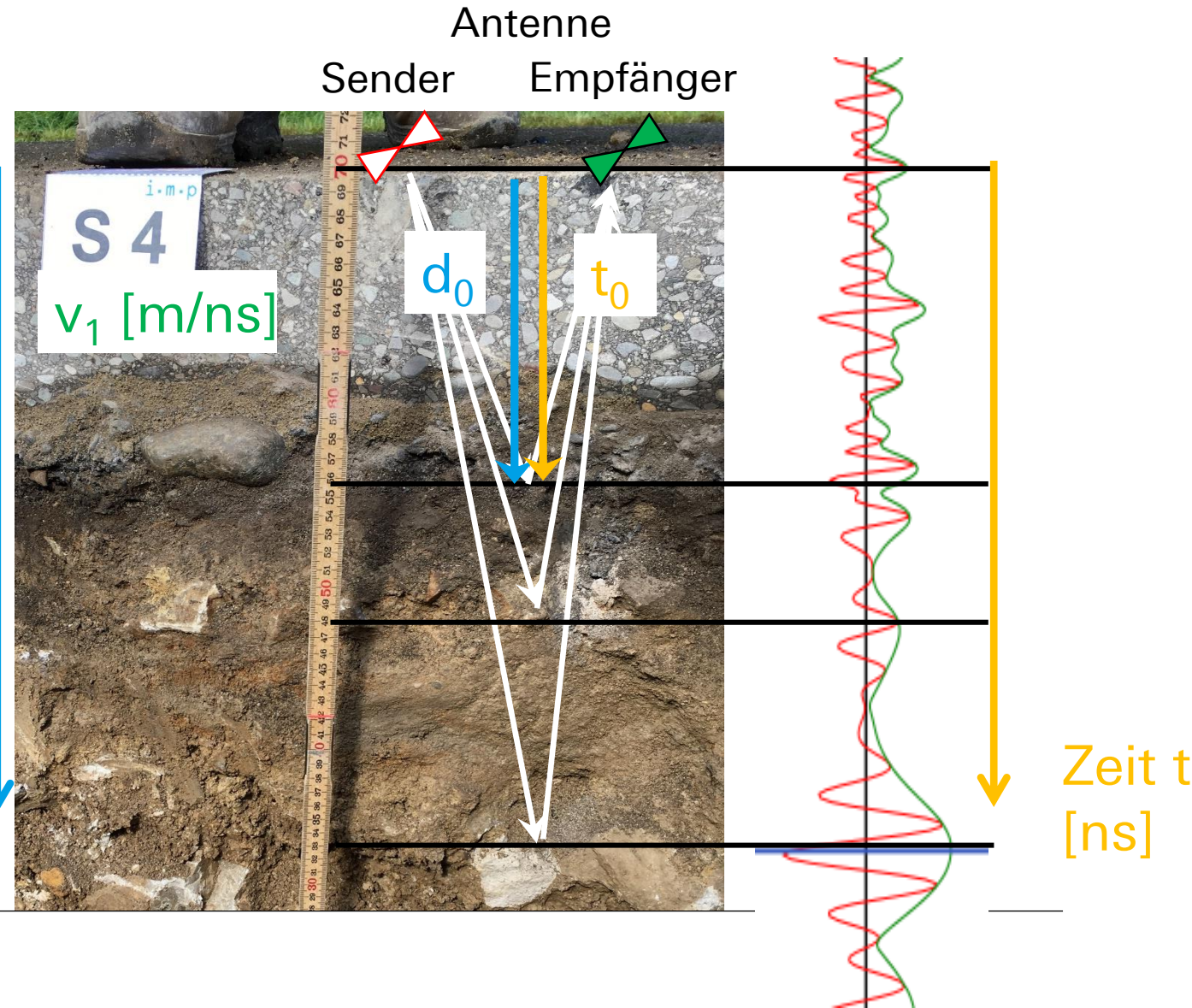
v : Ausbreitungsgeschwindigkeit im Material

t : Einsatzzeit im Radargramm

d : Tiefenlage Reflektor

Laufstrecke $\approx 2 \times d$!

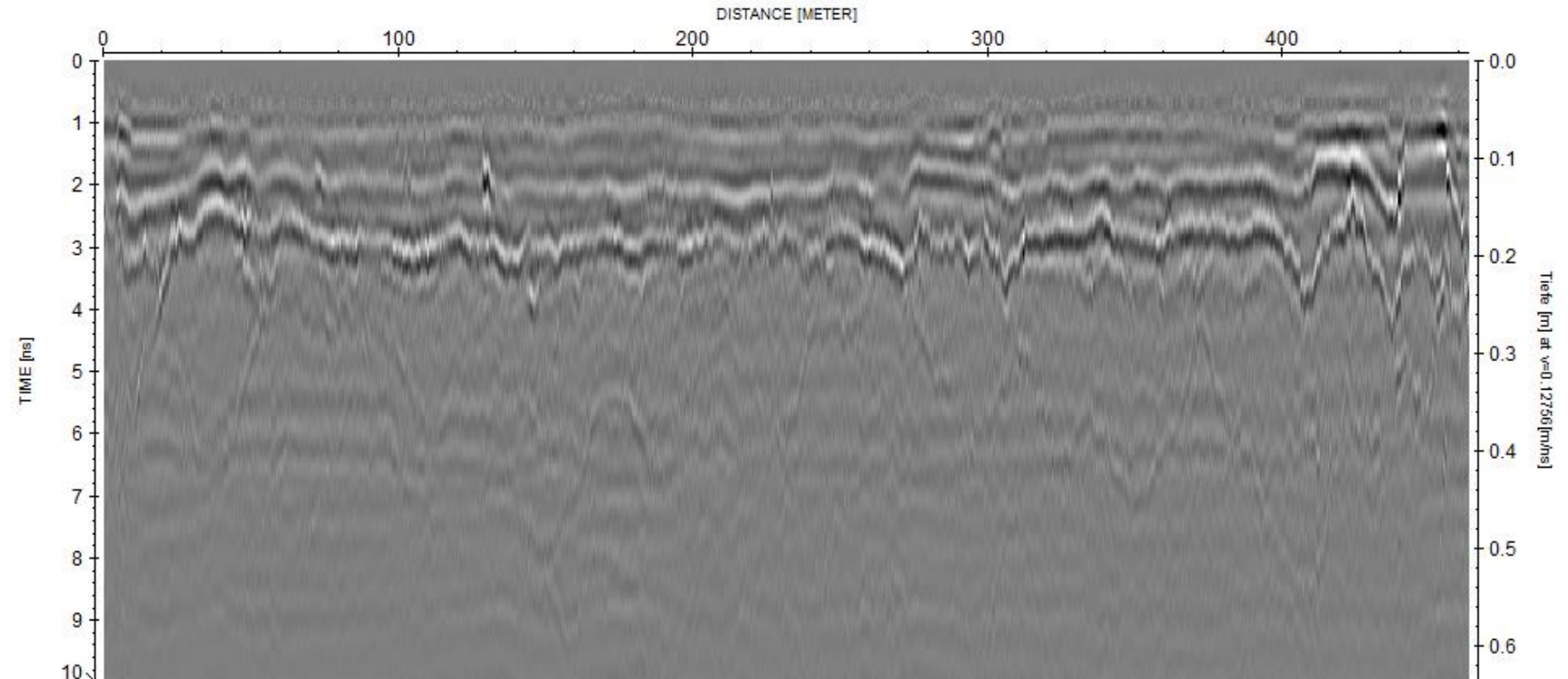
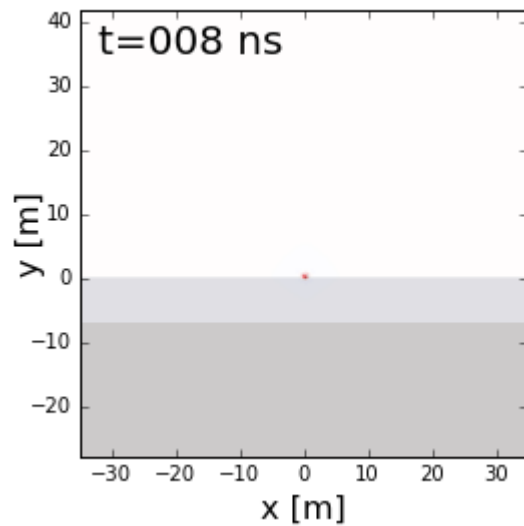
Tiefe d
[m]



Merkmale in den Daten - Reflexionen

Caractéristiques dans les données - Réflexions

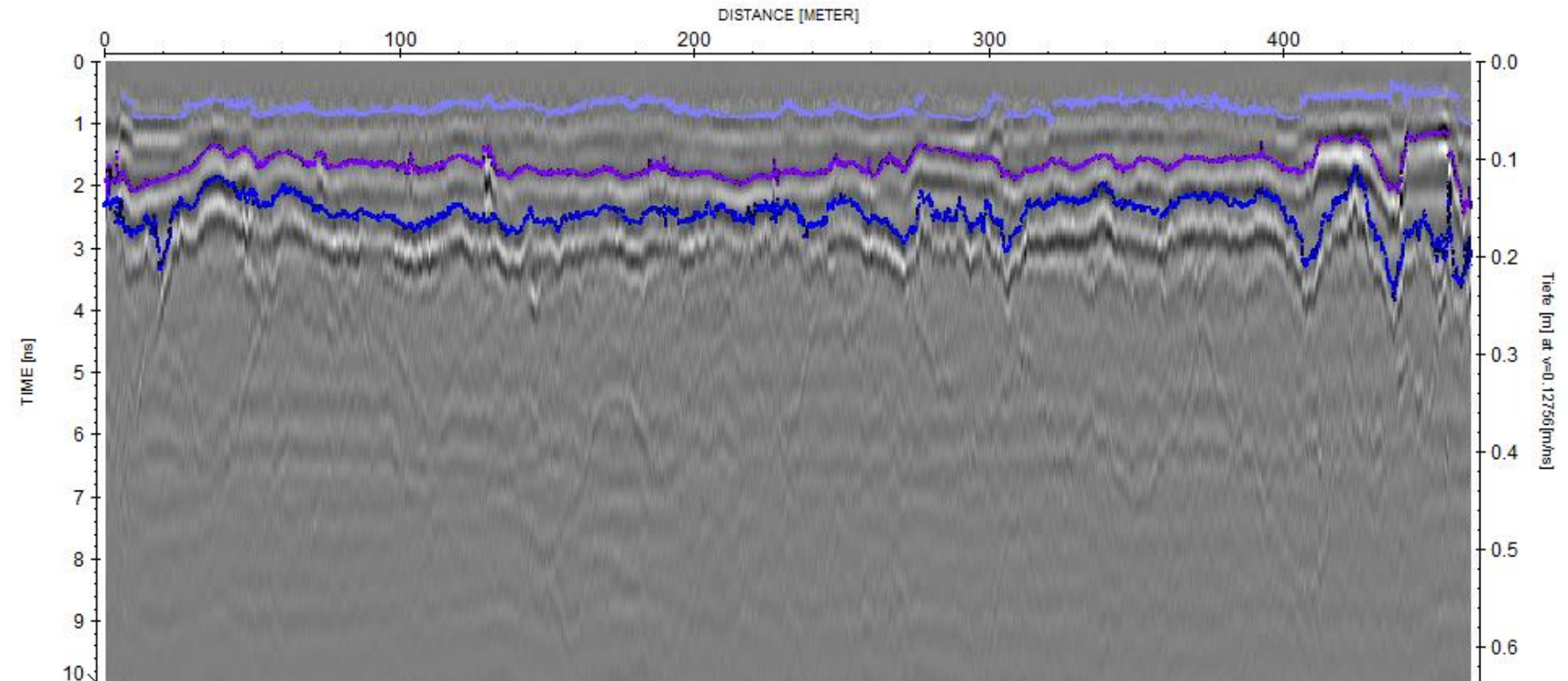
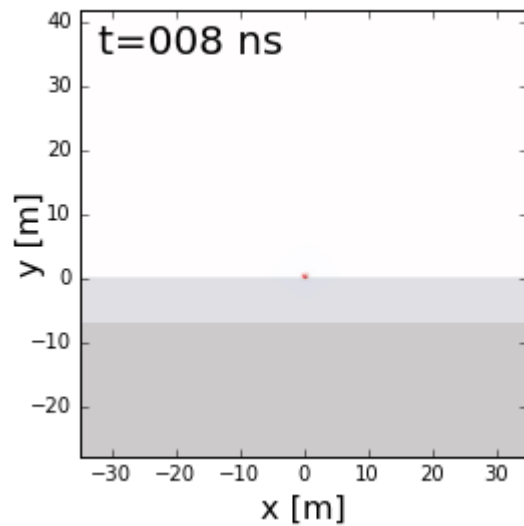
Schichtreflexion

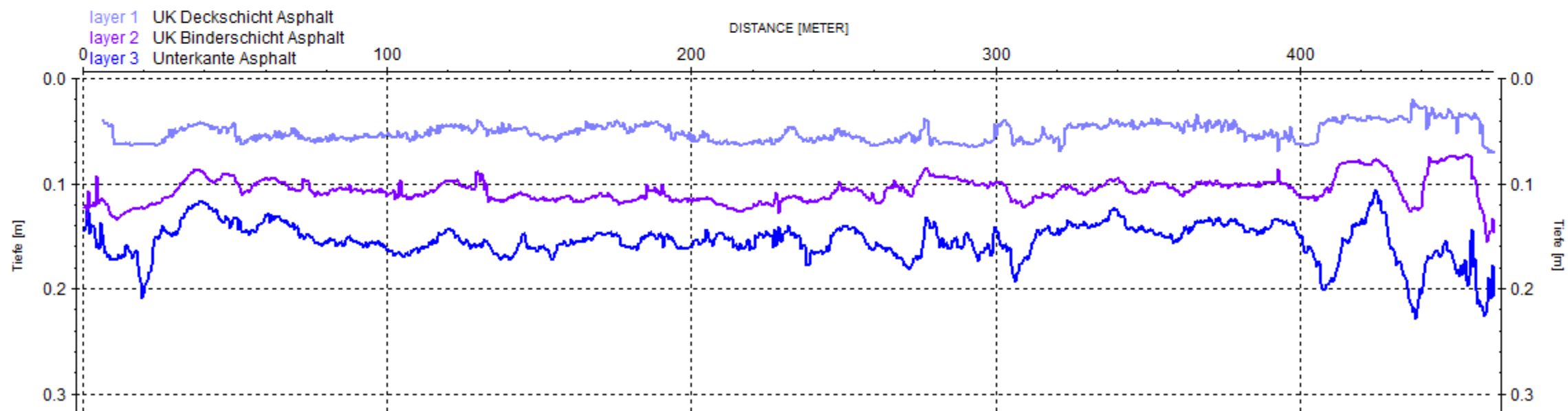
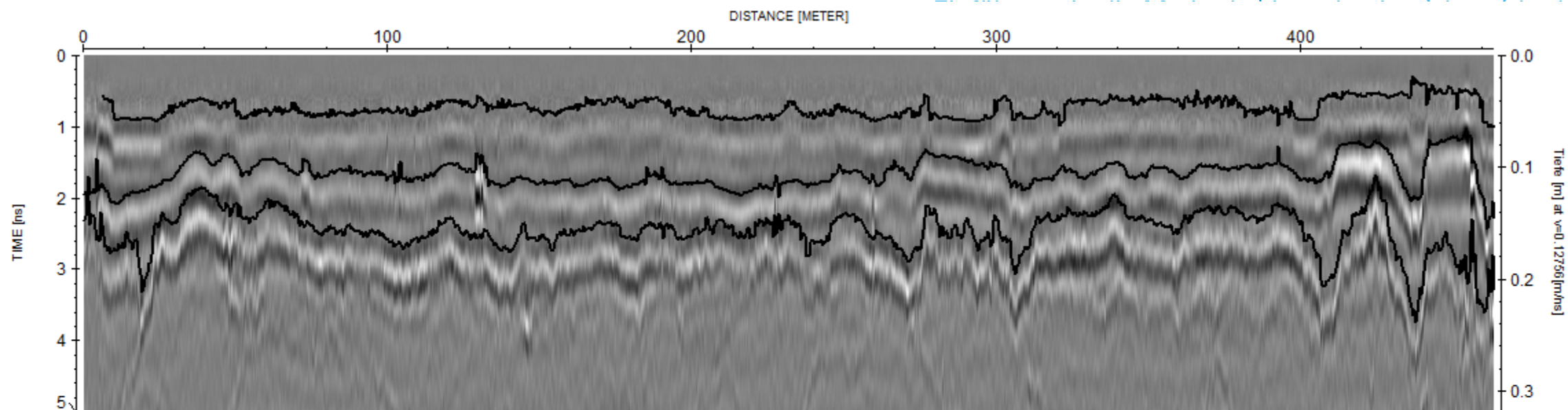


Merkmale in den Daten - Reflexionen

Caractéristiques dans les données - Réflexions

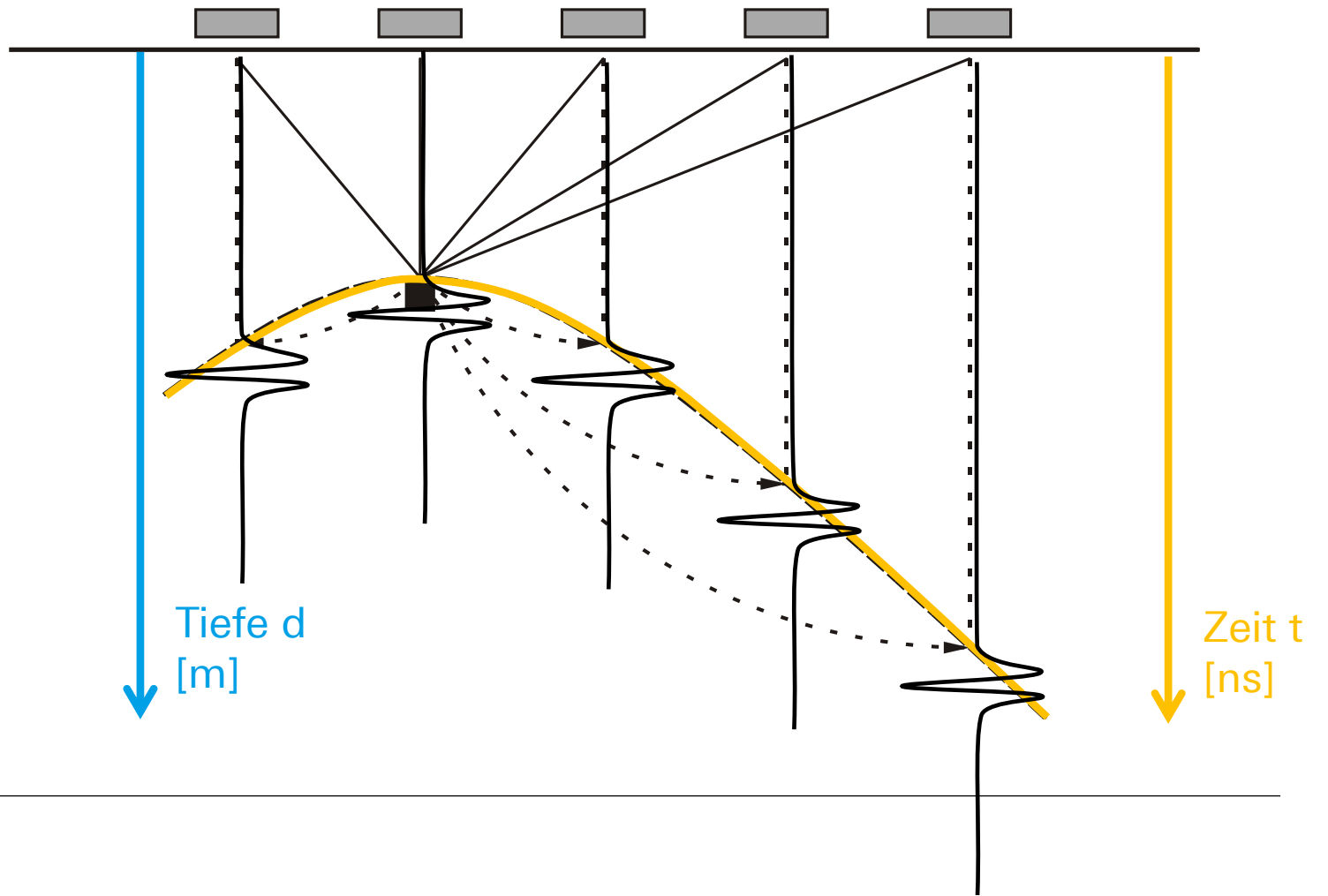
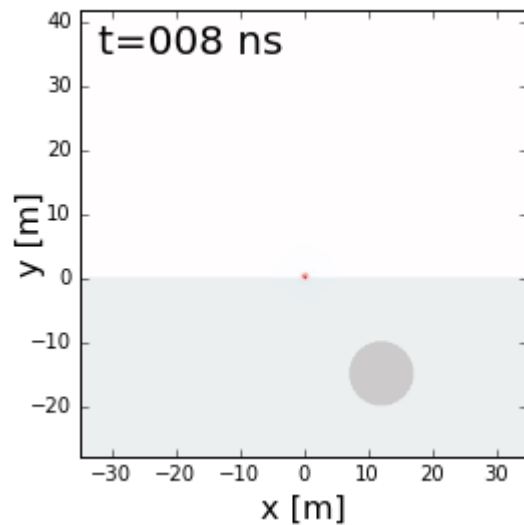
Schichtreflexion





Merkmale in den Daten - Diffraktionen

Caractéristiques dans les données - Diffraction



Merkmale in den Daten - Diffraktionen

Caractéristiques dans les données - Diffraction

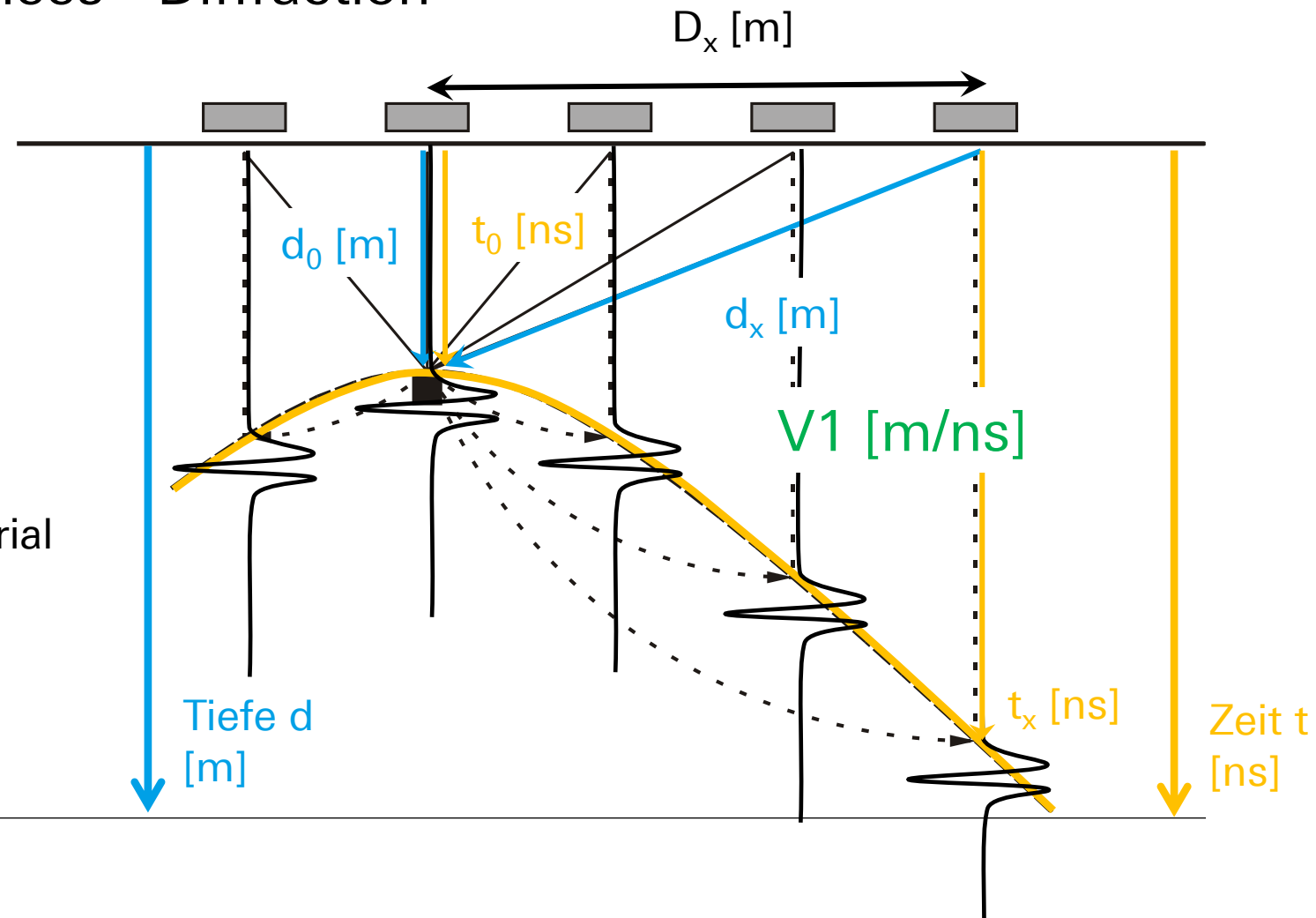
$$d_x [m] = \sqrt{d_0^2 + D_x^2}$$

v : Ausbreitungsgeschwindigkeit im Material

t : Einsatzzeit im Radargramm

d_0 : Tiefenlage Reflektor

Laufstrecke = Pythagoras!
(...und 2x)



Merkmale in den Daten - Diffraction

Principe de mesure

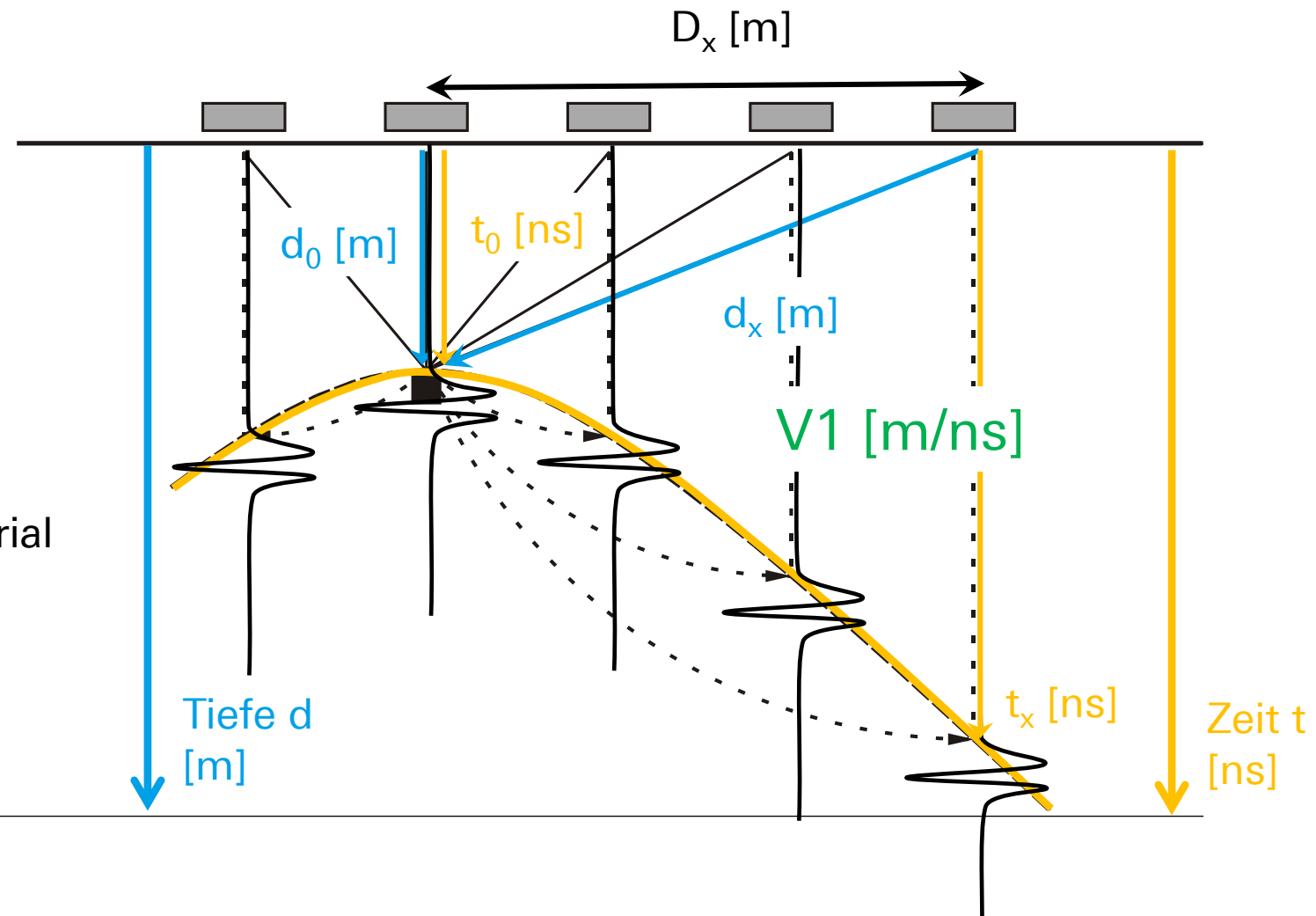
$$v^2 = \frac{4 \times D_x^2}{t^2 - t_0^2}$$

v : Ausbreitungsgeschwindigkeit im Material

t : Einsatzzeit im Radargramm

d_0 : Tiefenlage Reflektor

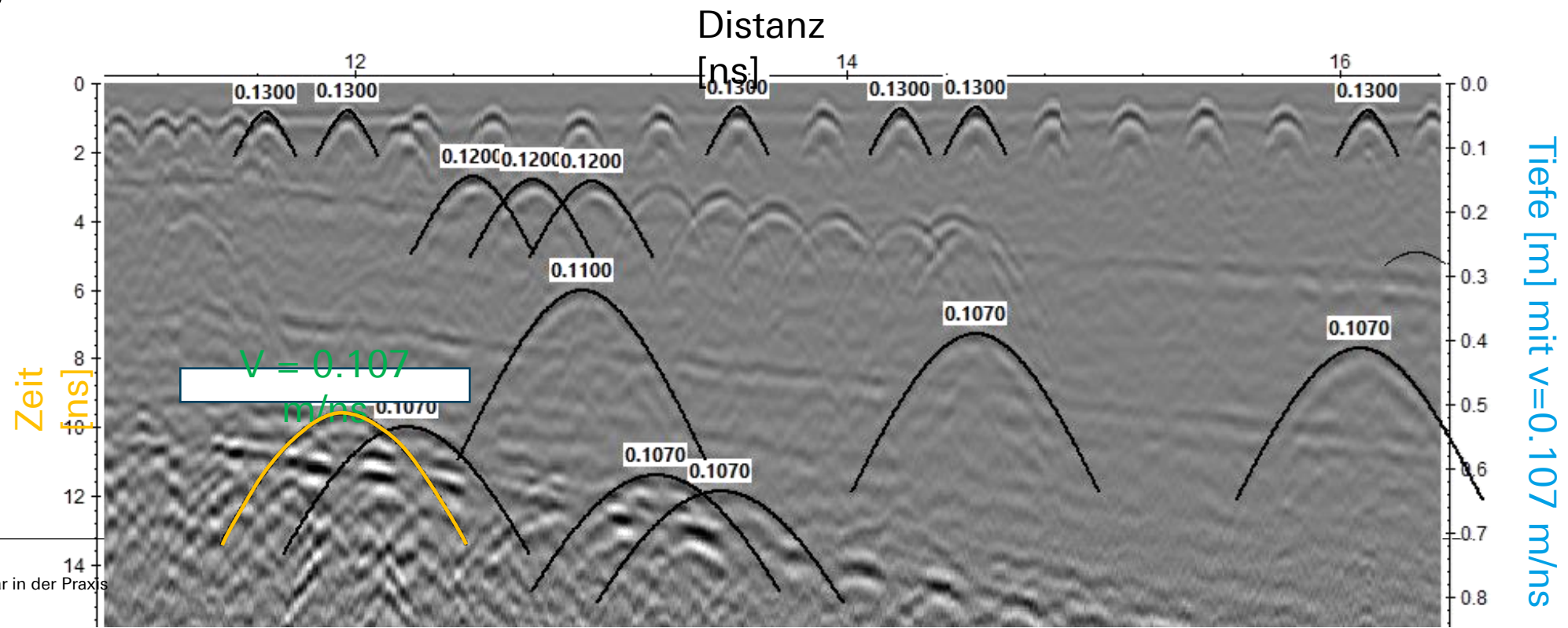
Laufstrecke $\approx 2 \times d_x$!

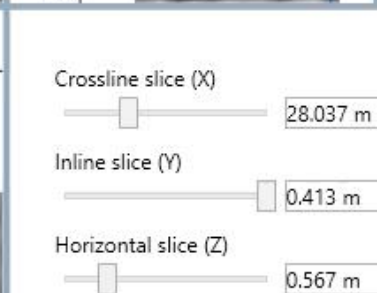
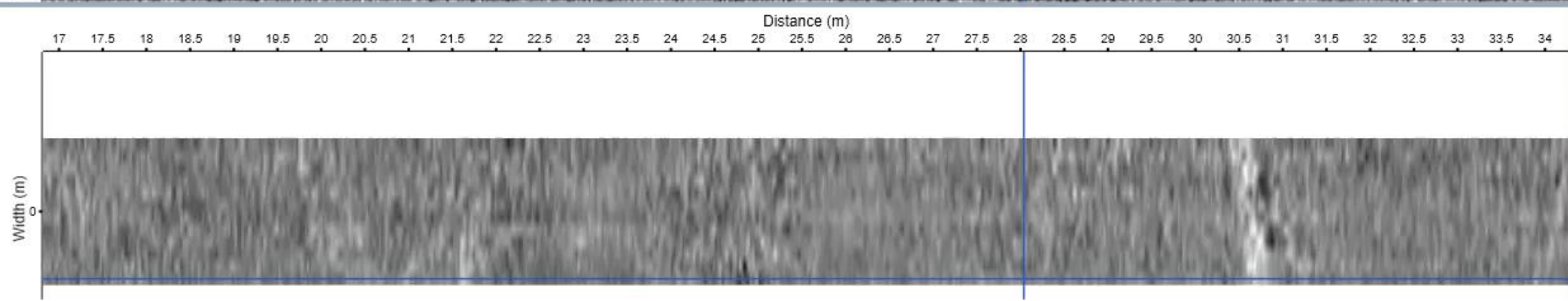
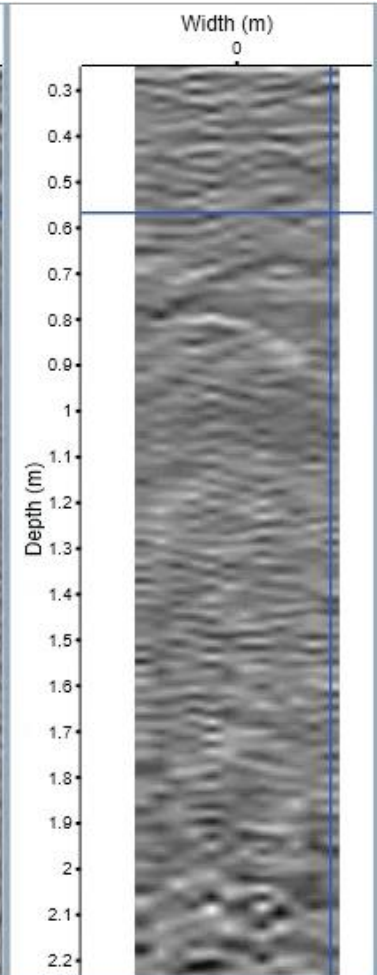
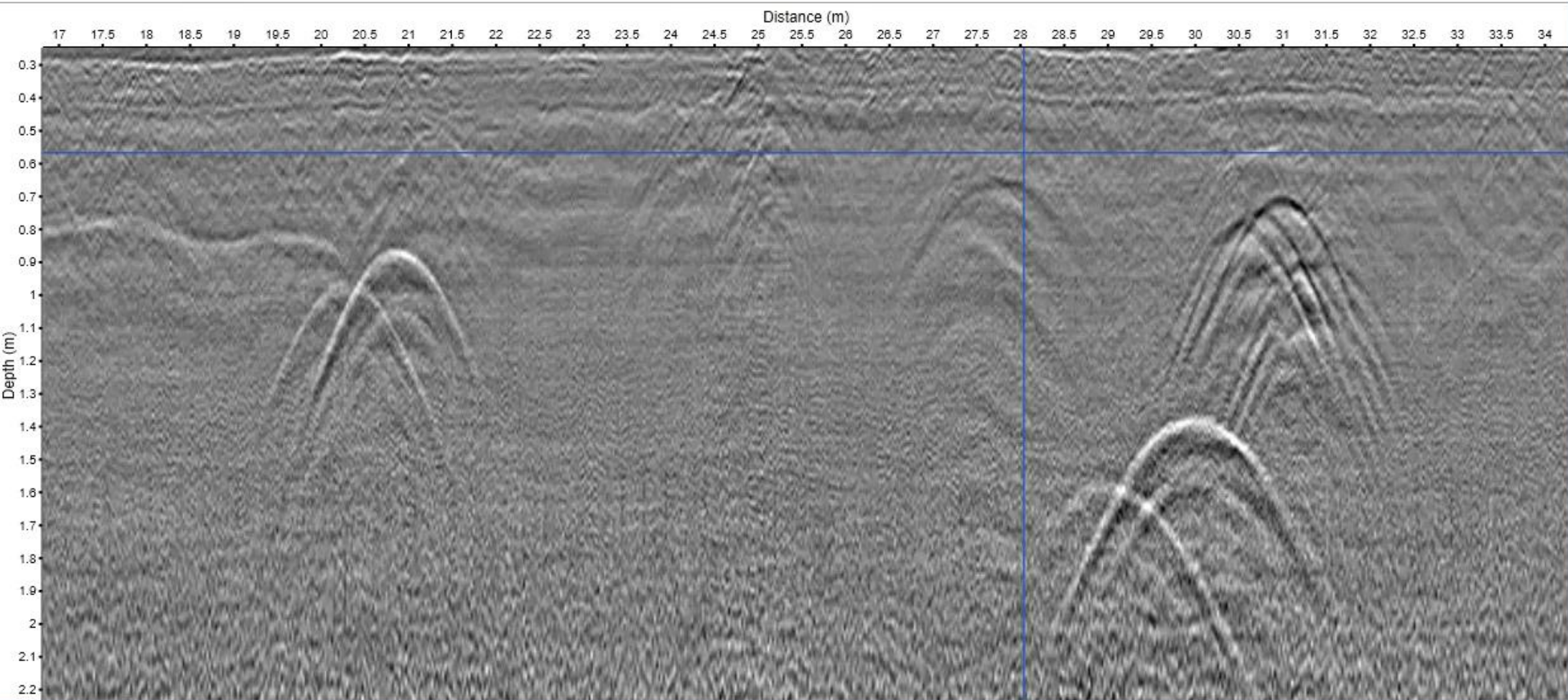


Merkmale in den Daten - Diffraktion

Caractéristiques dans les données -
Diffraktion

Bestimmung der mittleren Ausbreitungsgeschwindigkeit v durch Matching an Hyperbel
→ Umrechnung der Zeitachse in Tiefen





Interpretation von Radargrammen

- Akquisitionsrichtung und Geometrie der Einbauten entscheidend für Erscheinungsbild im Radargramm
- Eine Werkleitung / Eisen / Spannkabel ist...
 - ...bei **senkrechtem** Verlauf zur Messprofilrichtung eine ***Diffractionshyperbel***
 - ...bei **parallelem** Verlauf wie eine **„horizontale Schichtgrenze“**

i.m.p

Live Hands-On Demonstration

Démonstration en direct

Auswertung gemessener Daten

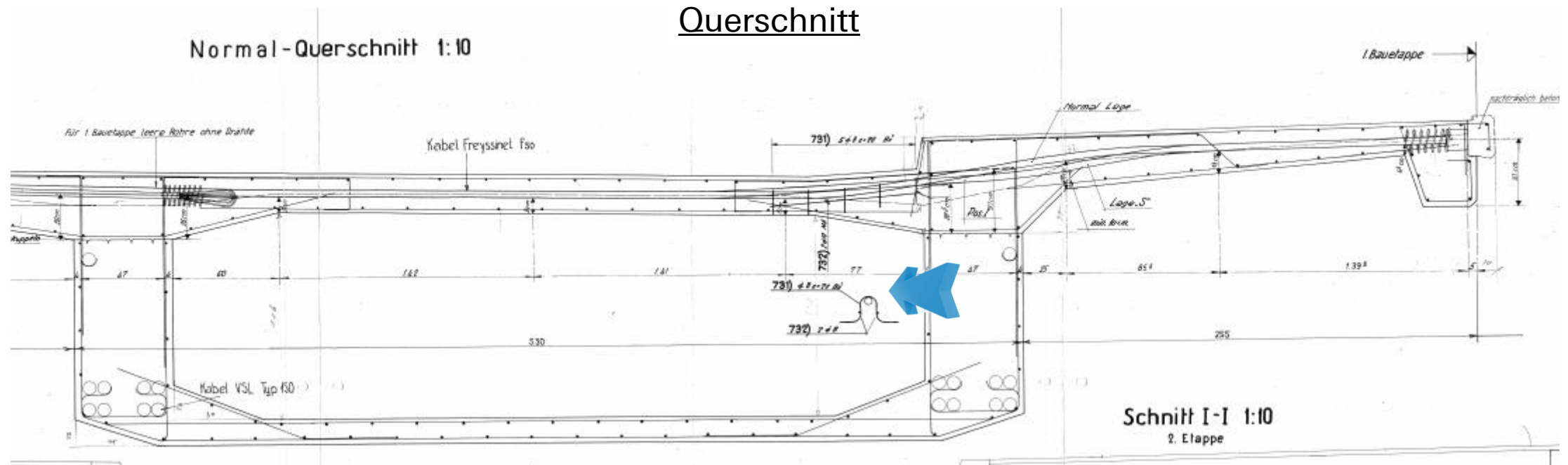
Analyse des données mesurées

Beispiel 1: Messung im Brückenhohlkasten

Exemple 1 : mesure dans un pont en poutre-caisson

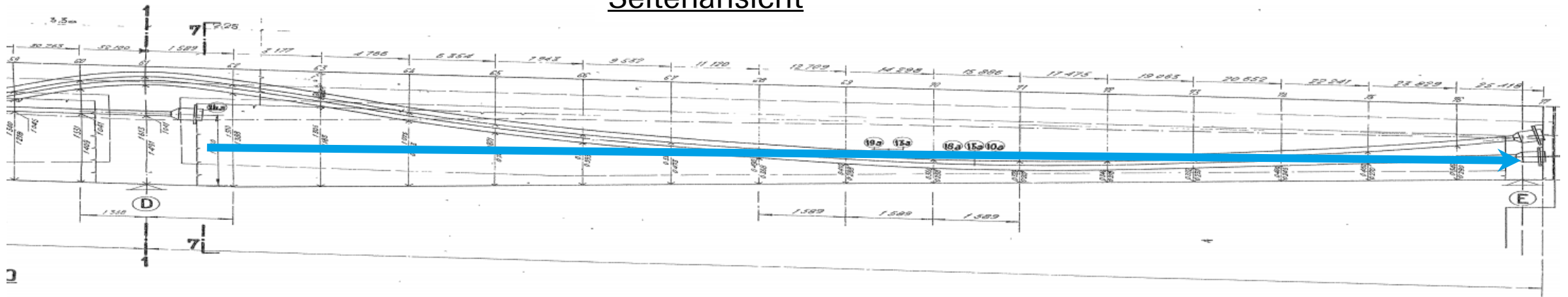
Messprofil

Querschnitt

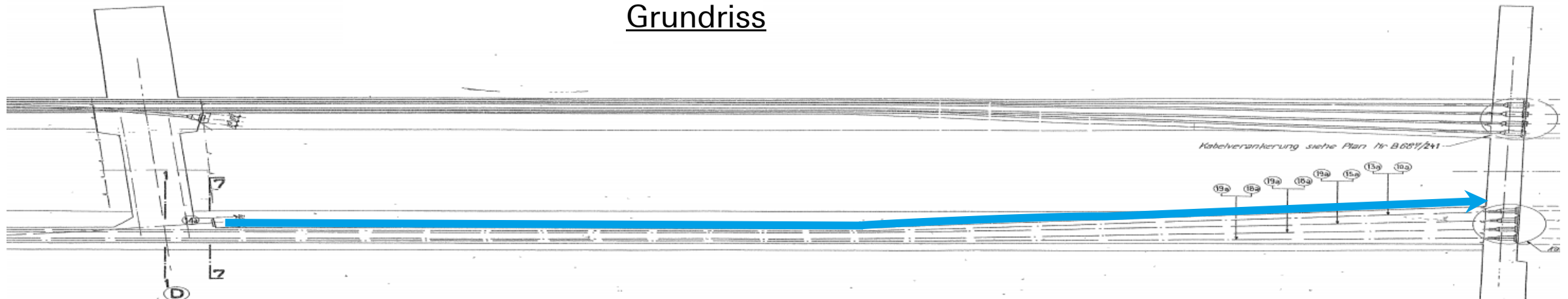


Messprofil

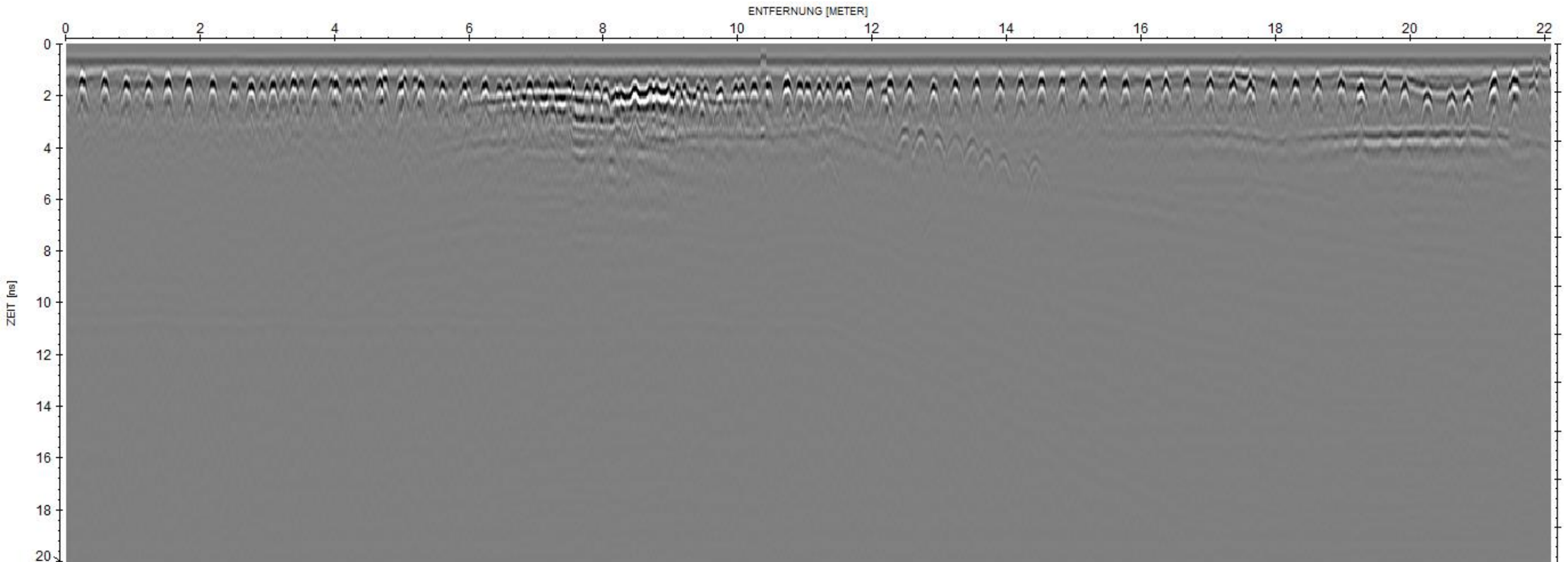
Seitenansicht



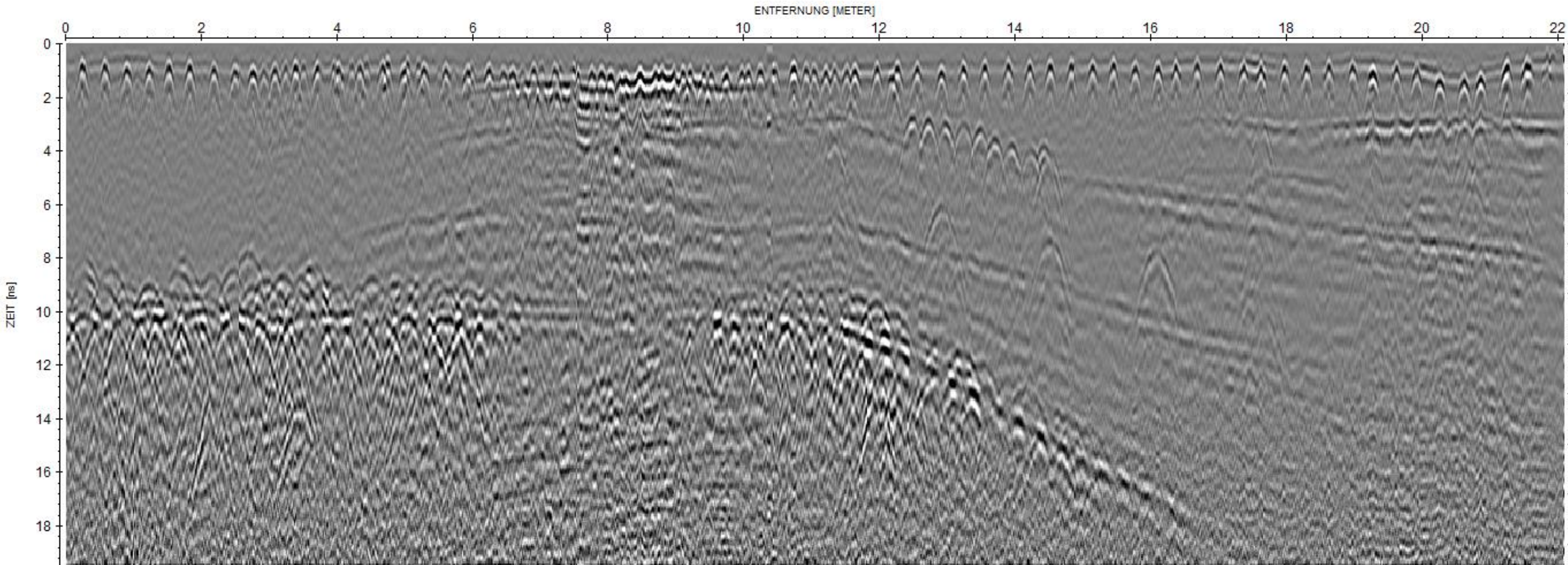
Grundriss



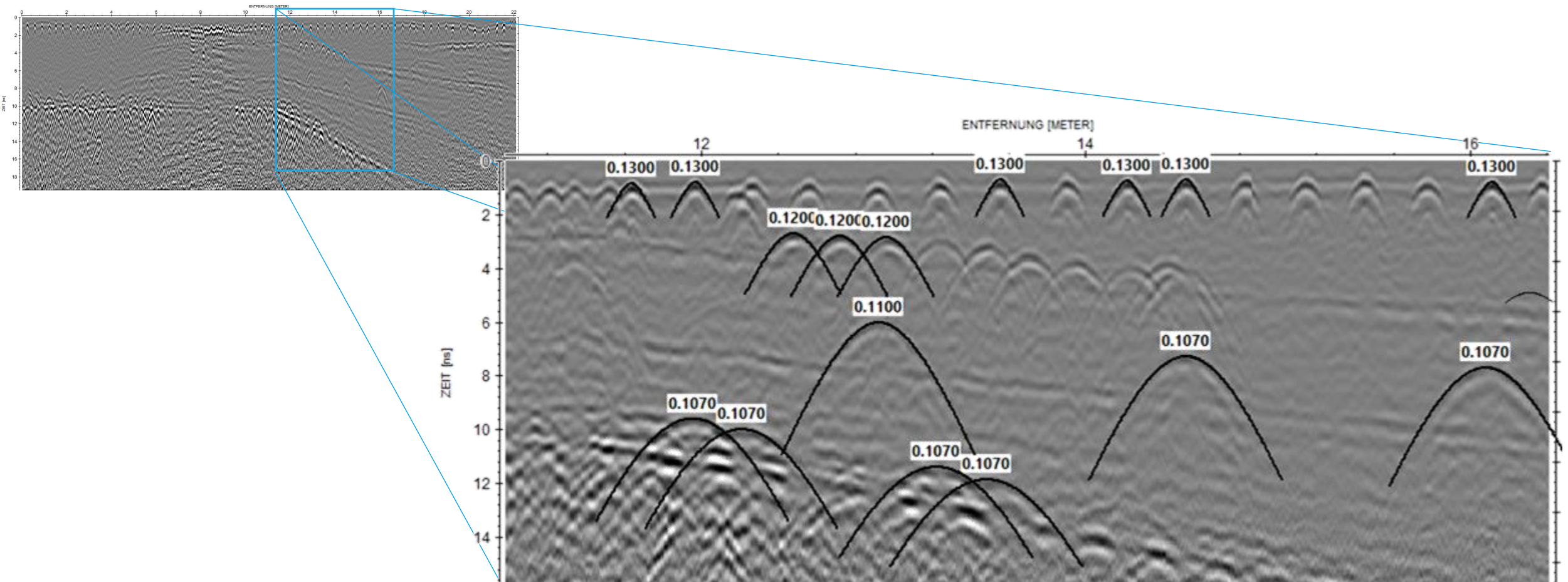
Messdaten roh



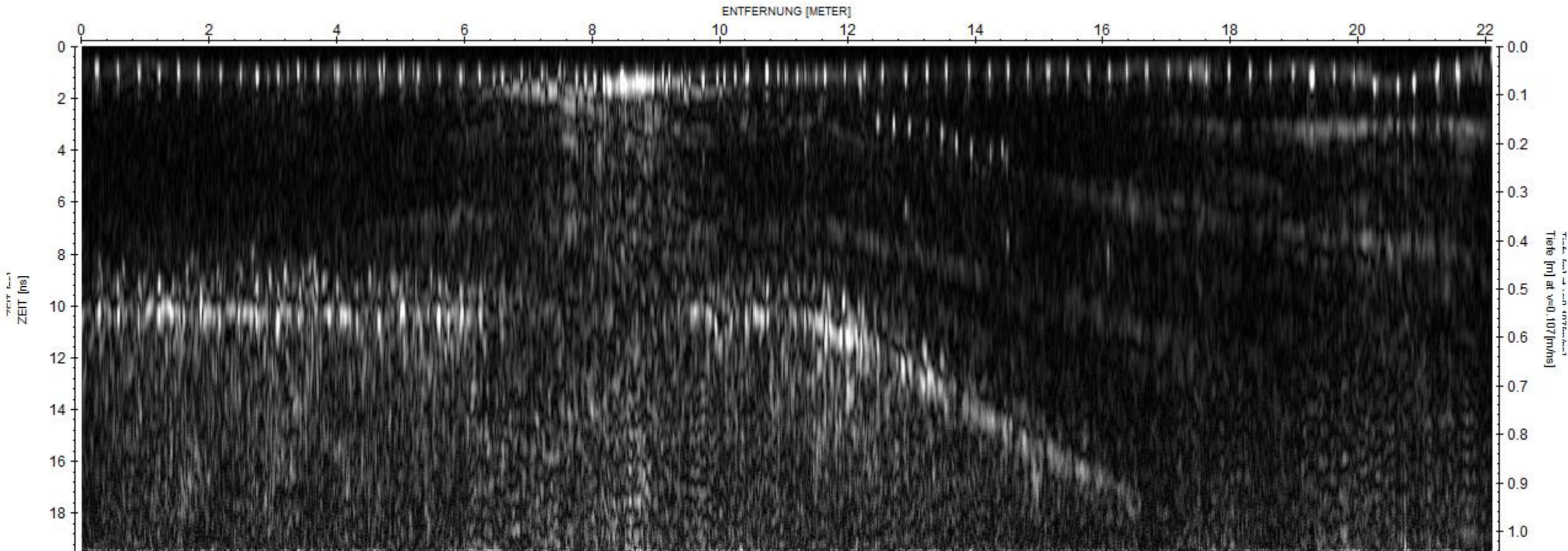
Beispiel 1 Messdaten prozessiert



Beispiel 1 - Geschwindigkeitsanalyse



Darstellung «nur Eisen» (Umhüllende)



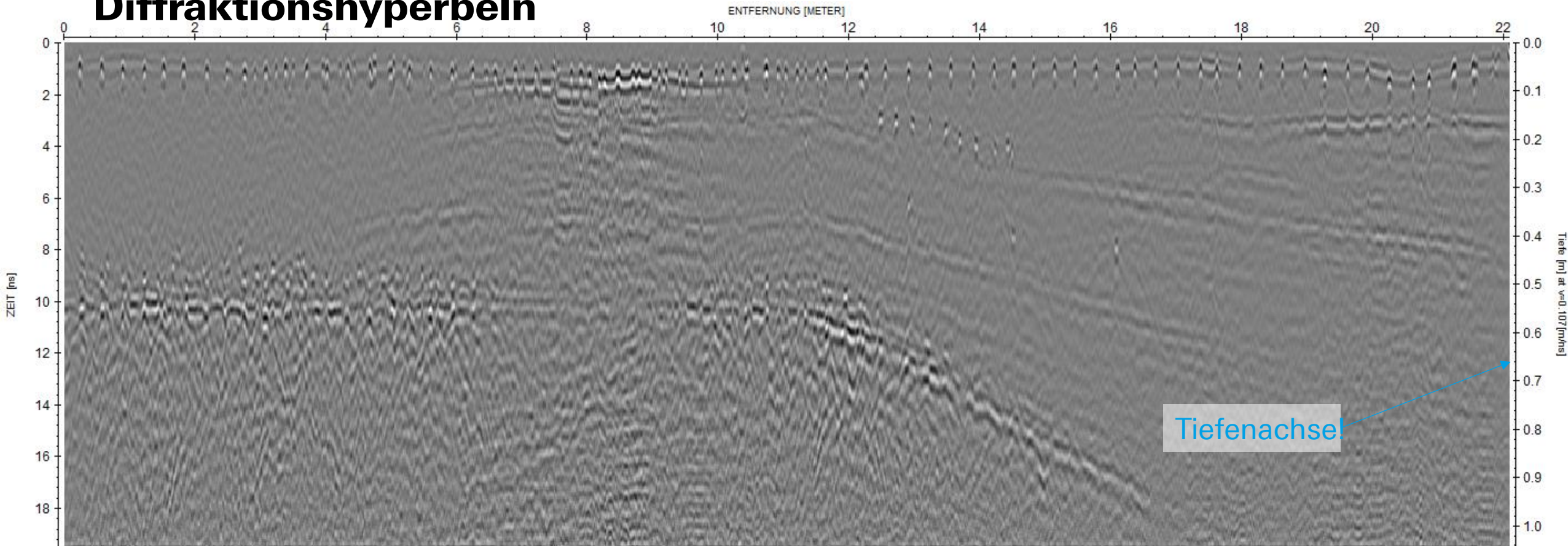
Beispiel 1 - Aufgaben

1. Dessine tous les tracés de couches reconnaissables
 2. D'où pourraient provenir les réflexions des « couches » ?
 3. Calcule la profondeur de l'armature inférieure et l'épaisseur de la barre avant qu'elle ne s'épaississe à l'aide de la vitesse de propagation donnée.
 4. Quels sont les fers d'armature que l'on voit et quel est leur tracé ?
1. Zeichne alle erkennbaren Schichtverläufe ein
 2. Wovon könnten die Reflexionen der „Schichten“ stammen?
 3. Berechne die Tiefenlage der unteren Armierung und die Dicke des Stegs bevor er dicker wird mittels der vorgegebene Ausbreitungsgeschwindigkeit.
 4. Welche Armierungseisen sieht man, und wie ist deren Verlauf?

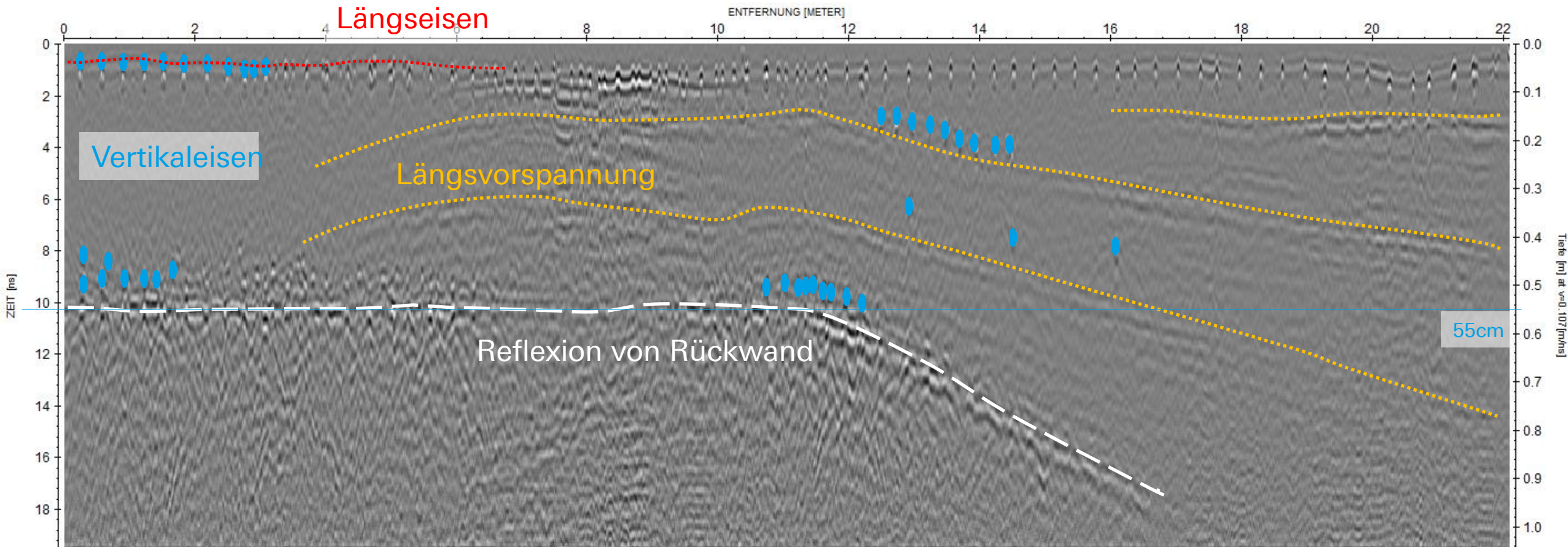
Beispiel 1 - Auflösung

1. Dessine tous les tracés de couches reconnaissables. **Voir le graphique**
 2. De quoi pourraient provenir les réflexions des « couches » ? **Voir graphique**
 3. Calcule l'épaisseur de la barre à l'aide de la vitesse de propagation donnée.
Temps=env. 10.2ns, vitesse =0.107m/ns, double parcours : profondeur=vitesse X temps / 2 (sinon double temps de parcours) = 0.107m/ns x 10.2ns *0.5 = env. 55cm
 4. Quels fers d'armature voit-on et quel est leur tracé ? **Voir graphique, les hyperboles s'étendent verticalement dans l'âme, les réflexions continues horizontalement dans le sens longitudinal du pont.**
1. Zeichne alle erkennbaren Schichtverläufe ein. **Siehe Grafik**
 2. Wovon könnten die Reflexionen der „Schichten“ stammen? **Siehe Grafik**
 3. Berechne die Dicke des Stegs mittels der vorgegebene Ausbreitungsgeschwindigkeit. **Zeit=ca. 10.2ns, Geschw.=0.107m/ns, doppelter Weg: Tiefe=Geschw. X Zeit / 2 (sonst doppelte Laufzeit) = 0.107m/ns x 10.2ns *0.5 = Ca. 55cm**
 4. Welche Armierungseisen sieht man, und wie ist deren Verlauf? **Siehe Grafik, Hyperbeln verlaufen vertikal im Steg, kontinuierliche Reflexionen horizontal in Brückenlängsrichtung.**

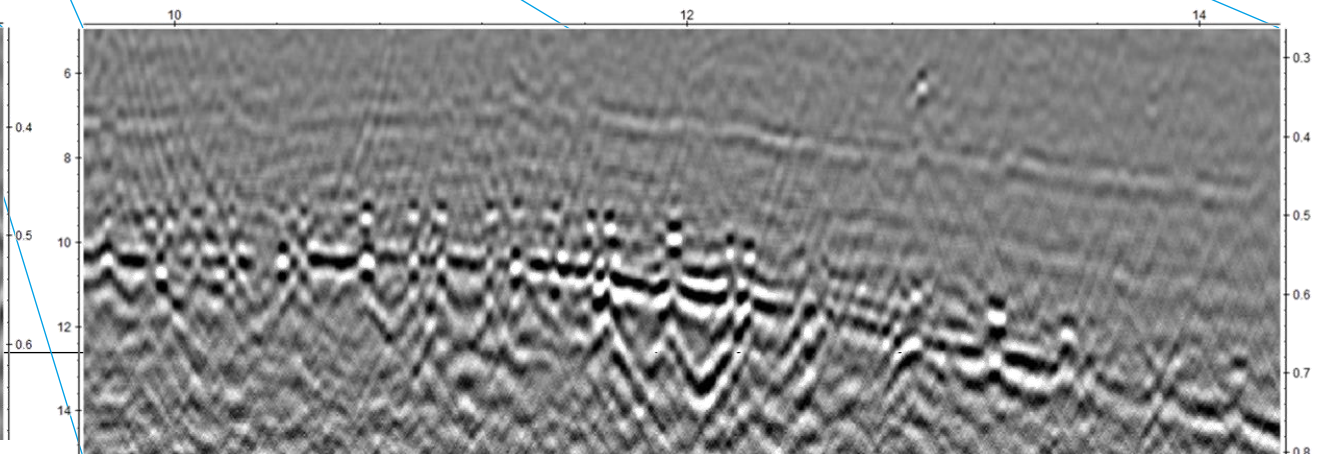
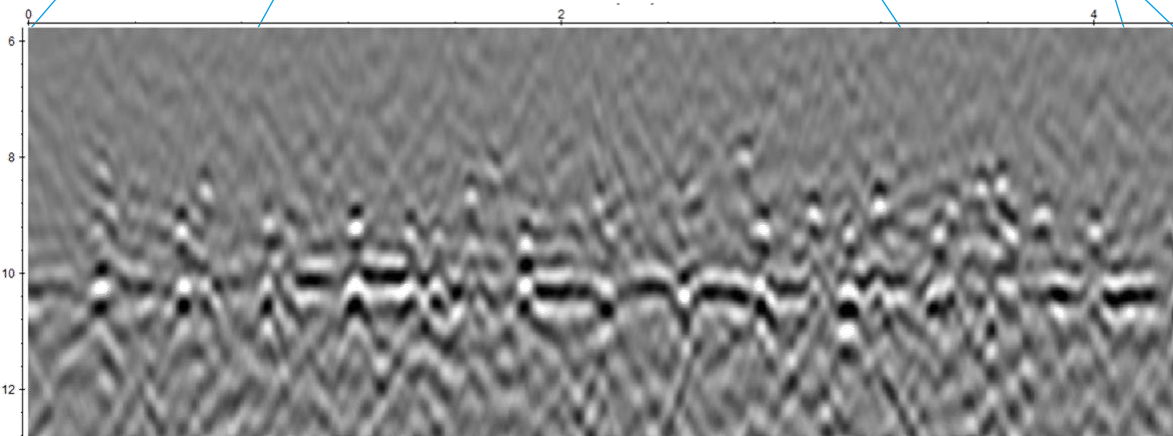
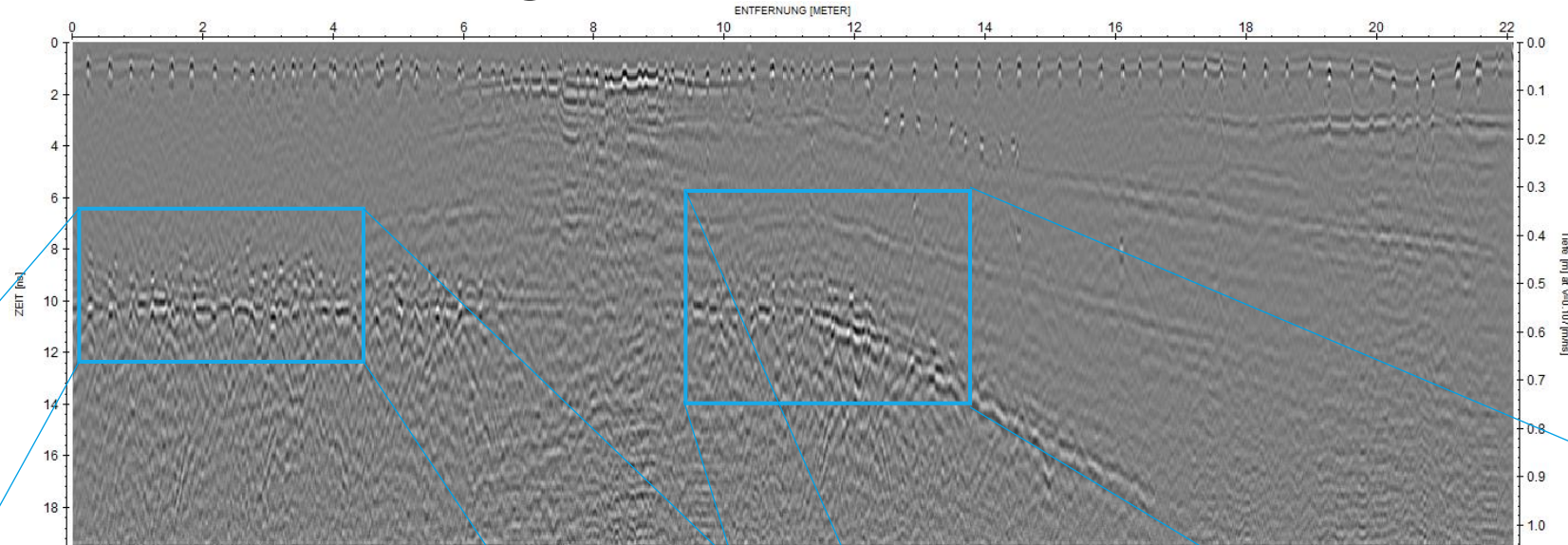
Messdaten migriert mit Geschwindigkeit aus unteren Diffraktionshyperbeln



Interpretation



Einzelne Vertikaleisen gut erkennbar in 50 cm Tiefe

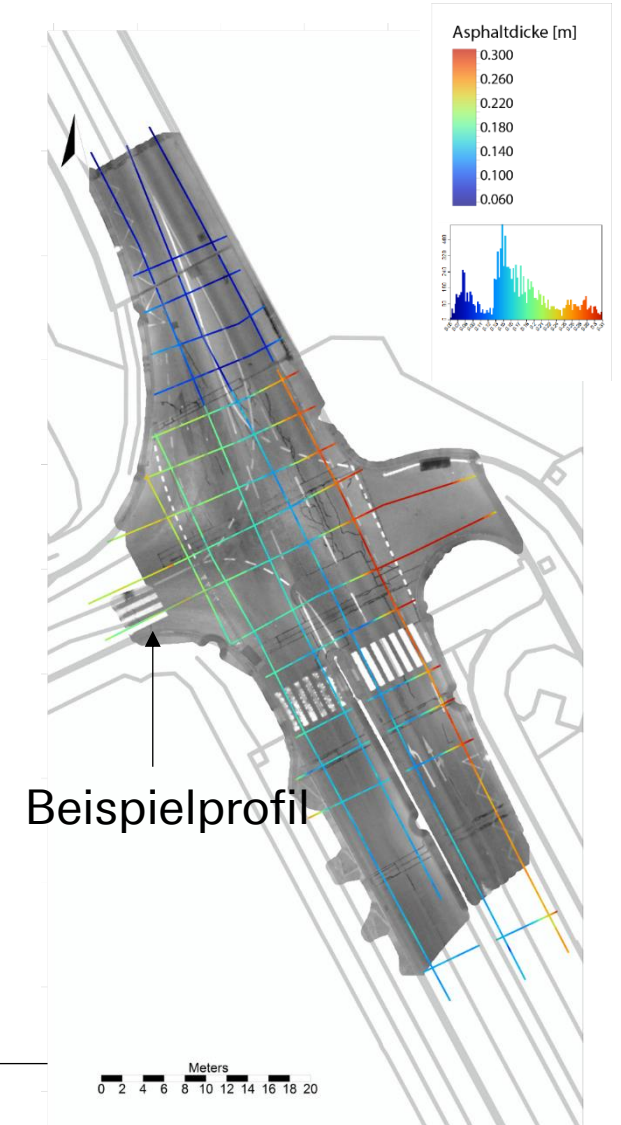
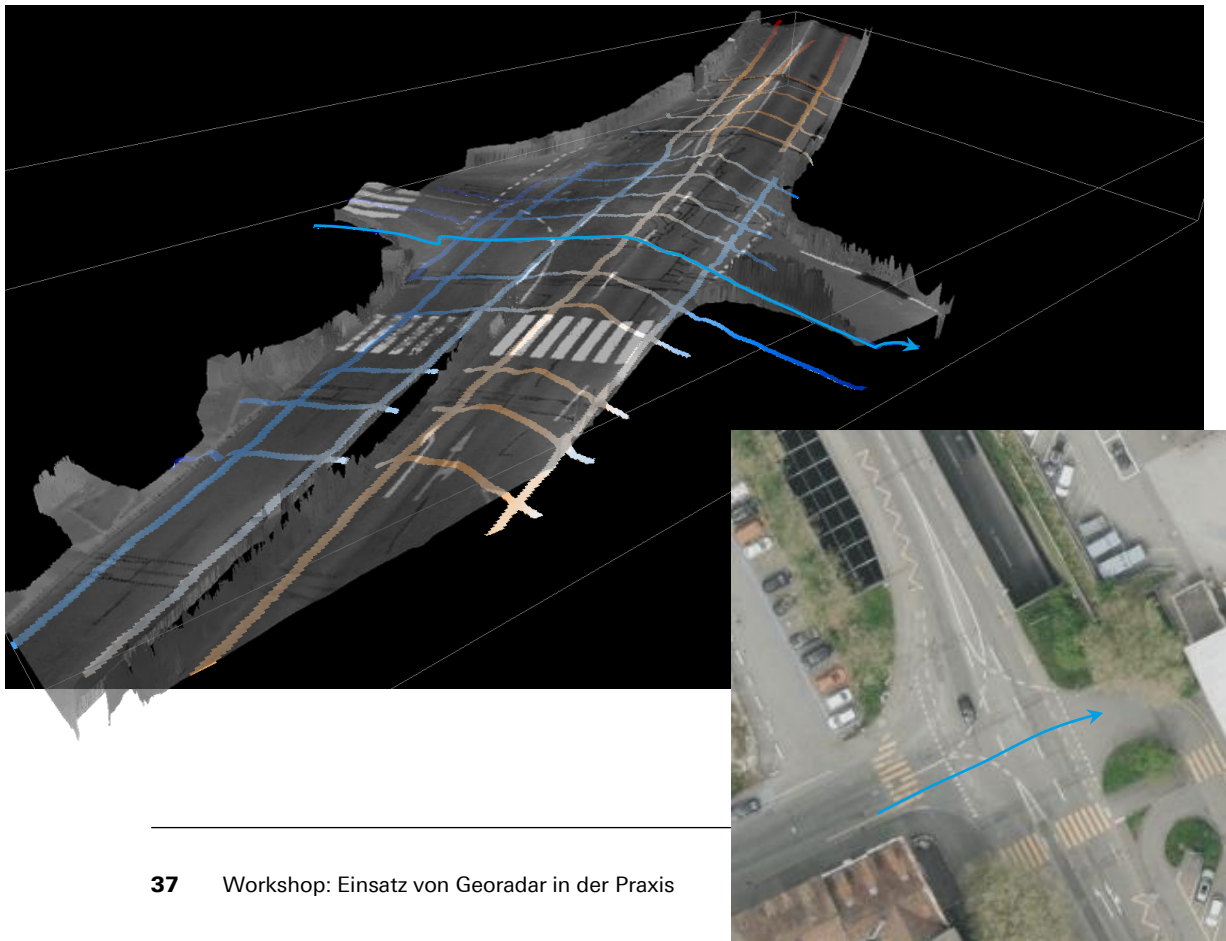


Beispiel 2: Messung auf Strasse über Tunneldeckel

Exemple 2 : mesure sur la route au-dessus du couvercle du tunnel

Beispiel 2 Brückenplatte

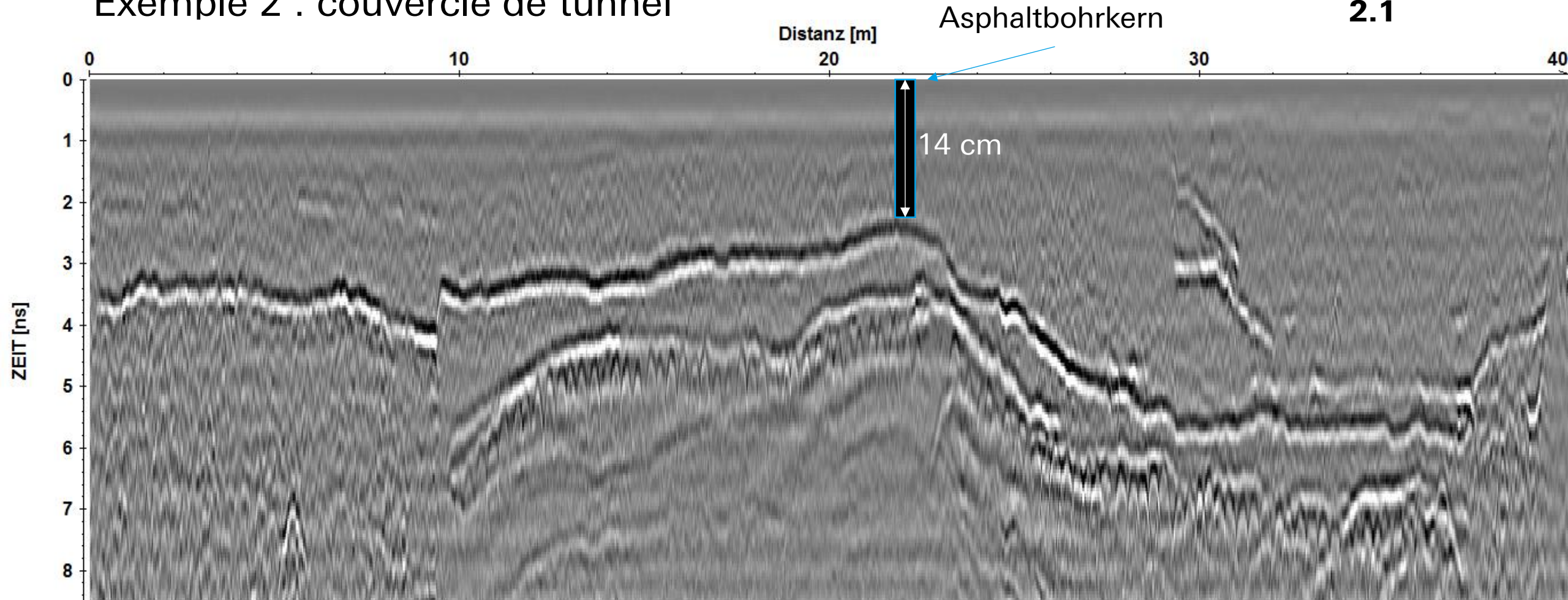
Exemple 2 : couvercle de tunnel



Beispiel 2: Tunneldeckel

Exemple 2 : couvercle de tunnel

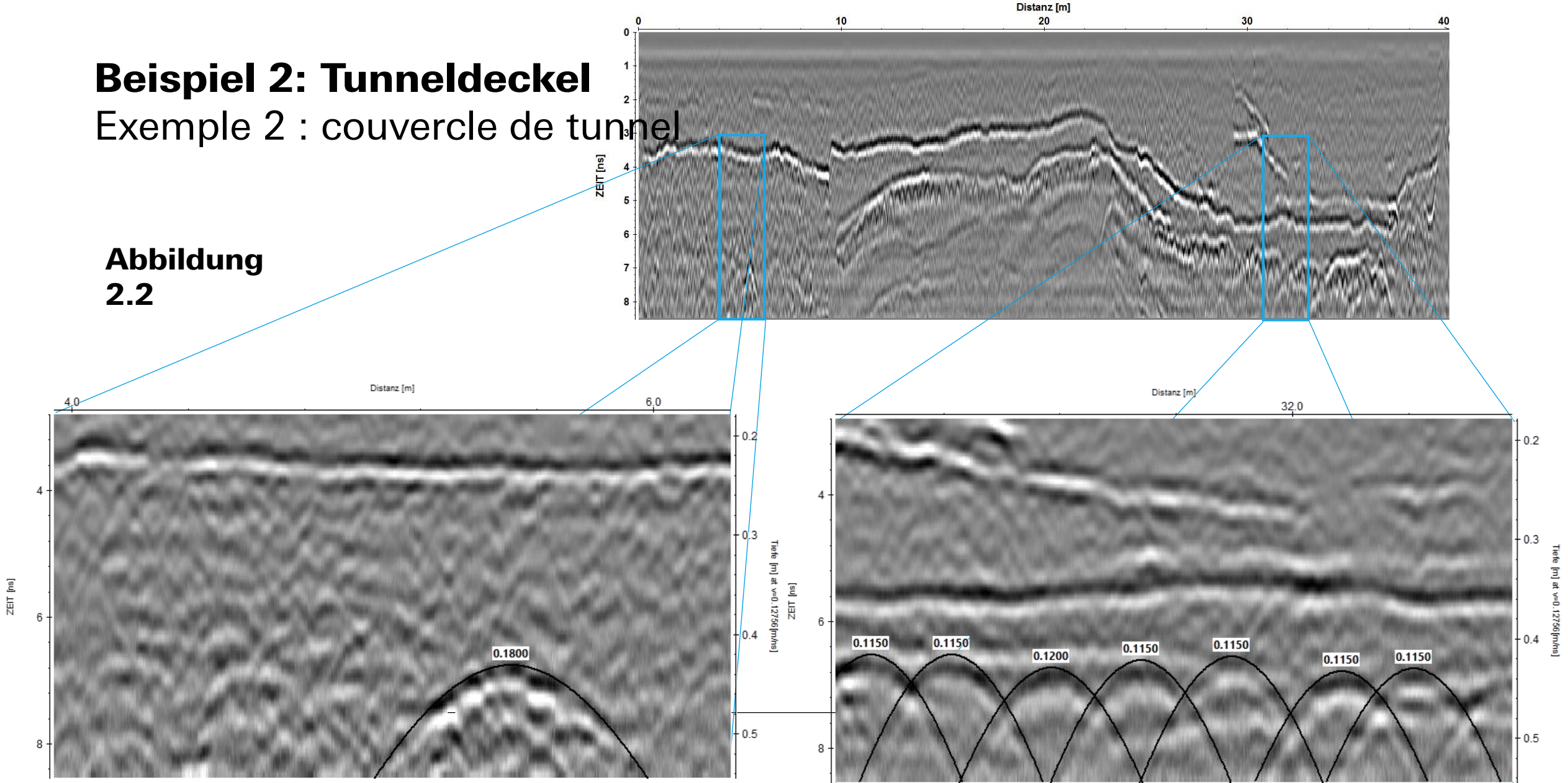
**Abbildung
2.1**



Beispiel 2: Tunneldeckel

Exemple 2 : couvercle de tunnel

Abbildung
2.2



Beispiel 2 - Aufgaben

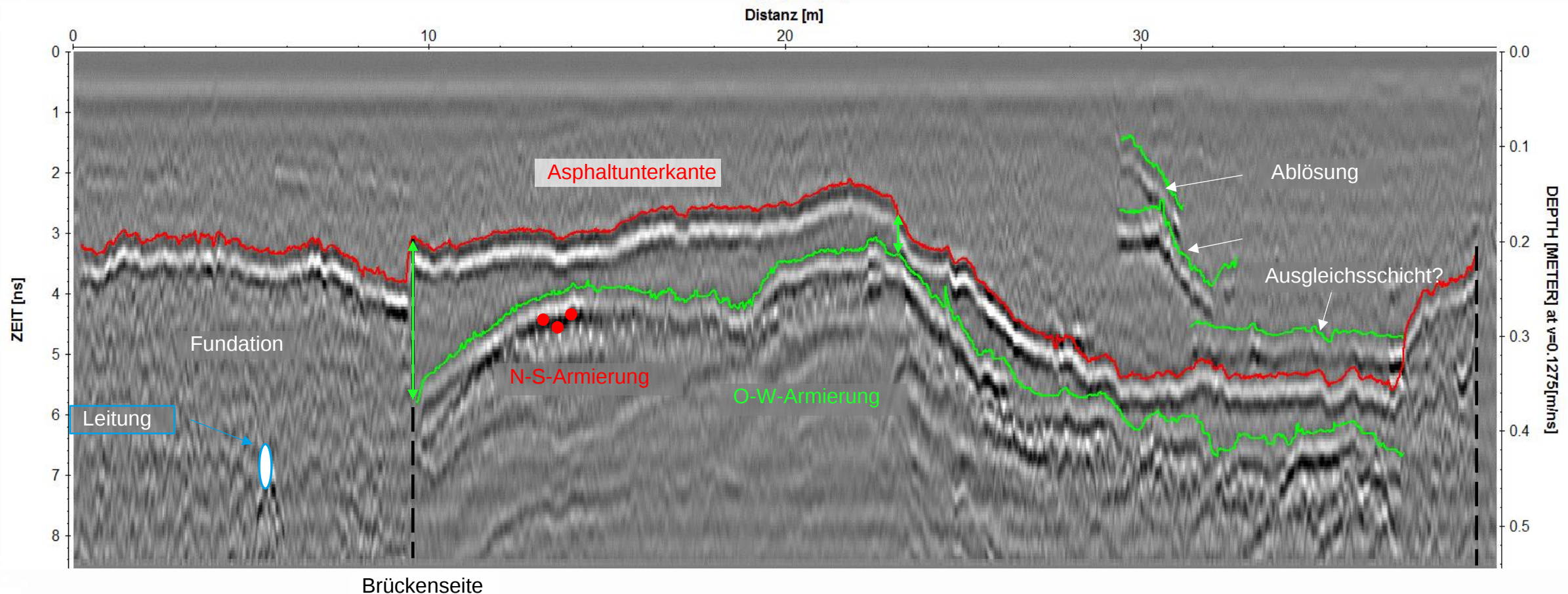
1. Dessine tous les tracés de couches reconnaissables sur l'illustration 2.1
 2. D'où pourraient provenir les réflexions à 29-32 m à l'intérieur de l'asphalte ?
 3. Calcule la vitesse de propagation.
 4. Quels fers d'armature voit-on et quel est leur tracé ?
 5. Marque l'endroit où le recouvrement de l'armature est le plus élevé et celui où il est le plus faible.
 6. La figure 2.2 montre l'analyse des hyperboles de diffraction.
 - a) Que signifie le fait que les vitesses de propagation dans l'image de droite sont inférieures à la vitesse de propagation calculée en 3 ?
 - b) Quels facteurs pourraient être à l'origine de la vitesse de propagation extrêmement élevée de l'hyperbole visible sur l'image de gauche ?
1. Zeichne alle erkennbaren Schichtverläufe in Abbildung 2.1 ein
 2. Wovon könnten die Reflexionen bei 29-32 m innerhalb des Asphalts stammen?
 3. Berechne die Ausbreitungsgeschwindigkeit.
 4. Welche Armierungseisen sieht man, und wie ist deren Verlauf?
 5. Markiere jeweils die Stelle mit höchster und geringster Armierungsüberdeckung.
 6. Abbildung 2.2 zeigt die Analyse von Diffraktionshyperbeln.
 - a) Was bedeutet es, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeiten im rechten Bild niedriger sind als die in 3. berechnete Ausbreitungsgeschwindigkeit?
 - b) Welche Faktoren könnten zur extrem hohen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Hyperbel führen, die im linken Bild erkennbar ist?

Beispiel 2 - Auflösung

1. Dessine tous les tracés de couches reconnaissables sur la figure 2.1. **Voir le graphique**
 2. D'où pourraient provenir les réflexions à 29-32 m à l'intérieur de l'asphalte ? **Probablement des décollements**
 3. Calcule la vitesse de propagation. **$14\text{cm d'asphalte à } 2.2\text{ ns} = 0.14\text{m} \times 2 \text{ (double trajet)} / 2.2\text{ns} = 0.1272\text{ m/ns}$**
 4. Quels fers d'armature voit-on et quel est leur tracé ? **Voir le graphique**
 5. Marque à chaque fois l'endroit où le recouvrement de l'armature est le plus élevé et le moins élevé. **Voir graphique**
 6. La figure 2.2 montre l'analyse des hyperboles de diffraction.
 - a) Que signifie le fait que les vitesses de propagation de l'image de droite sont inférieures à la vitesse de propagation calculée en 3 ? **L'asphalte a une vitesse de propagation plus élevée que le béton. Ceci est pertinent pour le calcul du recouvrement.**
 - b) Quels facteurs pourraient être à l'origine de la vitesse de propagation extrêmement élevée de l'hyperbole visible sur l'image de gauche ? **Étant donné que d'autres hyperboles situées à proximité immédiate de l'hyperbole « forte » présentent des vitesses de propagation nettement plus faibles et qu'il s'agit ici d'une structure routière normale avec des fondations qui ont des vitesses de propagation plutôt faibles, la vitesse apparente est due à des effets géométriques. Il s'agit probablement d'une conduite d'un certain diamètre et la mesure n'a pas été effectuée perpendiculairement au tracé de la conduite.**
1. Zeichne alle erkennbaren Schichtverläufe in Abbildung 2.1 ein. **Siehe Grafik**
 2. Wovon könnten die Reflexionen bei 29-32 m innerhalb des Asphalts stammen? **Vermutlich Ablösungen**
 3. Berechne die Ausbreitungsgeschwindigkeit. **$14\text{cm Asphalt bei } 2.2\text{ ns} = 0.14\text{m} \times 2 \text{ (doppelter Weg)} / 2.2\text{ns} = 0.1272\text{ m/ns}$**
 4. Welche Armierungseisen sieht man, und wie ist deren Verlauf? **Siehe Grafik**
 5. Markiere jeweils die Stelle mit höchster und geringster Armierungsüberdeckung. **Siehe Grafik**
 6. Abbildung 2.2 zeigt die Analyse von Diffraktionshyperbeln.
 - a) Was bedeutet es, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeiten im rechten Bild niedriger sind als die in 3. berechnete Ausbreitungsgeschwindigkeit? **Der Asphalt hat eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit als der Beton. Dies ist relevant zur Berechnung der Überdeckung.**
 - b) Welche Faktoren könnten zur extrem hohen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Hyperbel führen, die im linken Bild erkennbar ist? **Da weitere Hyperbeln in der unmittelbaren Nähe zur „starken“ Hyperbel deutlich niedrigere Ausbreitungsgeschwindigkeiten zeigen, und da hier ein normaler Strassenaufbau mit Foundation vorliegt, die eher geringe Ausbreitungsgeschwindigkeiten hat, ist die scheinbare Geschwindigkeit auf geometrische Effekte zurückzuführen. Vermutlich handelt es sich um eine Leitung mit einem gewissen Durchmesser, und die Messung erfolgte nicht senkrecht zum Leitungsverlauf.**

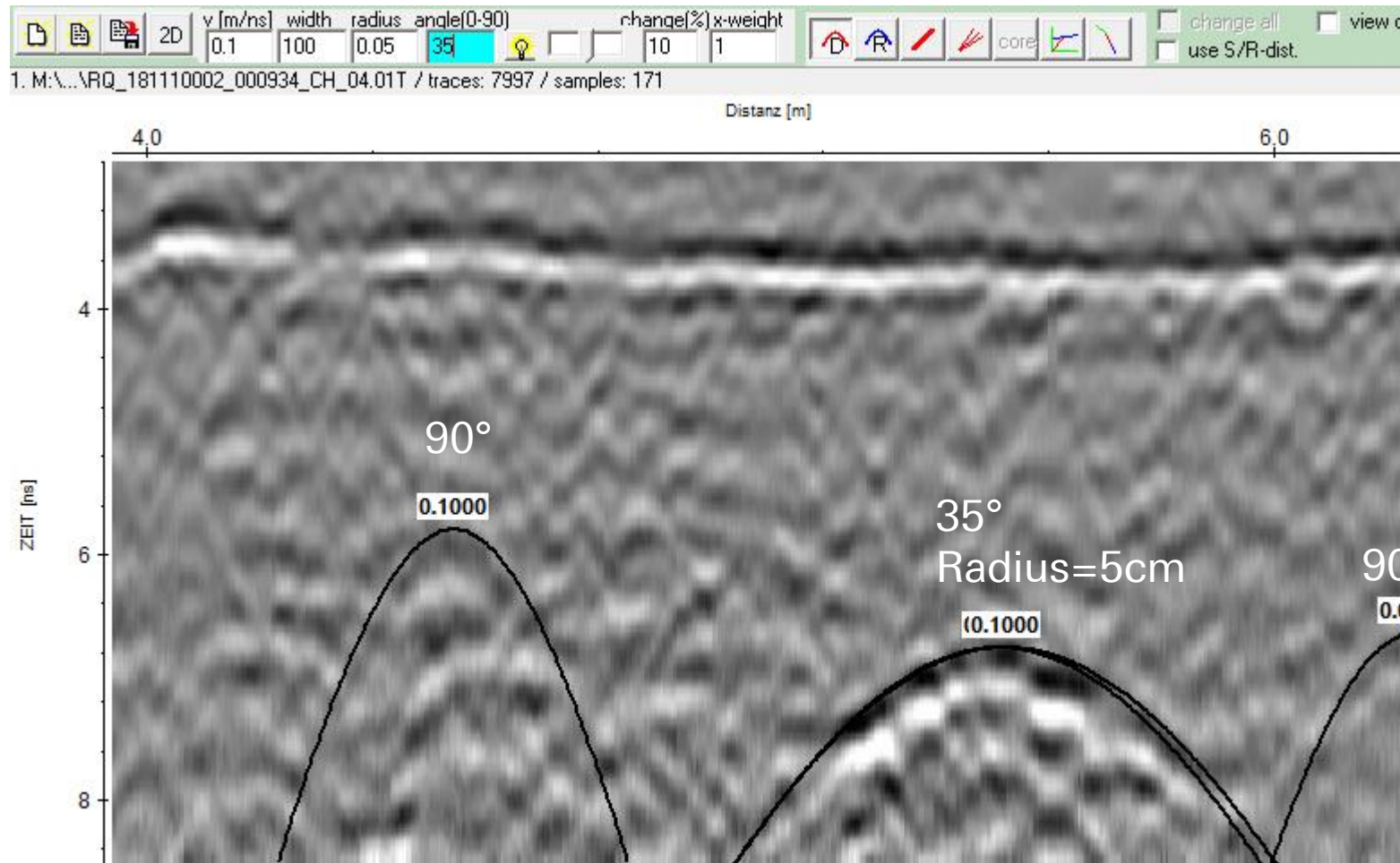
Abbildung des Untergrundes

Représentation du sous-sol

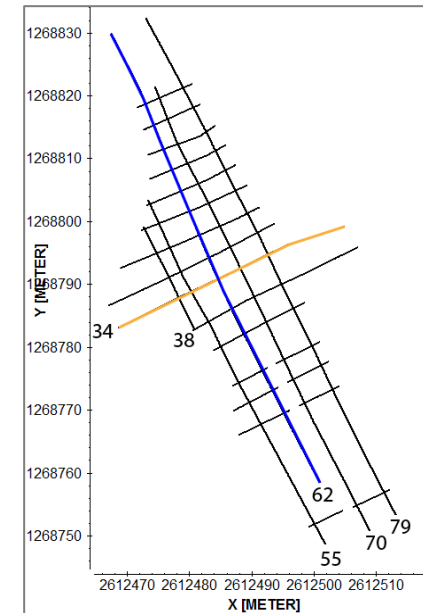
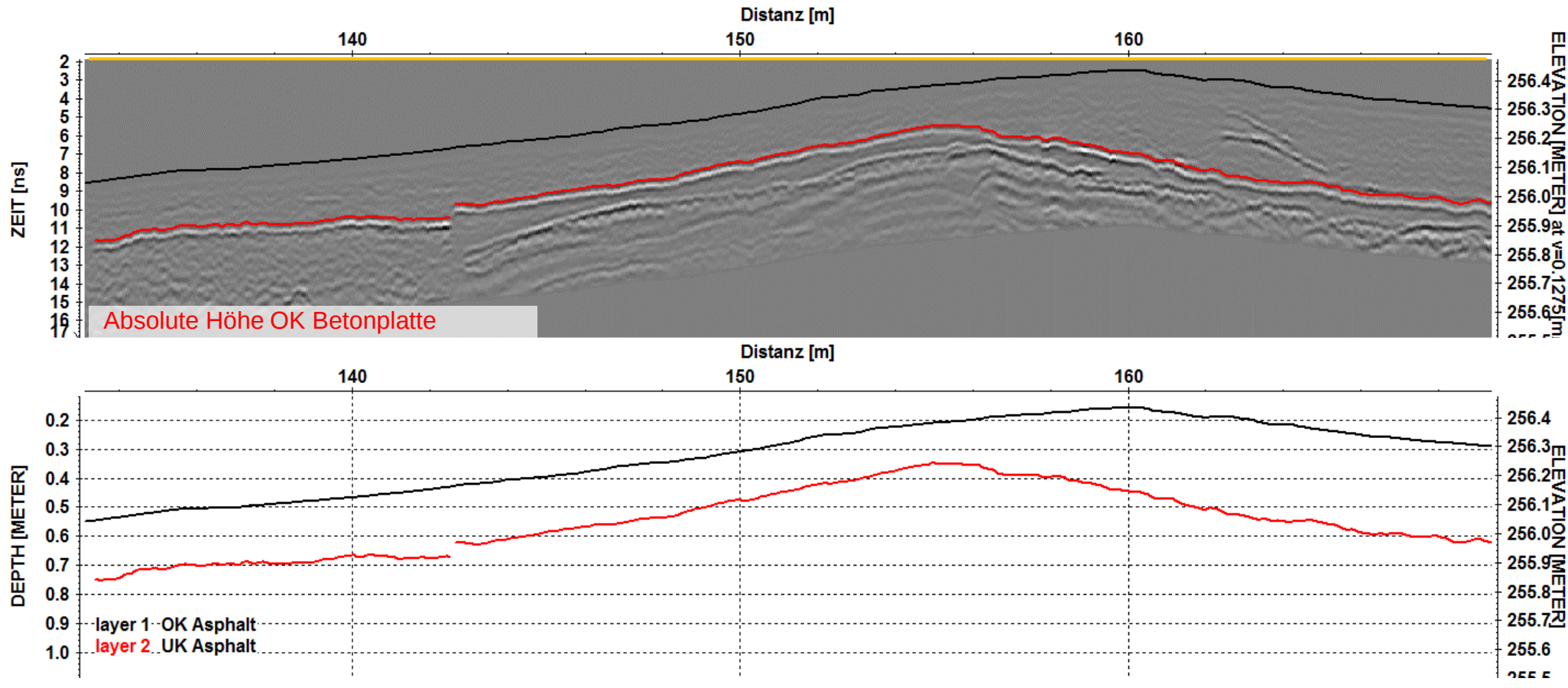


Beispiel 2: Tunneldeckel

Représentation du sous-sol



Bonus: Korrektur der Topographie ermöglicht Berechnung der Betonoberkante

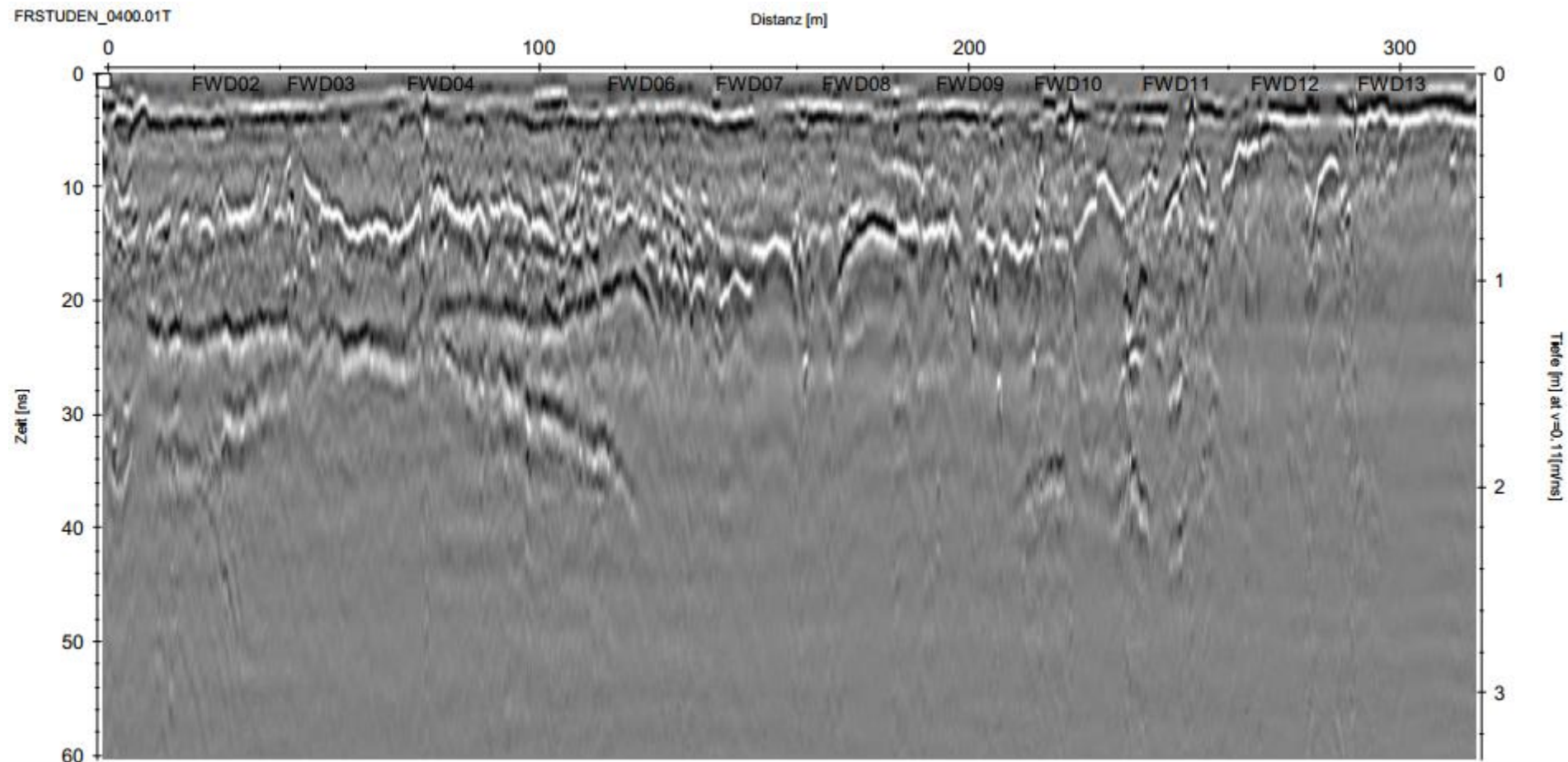


Beispiel 3: Aufbau einer Strasse

Exemple 2 : construction de routes

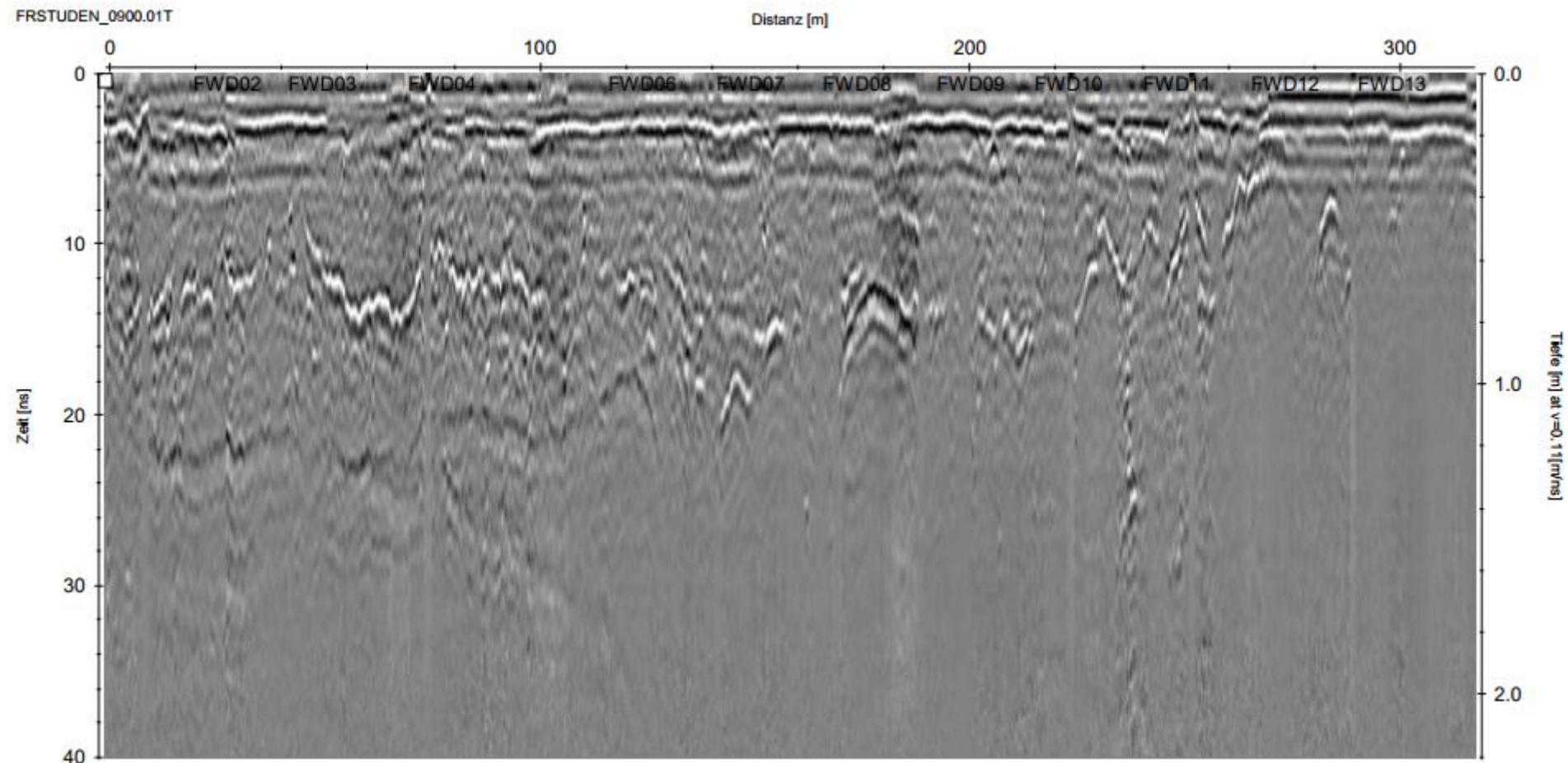
Beispiel 3: Aufbau einer Strasse – 400 MHz Antenne

Exemple 3: construction de routes



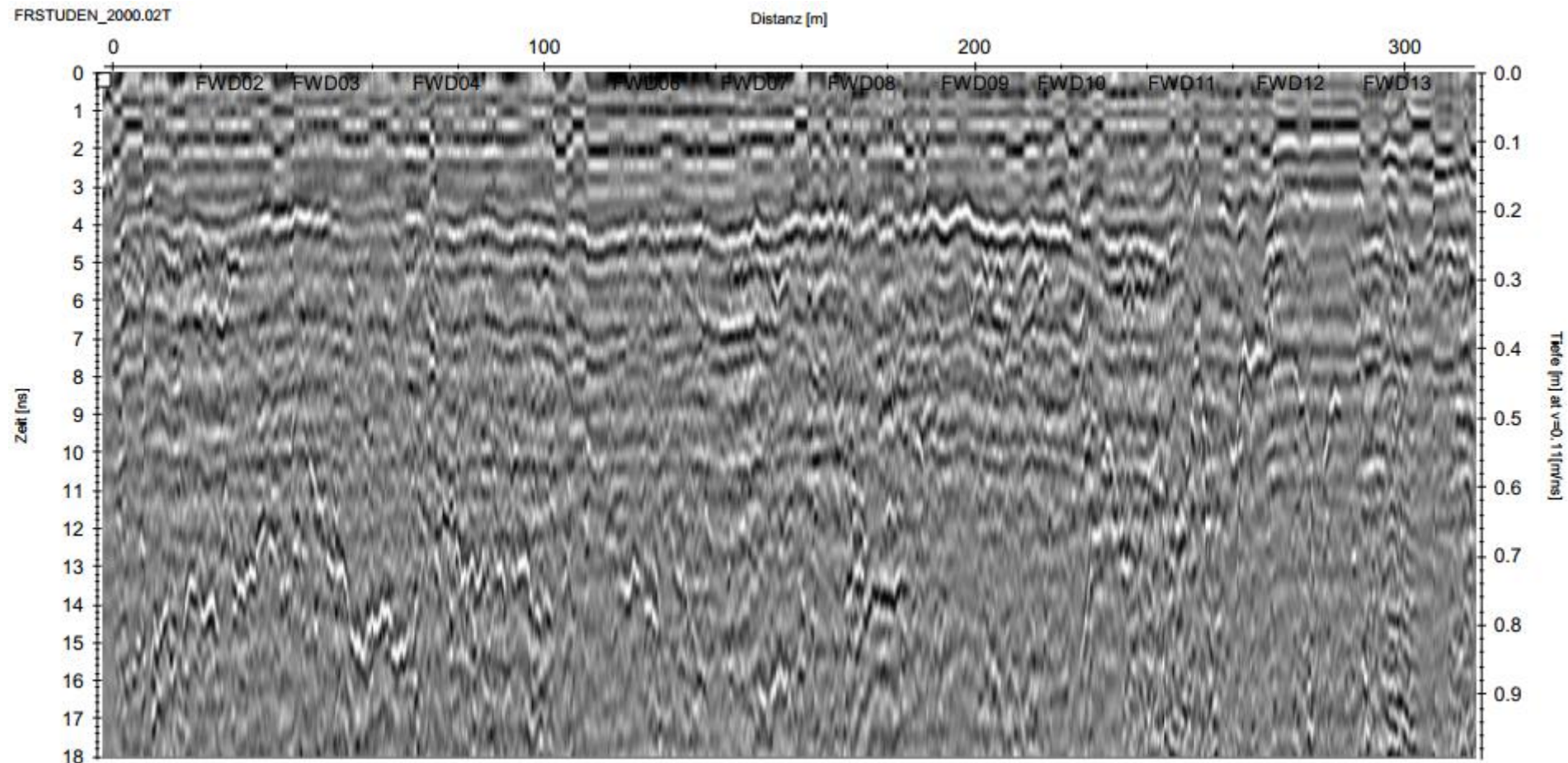
Beispiel: Aufbau einer Strasse – 900 MHz Antenne

Exemple : construction de routes

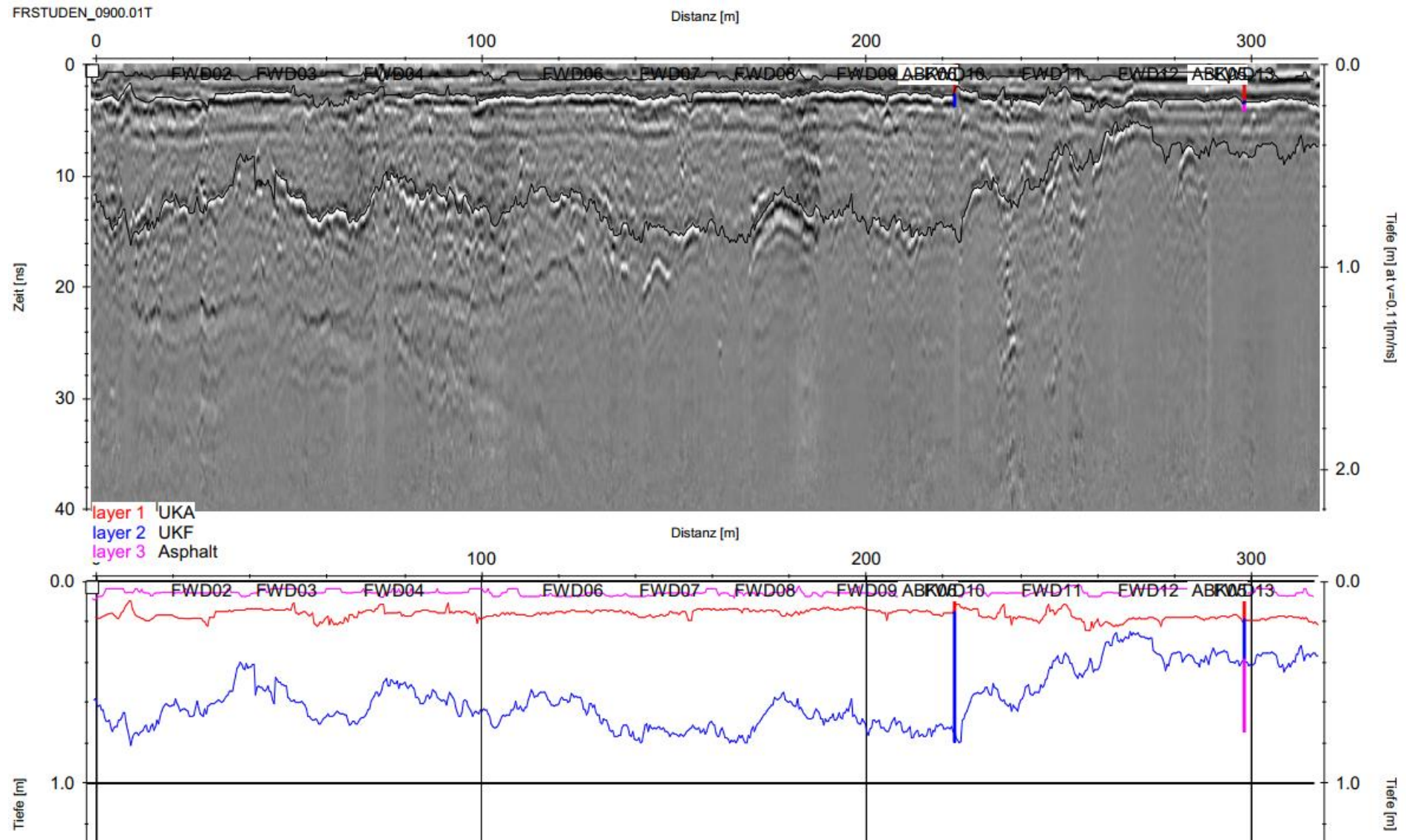


Beispiel: Aufbau einer Strasse – 2000 MHz Antenne

Exemple : construction de routes



Interpretation der Schichten: UK Deckschicht, UK Asphalt und UK Foundation mit Bohrkernen



Beispiel: Aufbau einer Strasse

Exemple : construction de routes

Wichtige Punkte bei der Interpretation

- Unterschiedliche Zeitskalen/Tiefenachse beachten
- Profile sind stark überhöht
- Eine Reflektion besteht aus mehreren „schwarz/weissen“ Signalen
- Schichten werden je nach Antennenfrequenz anders abgebildet
- Alle Daten brauchen eine eingehende Aufbereitung/Datenverarbeitung
- Die Geometrien sind verzerrt
- Es ist viel Erfahrung und Knowhow nötig

Herzlichen Dank.



IMP Bautech AG
impbautech.ch

Dr. Elmar Strobach / Dr. Jürg Leckebusch
18. März 2025