

Versalzung im Grundwasser – geophysikalisch beobachtet in Aufschlussbohrungen, Messstellen und Förderbrunnen

Dr.-Ing. Gunther Baumann
Geschäftsführer
Bohrlochmessung - Storkow GmbH
www.blm-storkow.de



Gliederung

Geophysikalische Bestimmung der Porenwassermineralisation

- Archie Gleichung und Porenwassermineralisation
- Bohrlochschaalenmodell - Einfluss der offenen Bohrung / des Bohrungsausbaus
- Methodik der Berechnung der Porenwassermineralisation

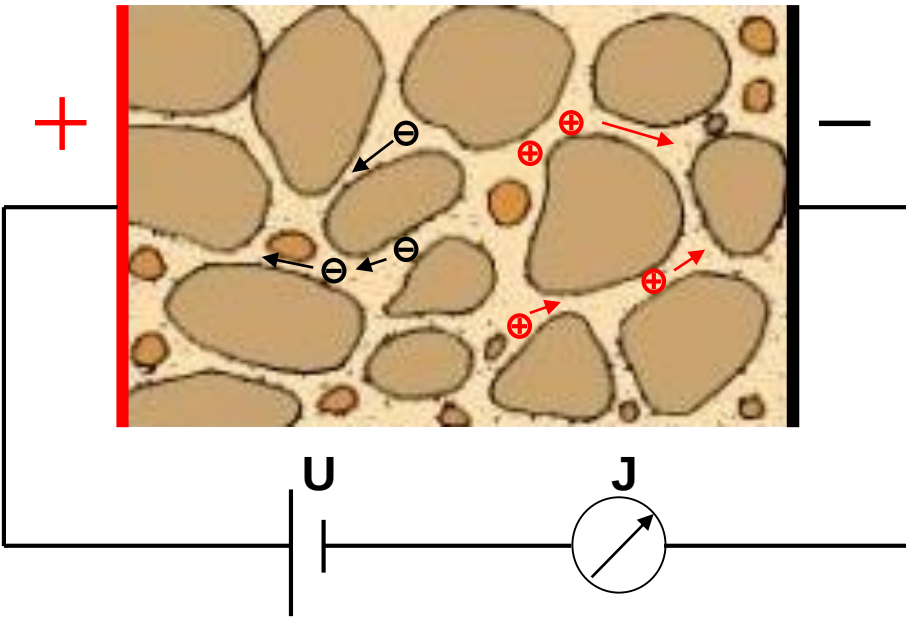
Aktuelle Praxisbeispiele

- Aufschlussbohrungen
- Grundwassermessstellen
- Förderbrunnen

Repräsentative Probenahme

- Anforderungen an eine Grundwassermessstelle
- Überarbeitung bestehender DVGW Regelwerke zu Grundwassermessstellen

Spezifischer elektrischer Widerstand von Gesteinen



1. Archie-Gleichung (G. E. Archie, 1942)

- wassergesättigte tonfreie Gesteine (z.B. Sandstein, Sand, Kies)

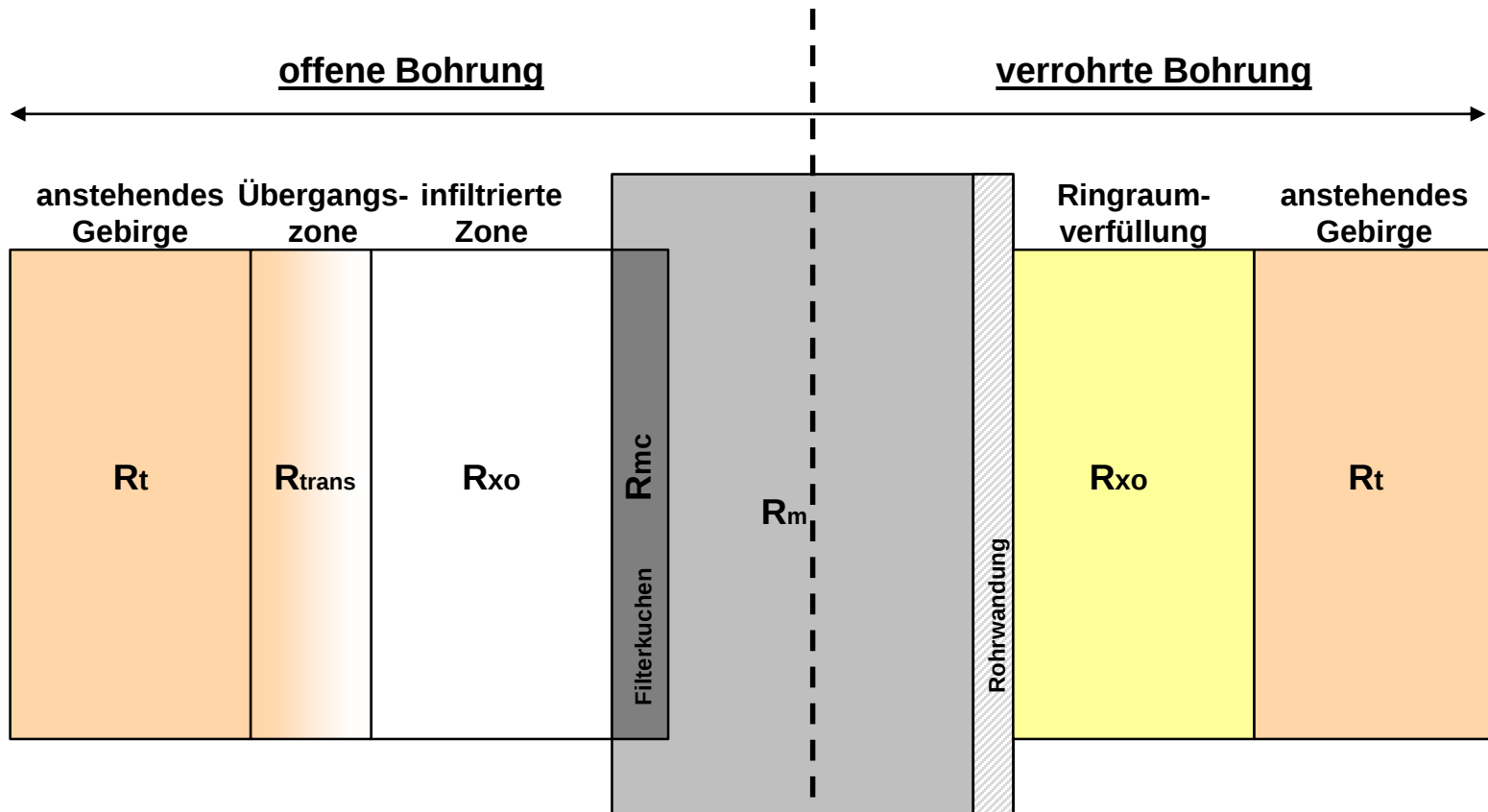
$$\frac{R_{\text{Gestein}}}{R_{\text{Wasser}}} = \frac{a}{\phi^m} = F$$

- Porosität (Φ)
- Formationsfaktor (F)
 - Tortuosität (a) [0,6...1,0]
 - Zementationsexponent (m) [1,0...1,3]
- spez. elektr. Widerstand des Porenwassers
 - Mineralisation

$$R_{\text{Gestein}} = \frac{U}{I} = F \cdot R_{\text{Wasser}}$$

$$R_{\text{Wasser}} = \frac{R_{\text{Gestein}}}{F}$$

Bohrlochschaalenmodell



Mischwiderstand R_a

- Bohrspülung R_m , Filterkuchen R_{mc} , infiltrierte Zone R_{xo} , Übergangsbereichs R_{trans} , Gesteinswiderstand R_t
- Ausdehnung der Schalen

$$R_a(R_m, R_{mc}, R_{xo}, R_{trans}, R_t, d_{m...t}) \rightarrow R_t$$

Methodik der Bestimmung der Porenwassermineralisation in NaCl-Äquivalentgehalten

$$R_a(R_m, R_{mc}, R_{xo}, R_{trans}, R_t, d_{m...t}) \rightarrow R_t$$

Messsysteme mit mehreren Eindringtiefen und
entsprechenden Korrekturalgorithmen

$$\phi = \frac{\rho_{matrix} - \rho_{Gestein}}{\rho_{matrix} - \rho_{Wasser}}$$

Porositätsbestimmung durch Dichtemittelgleichung

$$\rho_{matrix} = 2,65 \text{ g / cm}^3 \quad \rho_{wasser} = 1,00 \text{ g / cm}^3$$

$$F = \frac{a}{\phi^m}$$

Bestimmung des Formationsfaktors

$$m = 1,3(\text{Känozoikum}) = 1,2(\text{Mesozoikum}) \quad a = 1$$

$$R_{Wasser} = \frac{R_t}{F}$$

**Bestimmung des spezifischen elektrischen
Widerstandes des Porenwassers (Archie)**

$$R_t = R_{Gestein}$$

$$R_{Wasser}(T) \rightarrow NaCl \left[\frac{\text{g}}{\text{l}} \text{eq.} \right]$$

**Umrechnung in temperaturkorrigierte NaCl-
Äquivalentgehalte**

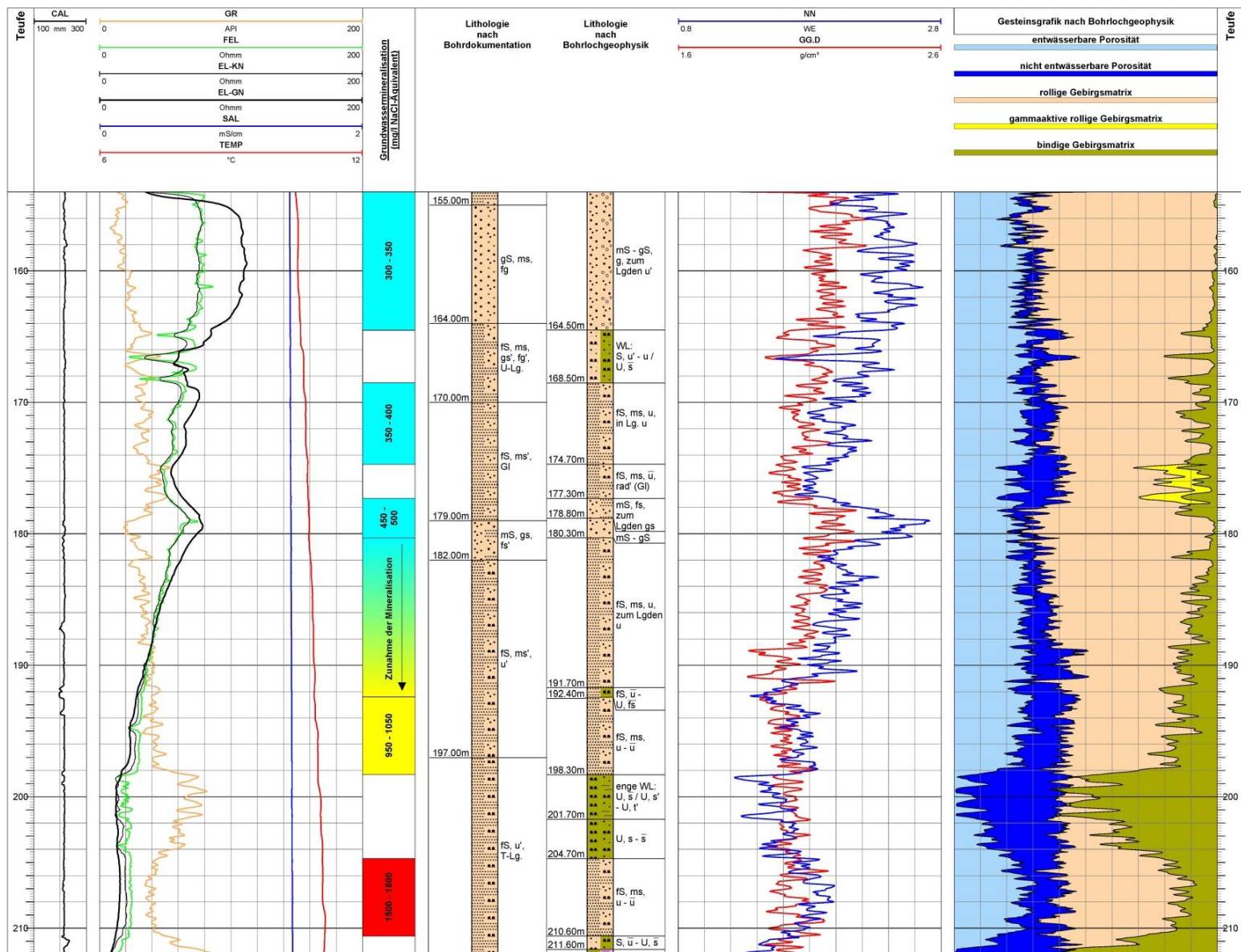
Offene Bohrung – Hydrostandard Messprogramm mit Composit-Plot

Aufgabenstellung

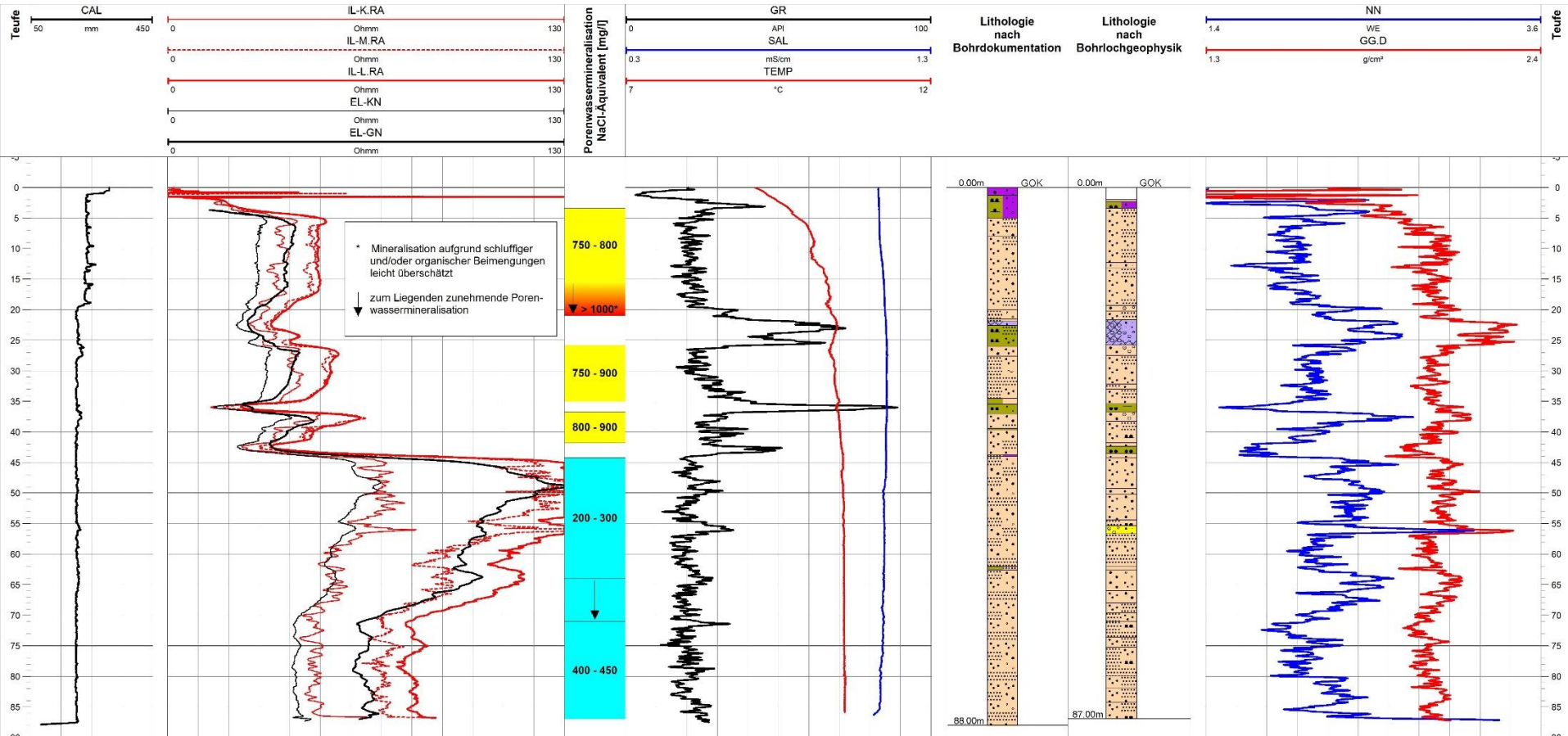
- Bestimmung der detaillierten lithologischen Schichtenfolge
- Bestimmung der rolligen/bindigen Matrixanteile, Porosität (entwässerbar, nicht entwässerbar) → Composit-Plot
- Bestimmung der Porenwassermineralisation

Messverfahren		Messgröße
CAL	Kaliber	Bohrungsdurchmesser
GR	Gamma-Ray-Log	Impulsrate der natürlichen γ -Strahlung
GG.D	Gamma-Gamma-Dichte-Log	Gesteinsdichte
NN	Neutron-Neutron-Log	Neutronenporosität (Wassereinheiten)
SAL/TEMP	Elektrisches Leitfähigkeits-Log / Temperatur-Log	Elektrisches Leitfähigkeit und Temperatur der Bohrspülung
FEL	Fokussiertes Elektro-Log	Spezifischer elektrischer Widerstand
EL	Elektro-Log	Spezifischer elektrischer Widerstand
IL	Induktions-Log	Spezifischer elektrischer Widerstand

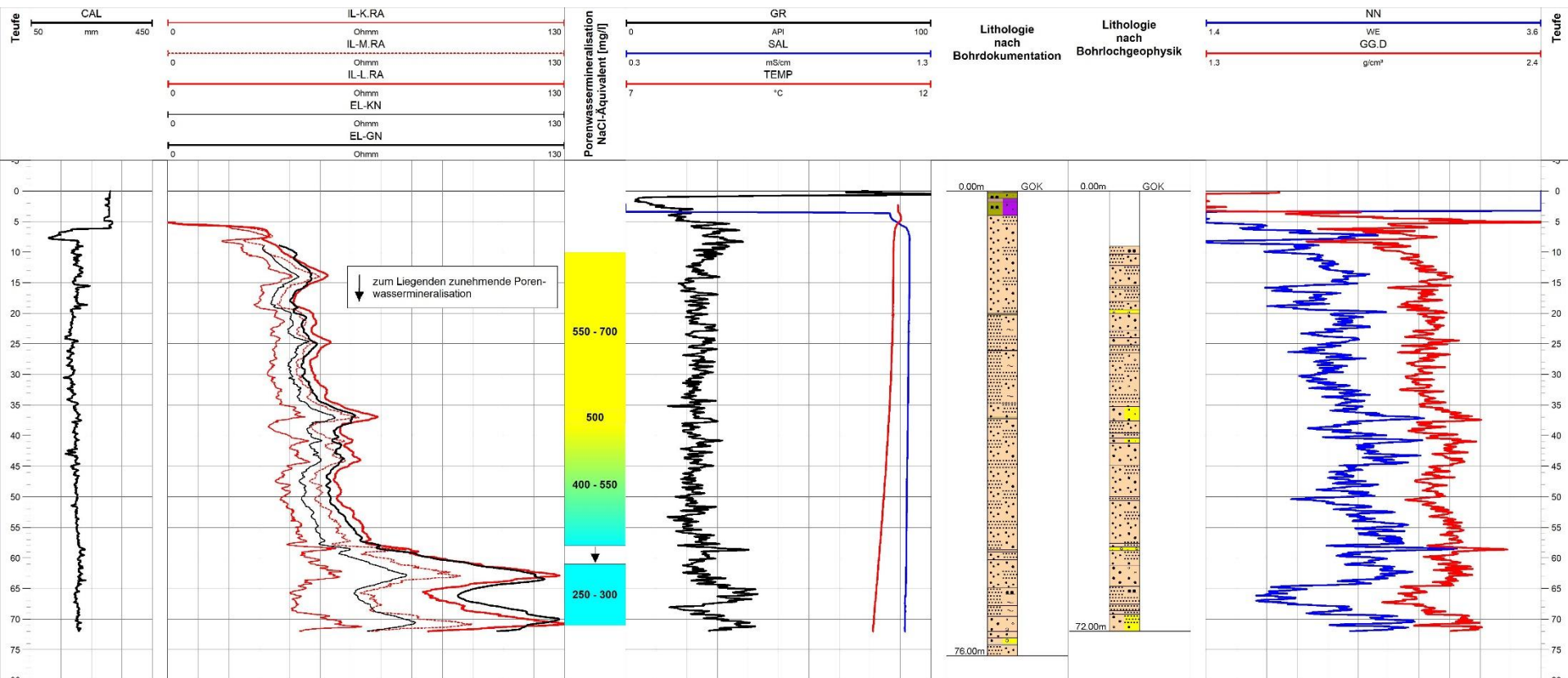
Offene Bohrung – Hydrostandard Messprogramm mit Composit-Plot



Offene Bohrung – Hydrostandard Messprogramm mit Composit-Plot



Offene Bohrung – Hydrostandard Messprogramm mit Composit-Plot



Anforderungen an eine Grundwassermessstelle für das Salzwassermonitoring nach DVGW W 121

- Bohrung möglichst bis in den Salzwasserhorizont abteufen, jedoch deutlich tiefer (20 m) als zu schützende Brunnen
- Bohrdurchmesser je nach Bohrverfahren abgestimmt auf Ausbaudurchmesser
- Ausbaudurchmesser minimal DN 80 besser DN 100
- PVC-Verrohrung mit druckdichten Rohrverbindungen
- Entsprechend der Lithologie homogen abgedichteter Ringraum
- Keine metallischen Teile (Schrauben für Zentralisatoren, abgerissene Tiefenlote)
- Keine magnetisch dotierten Verfüllmaterialien



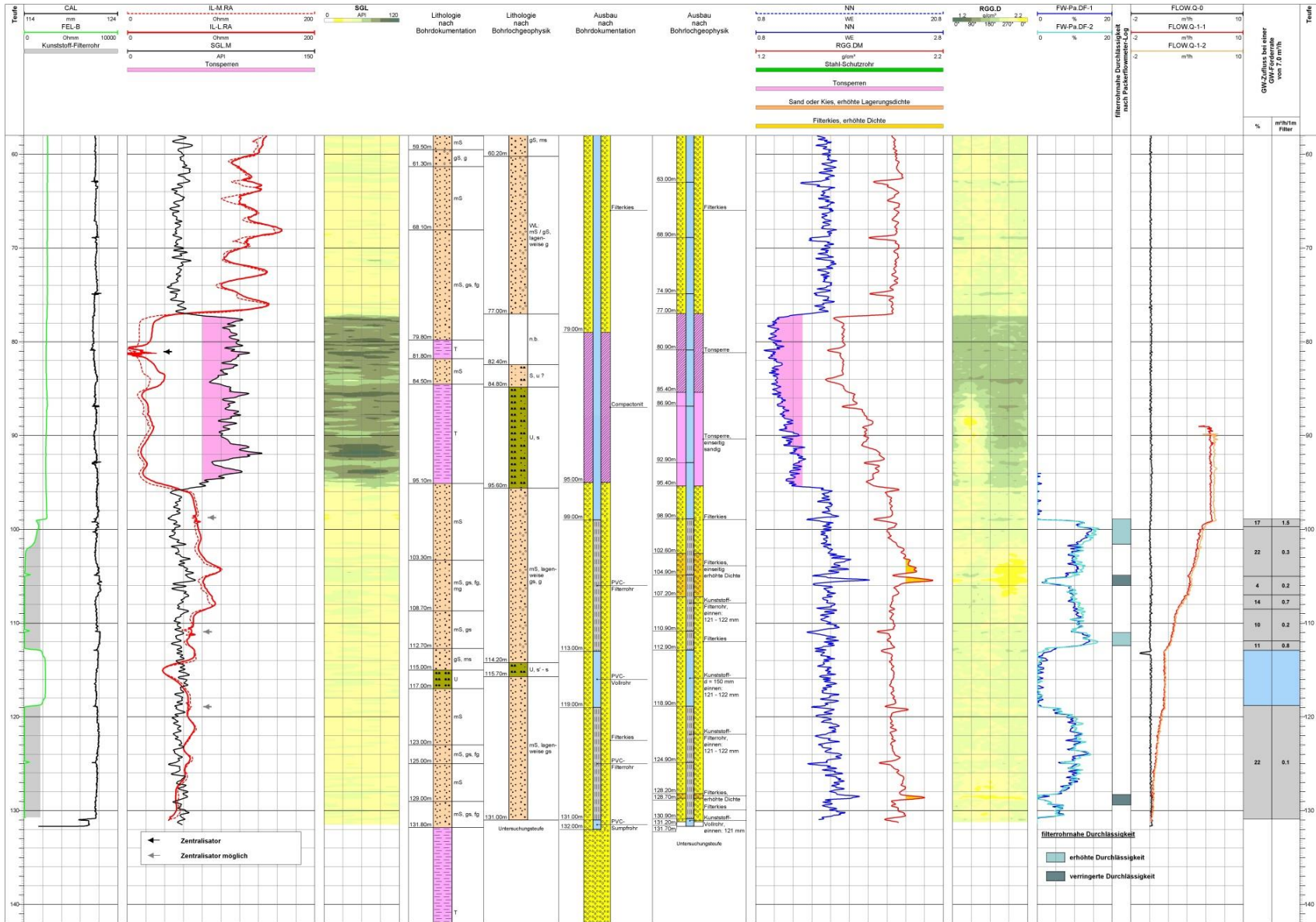
Verrohrte Bohrung – Ausbaukontrolle von Grundwassermessstellen

Aufgabenstellung

- Befahrbarkeit, Innendurchmesser der Verrohrung (CAL)
- Ringraumverfüllung (SGL, RGG.D, NN)
- Dichtheit der Aufsatzrohre (FEL, bei Auffälligkeiten anschließend Packertest)
- Porenwassermineralisation (IL, SAL/TEMP)

Messverfahren		Messgröße
CAL	Kaliber	Durchmesser
SGL	Segmentiertes Gamma-Ray-Log	Impulsrate der natürlichen γ -Strahlung aus 3 Segmenten
RGG.D	Dichte-Ringraumscanner-Log	Dreidimensionale Verteilung der Dichte
NN	Neutron-Neutron-Log	Neutronenporosität (Wassereinheiten)
FEL	Fokussiertes Elektro-Log	Spezifischer elektrischer Widerstand, Überprüfung der Dichtheit der Rohrverbindungen
SAL/TEMP	Elektrisches Leitfähigkeits-Log / Temperatur-Log	Elektrisches Leitfähigkeit und Temperatur des Wasser in der Grundwassermessstelle
IL	Induktions-Log	Spezifischer elektrischer Widerstand des Gebirges

Verrohrte Bohrung - Ausbaukontrolle



Monitoring der Porenwassermineralisation

Voraussetzungen

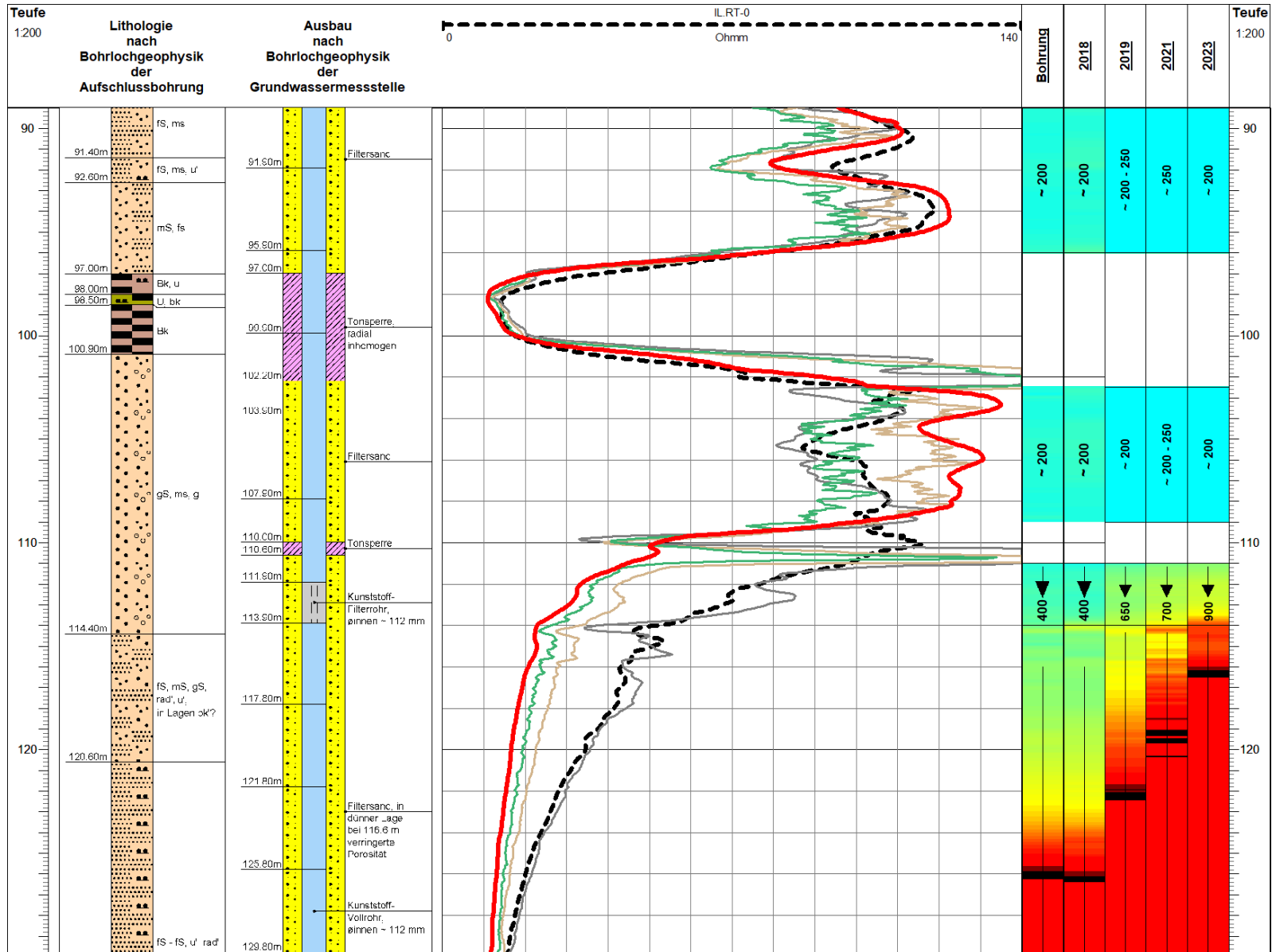
- Genaue Kenntnis der lithologischen Schichtenfolge und Porosität, alternativ müssen Porosität und entsprechend Formationsfaktor empirisch abgeschätzt werden
- Genaue Kenntnis der Ringraumverfüllung und Dichtheit der Aufsatzrohre

Aufgabenstellung

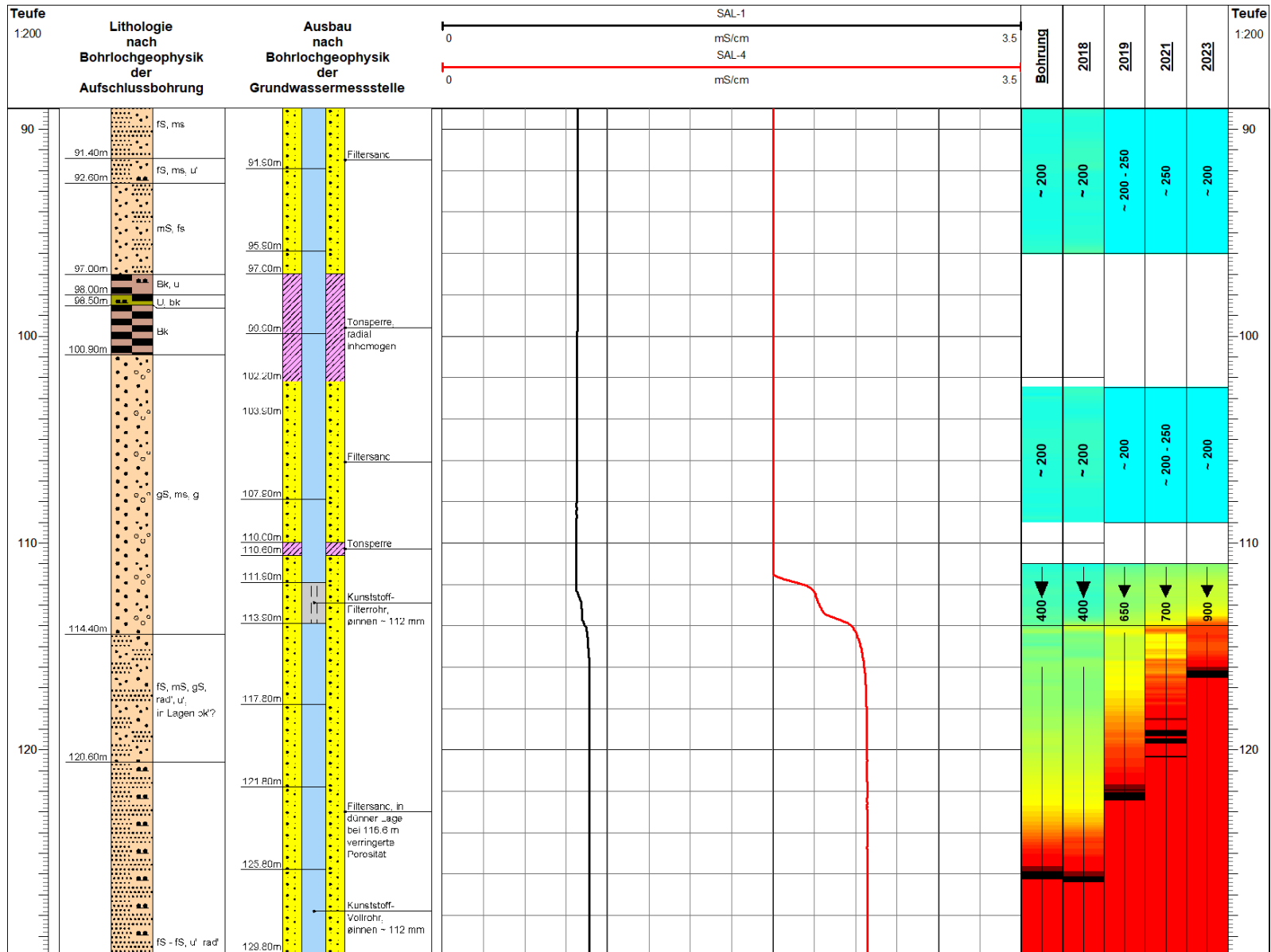
- Bestimmung der Porenwassermineralisation (IL, SAL/TEMP)

Messverfahren		Messgröße
SAL/TEMP	Elektrisches Leitfähigkeits-Log / Temperatur-Log	Elektrisches Leitfähigkeit und Temperatur des Wasser in der Grundwassermessstelle
IL	Induktions-Log	Spezifischer elektrischer Widerstand des Gebirges

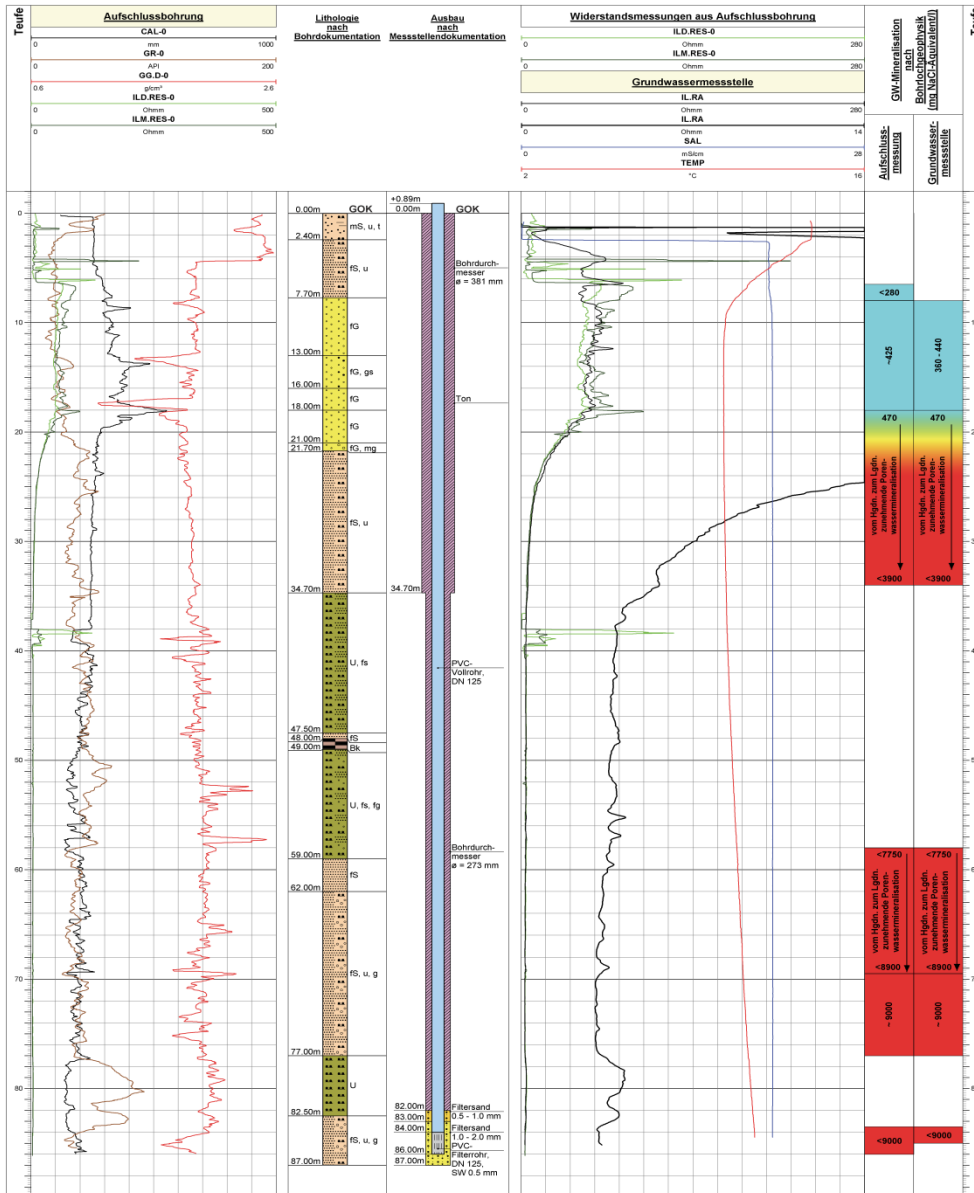
Salzwassermonitoring in Grundwassermessstelle



Salzwassermonitoring in Grundwassermessstelle

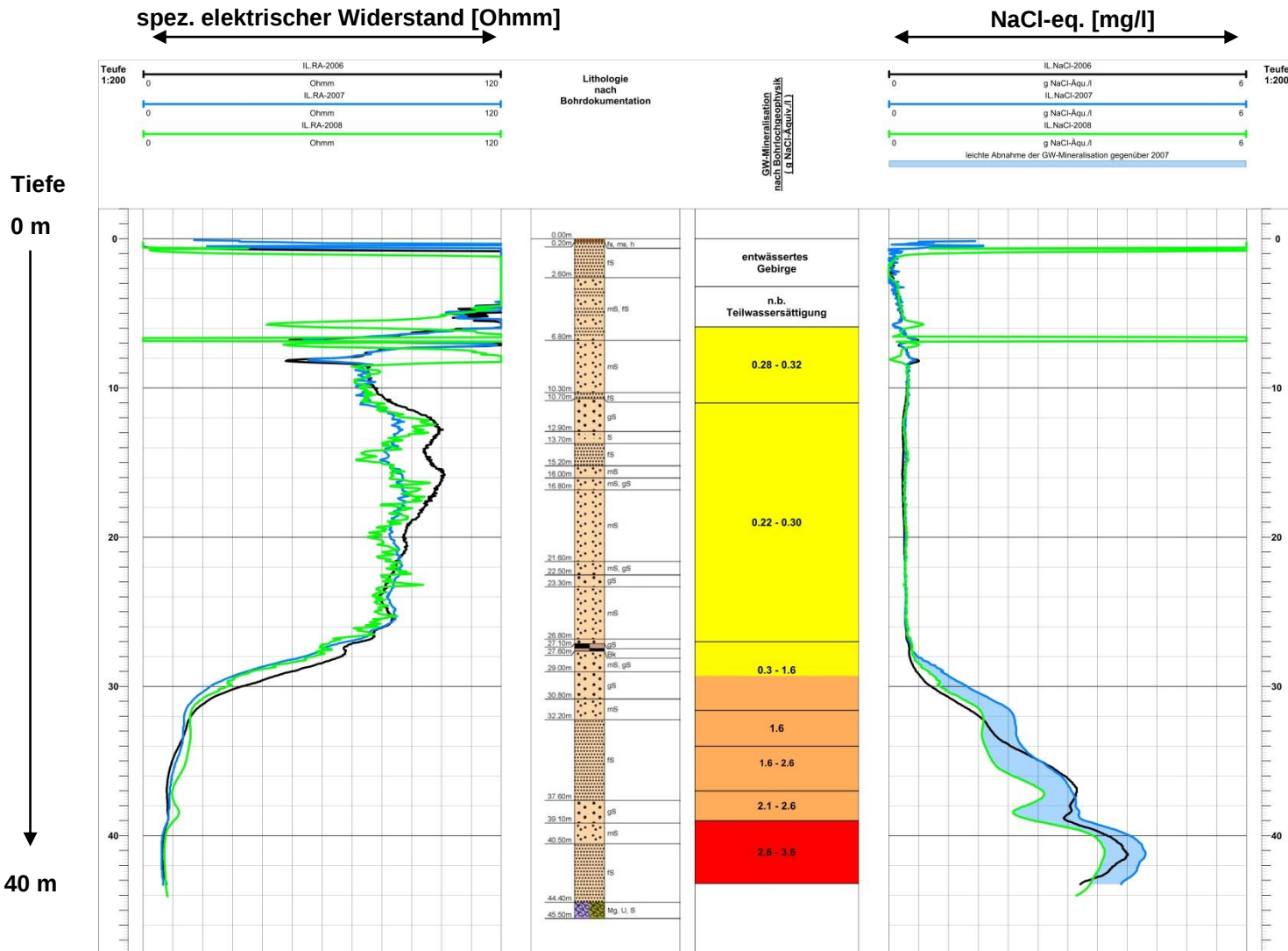


Vergleich SAL/TEMP-Log und Induktions-Log



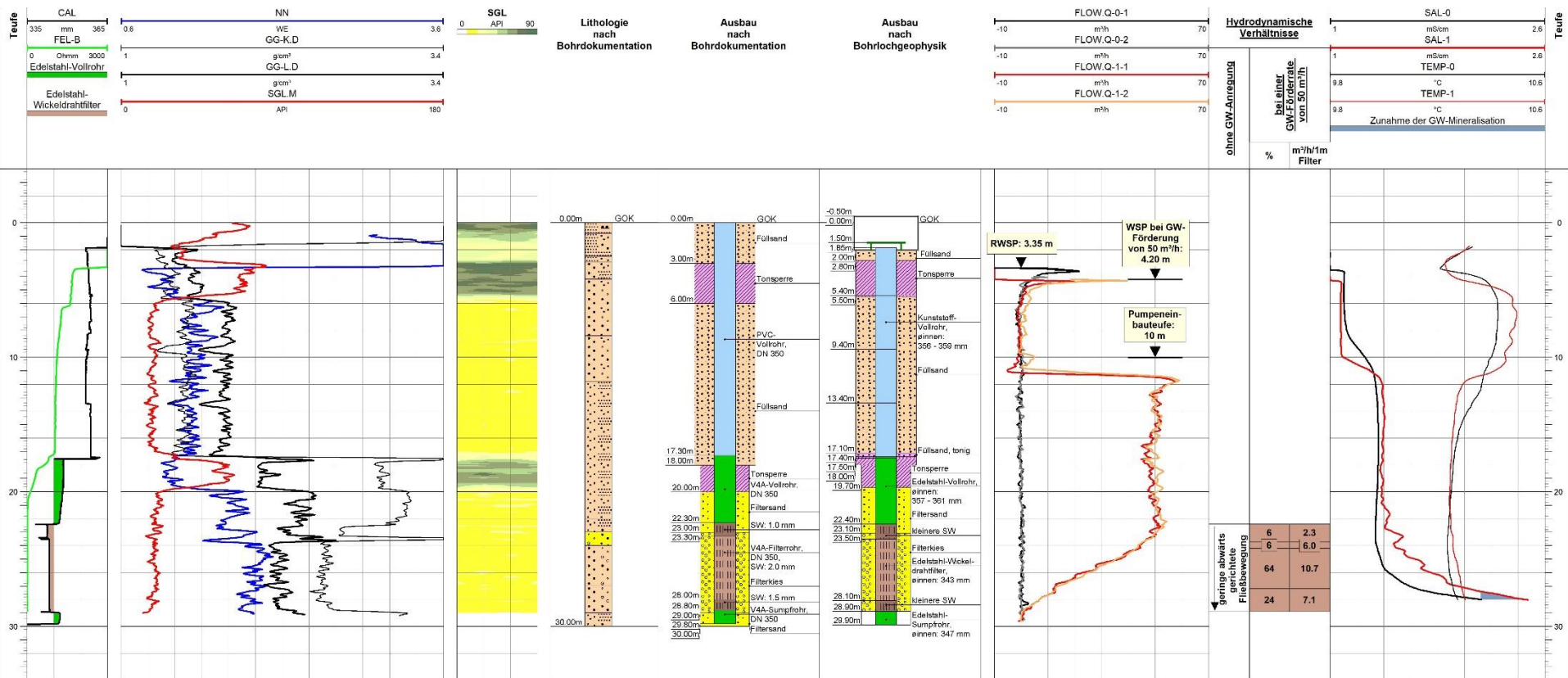
- SAL/TEMP Messung zeigt nur sehr geringe Veränderung über die Teufe
- Induktionslog Messung zeigt deutliche Zunahme der Mineralisation über die Teufe
- SAL/TEMP zur Bestimmung der Porenwassermineralisation im anstehenden Gebirge ungeeignet

Abnahme der Porenwassermineralisation über die Zeit

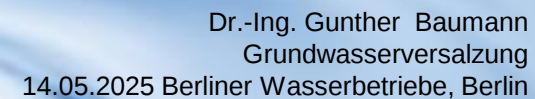


- Wiederholungsmessungen (2006, 2007, 2008) zeigen geringe Reduzierung der Mineralisation
- Ursache: seitliches Einströmen von süßerem Wasser

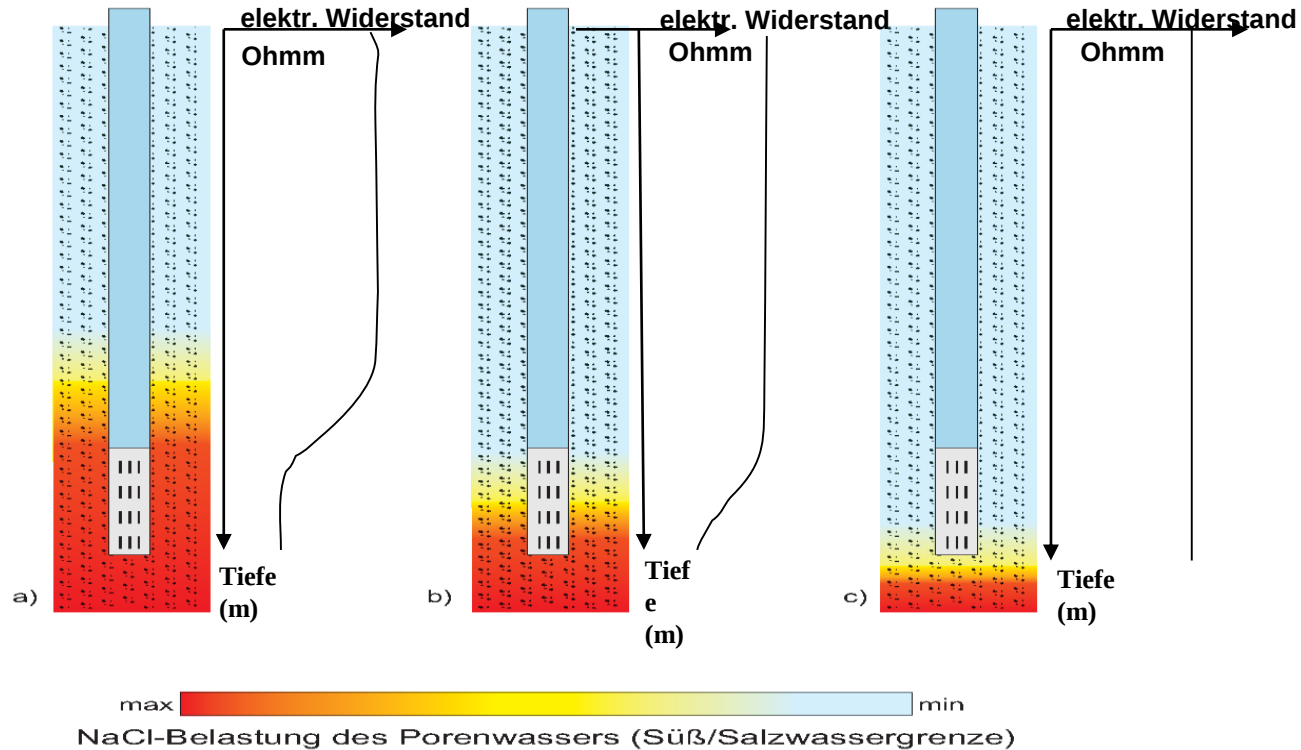
Brunnen mit Förderung unterschiedlich mineralisierter Wässer



Blm Bohrlochmessung – Storkow GmbH



Grundwassermessstelle - repräsentative Probenahme



Anforderungen an eine Grundwassermessstelle zur Probenahme/Salzwassermonitoring

- Dichtheit der Aufsatzrohre (Rohrverbindungen)
- Funktionsfähige, an die geologische Schichtenfolge angepasste Ringraumabdichtung
- Kurze Filterstrecke
- Sumpfrohr, was bis in den Salzwasserhorizont verteuft ist

Grundwassermessstellen im Spannungsfeld zwischen Wasserversorgern / Umweltbehörden und Landnutzern

- zahlreiche Rechtsstreitigkeiten anhängig
- bestehendes technisches Regelwerk des DVGW zu GWM an vielen Stellen zu unverbindlich

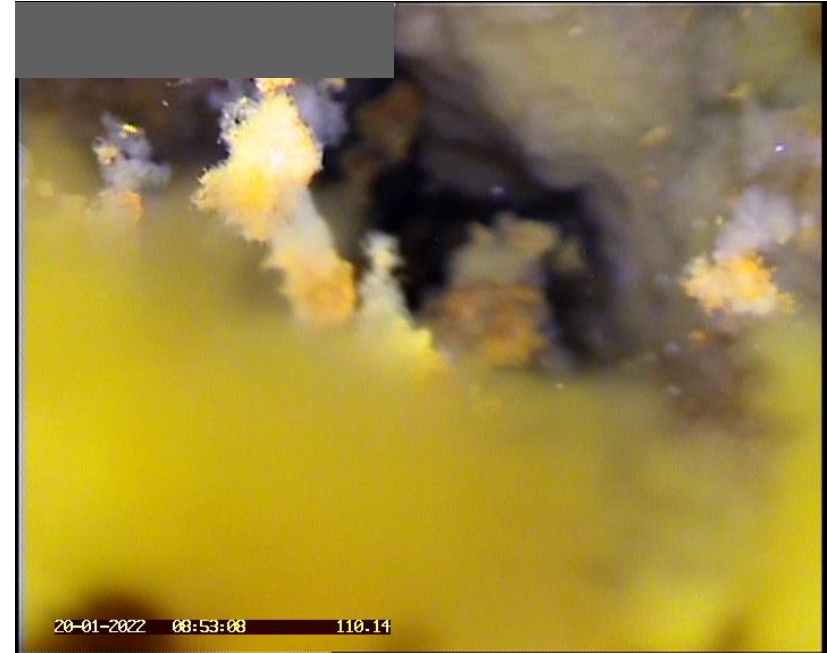
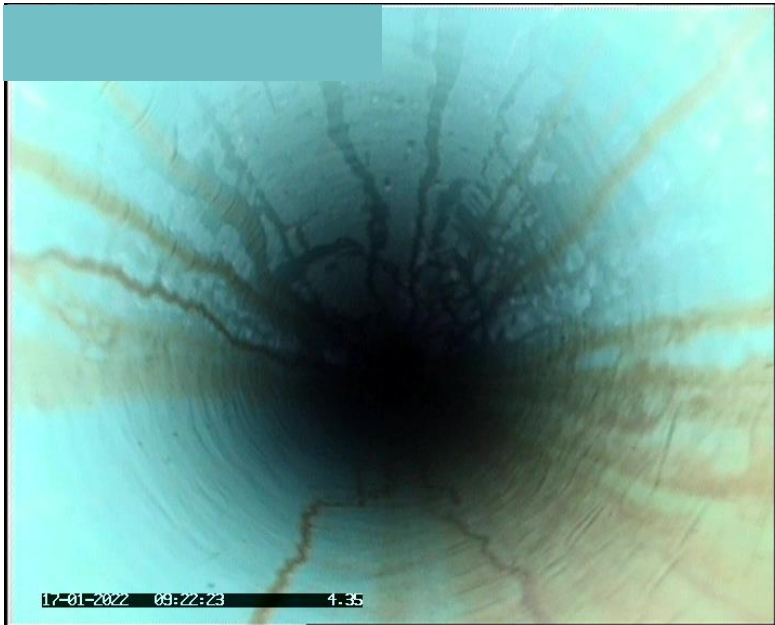
Neufassung insbesondere Präzisierung der bestehenden Regelwerke

- Info W 111 (Juni 2022): „Hinweise für die Funktions- Eignungsprüfung von Grundwassermessstellen“
- Arbeitsblatt W 121: „Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen“ → Gelbdruck 03/2025
- Arbeitsblatt W 129: „Eignungsprüfung von Grundwassermessstellen“ → Gebdruck voraussichtlich Ende 2025

Überarbeitung von DVGW Arbeitsblättern zu Grundwassermessstellen - alles anders?

Nicht alles anders, aber:

- konkreter
- verbindlicher
- fachlich fundierter
- anwenderfreundlicher





Zugänglichkeit eingeschränkt, Probenahme repräsentativ?



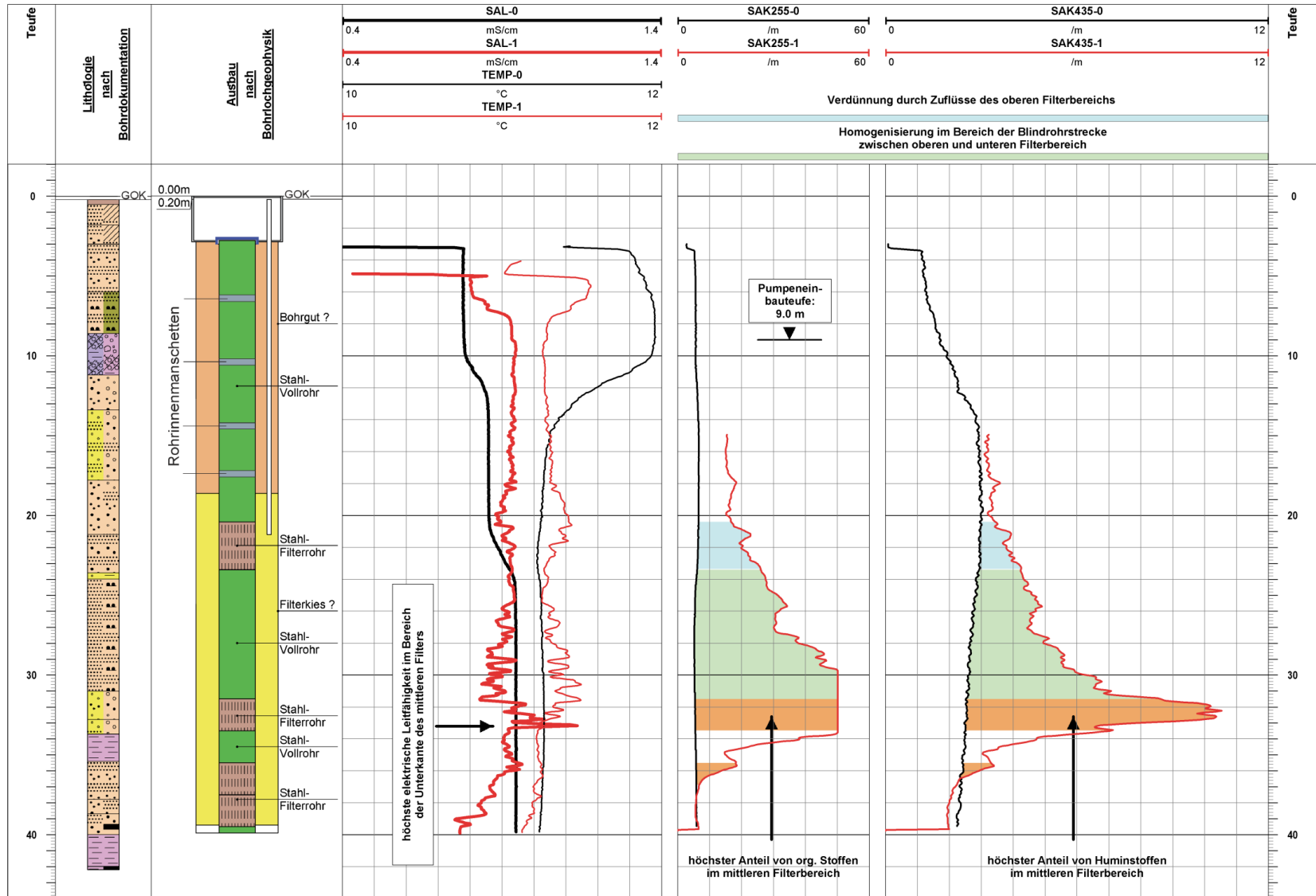
**Unterflurmessstelle in
Schlammpfütze**

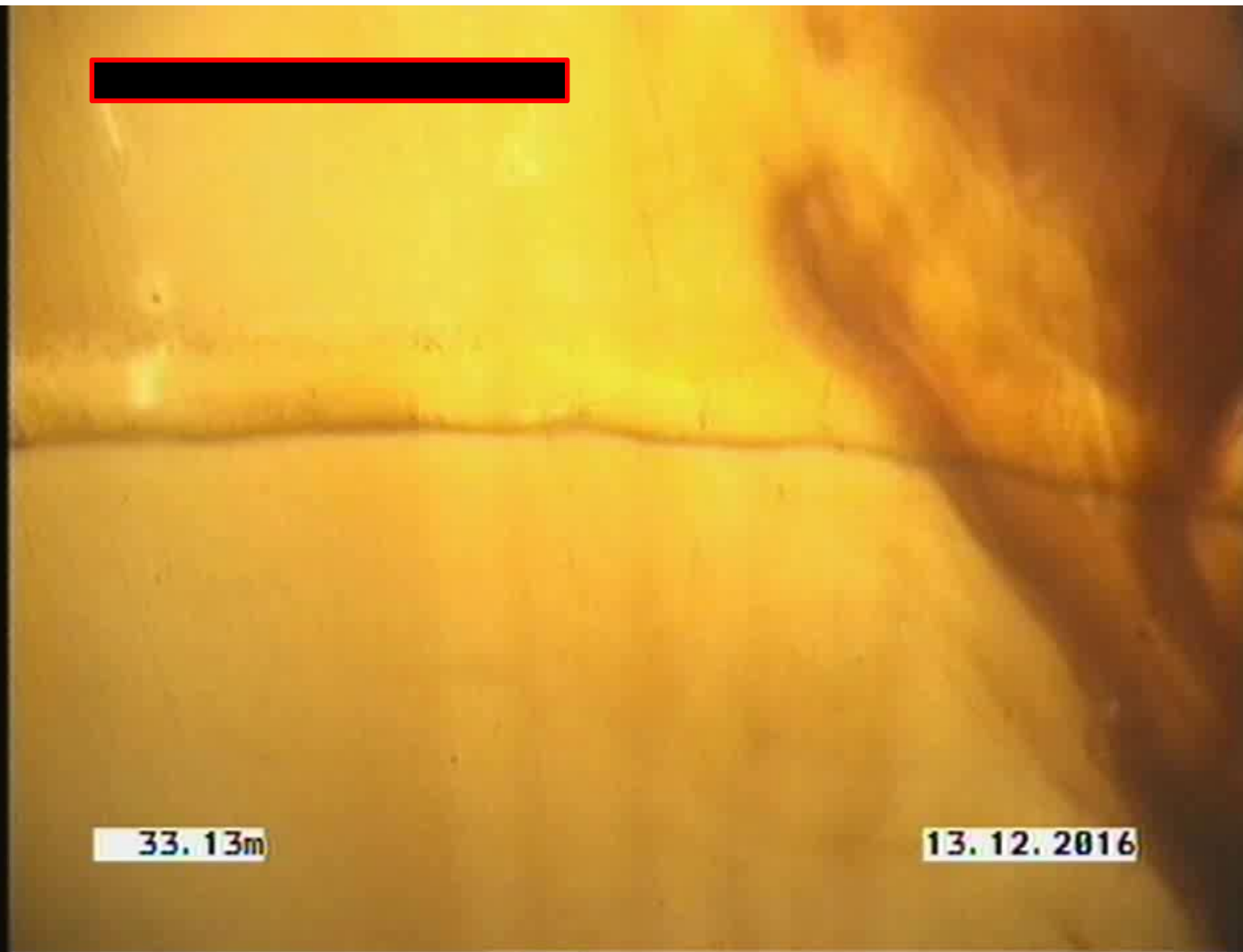


Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



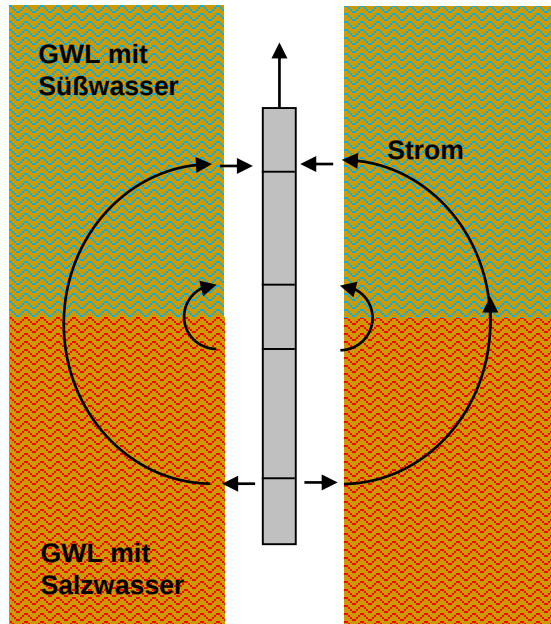
Trübungseintrag und erhöhte elektr. Leitfähigkeit im Förderstrom – Huminstoffeinträge als Vorbote für erhöhte Mineralisationen?



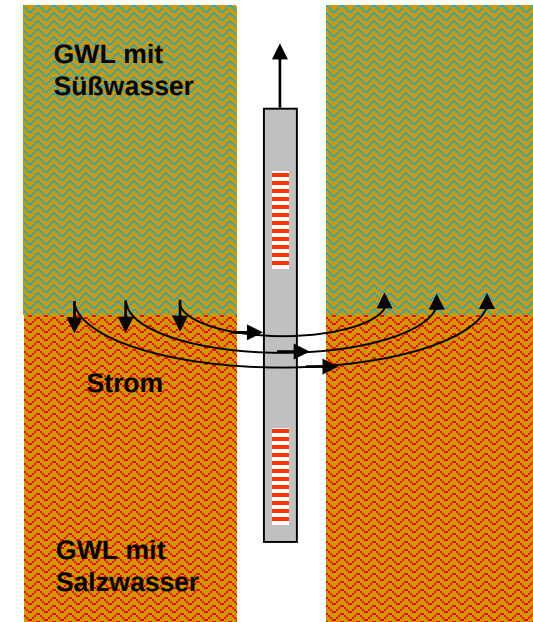


Bestimmung des „wahren“ spezifischen elektrischen Gesteinswiderstandes - Elektro-Log (EL) und Induktions-Log (IL)

„Elektro-Log“



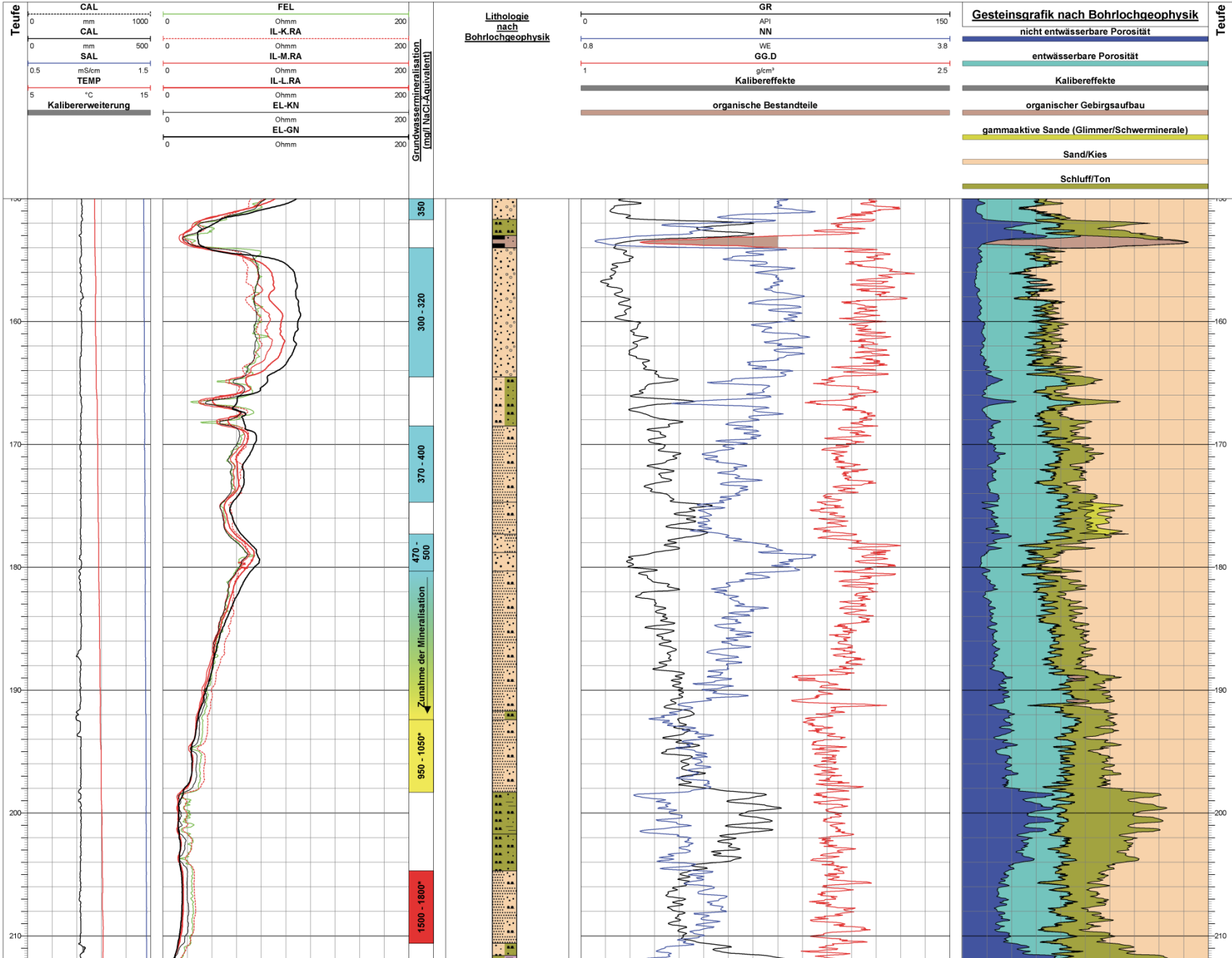
„Induktions-Log“



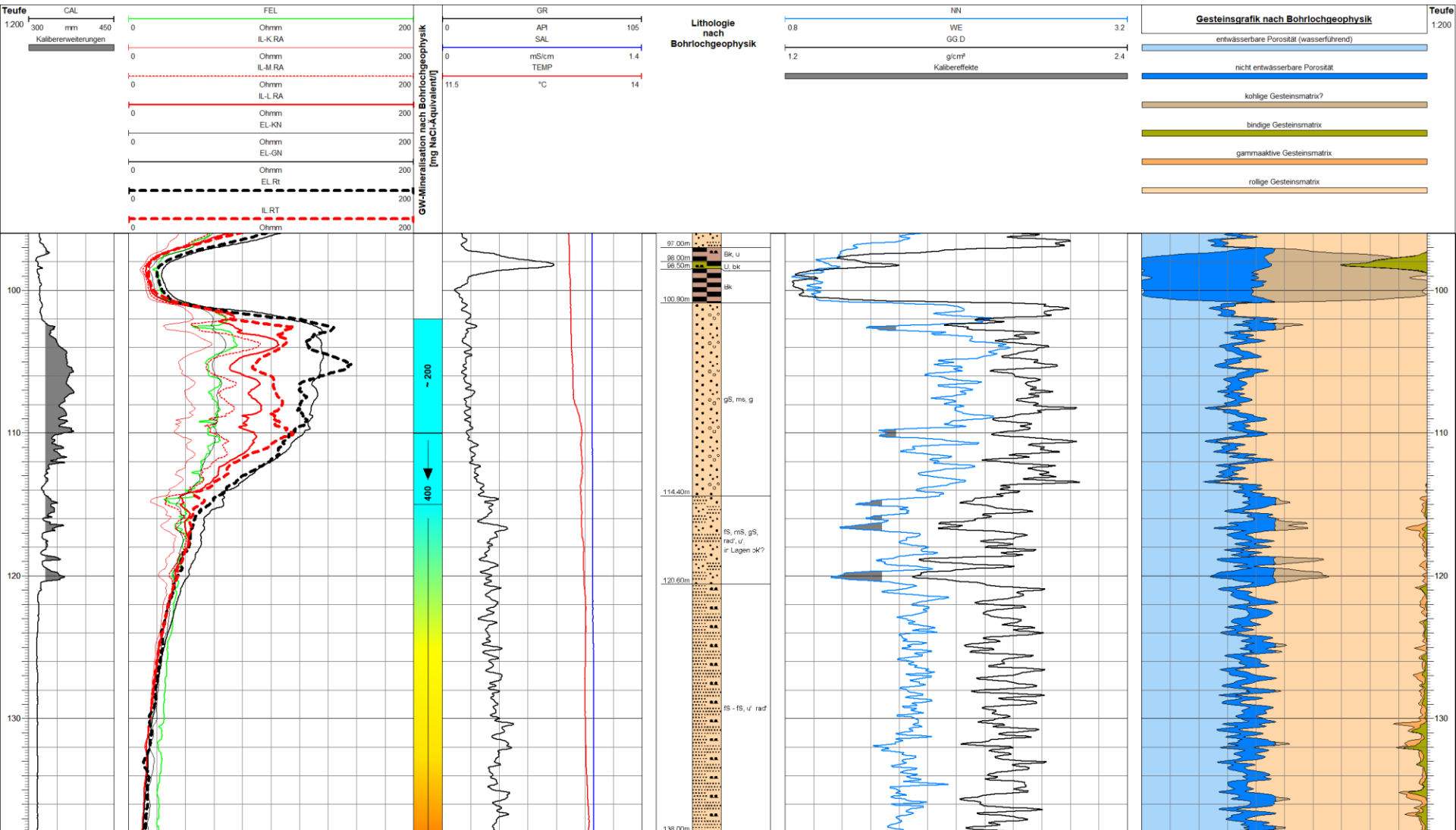
- galvanische Kopplung zwischen Elektroden und Gestein
- nur in Spülungsgefüllten offenen Bohrlöchern
- mehrere Messreichweiten oder fokussierende Elektrodenanordnungen um Einfluss des Bohrlochs und der nahen infiltrierten Zone zu korrigieren

- induktive Kopplung zwischen Spulen und Gestein
- in offenen und Kunststoff-verrohrten Bohrlöchern mit oder ohne Spülung
- fokussierte Spulenordnung oder mehrere Messreichweiten um Nahbereich zu kompensieren

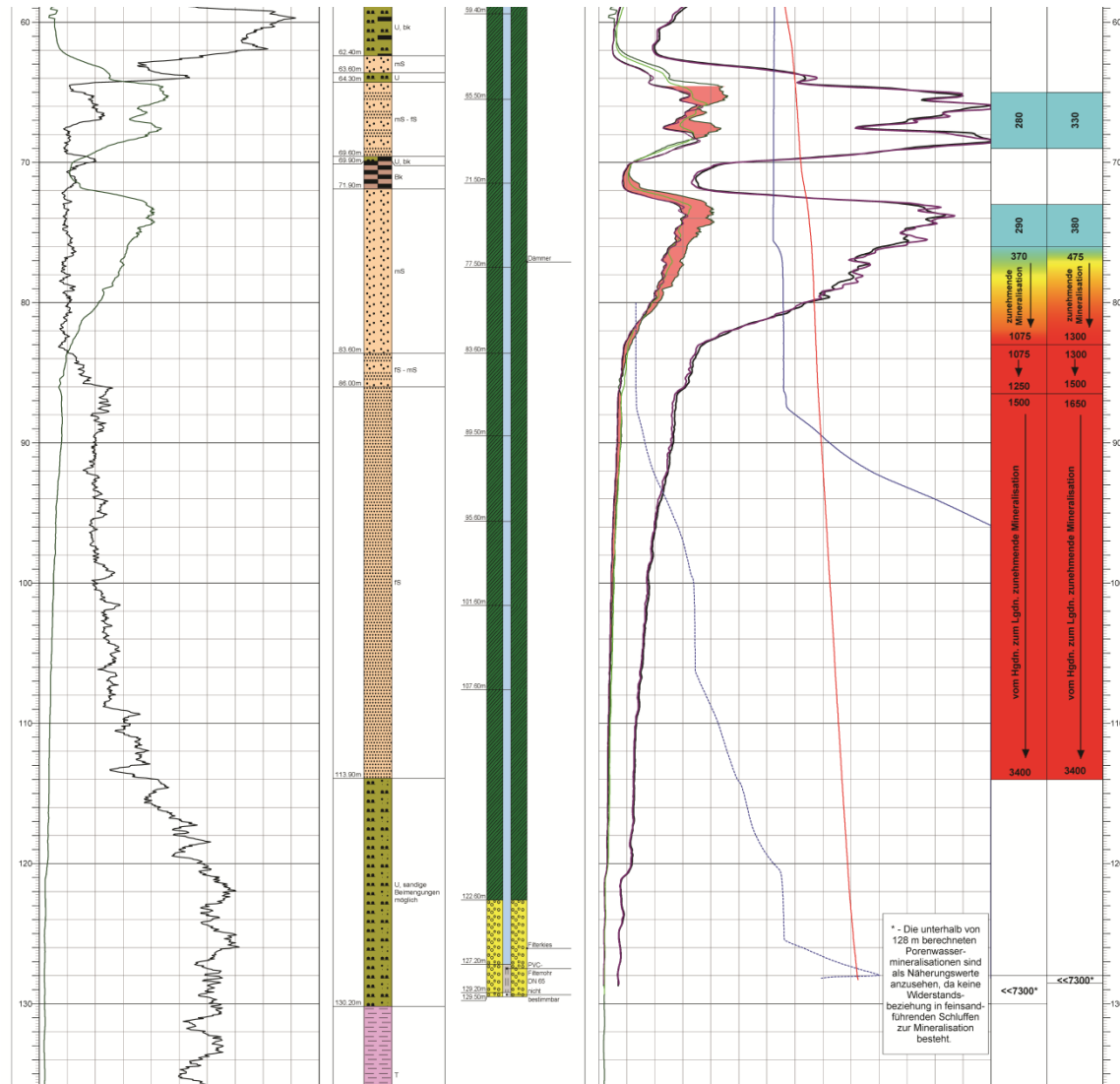
Offene Bohrung – Hydrostandard Messprogramm mit Composit-Plot



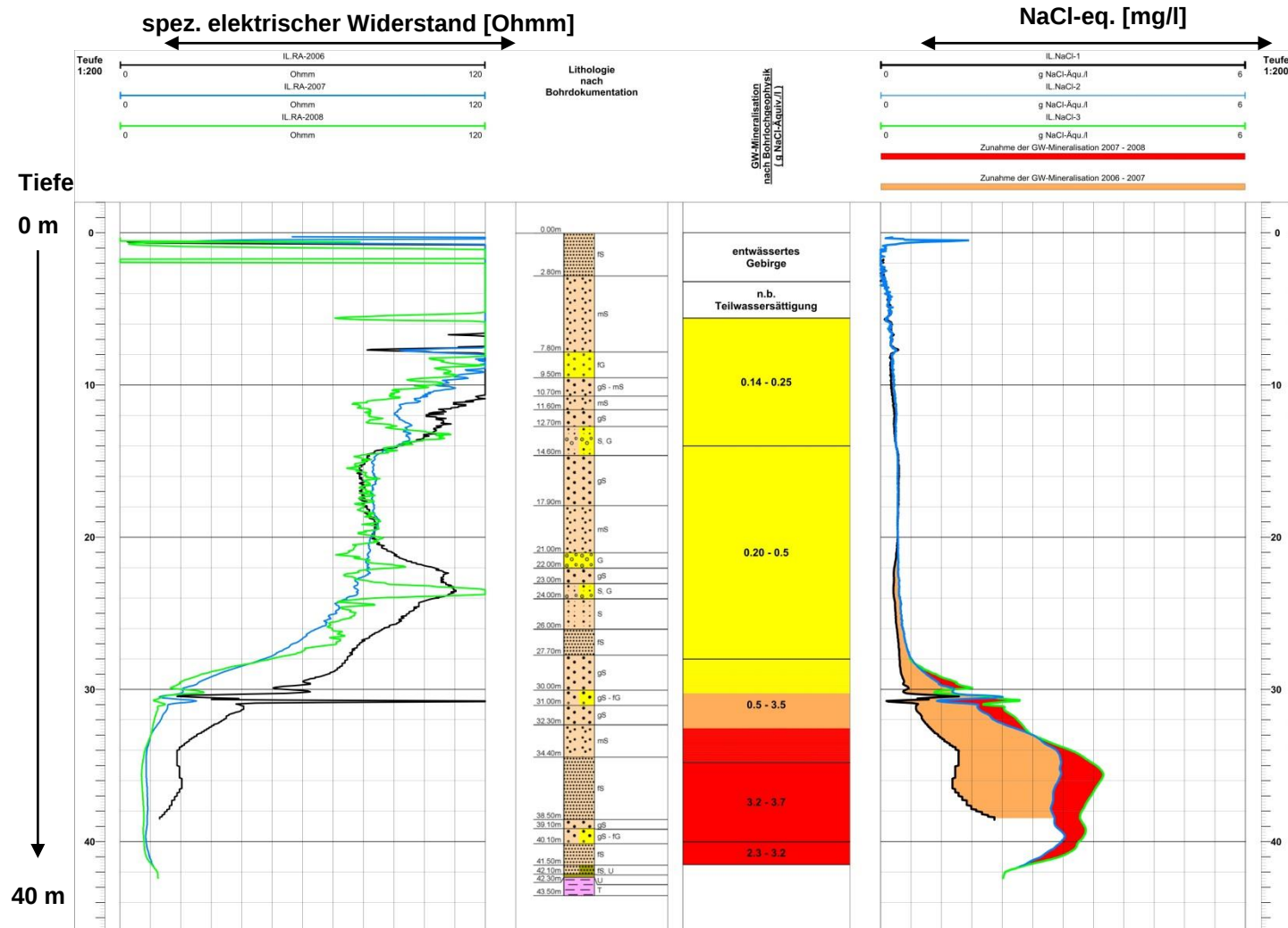
Messstellenbohrung für Salzwassermonitoring



Zunahme der Porenwassermineralisation über die Teufe



Zunahme der Porenwassermineralisation über die Zeit



- Wiederholungsmessungen (2006, 2007, 2008) zeigen Zunahme der Mineralisation

Verrohrte Bohrung – Ausbaukontrolle, eindeutiger Nachweis von Tonsperren

