

Geotechnisches, geophysikalisches Monitoringprogramm und Salzlösungsmonitoring

Gebirgsbeobachtungsgespräch 2020

Remlingen, den 01. Juli 2021



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

Gliederung der Vorträge

- Teil I Berichte zu den Ergebnissen des Geomonitorings Asse
- Teil II IfG: Bewertung des Tragsystems
- Teil III Salzlösungsmonitoring
- Teil IV Zusammenfassung und Fazit

Teil I

Berichte zu den Ergebnissen des Geomonitorings Asse

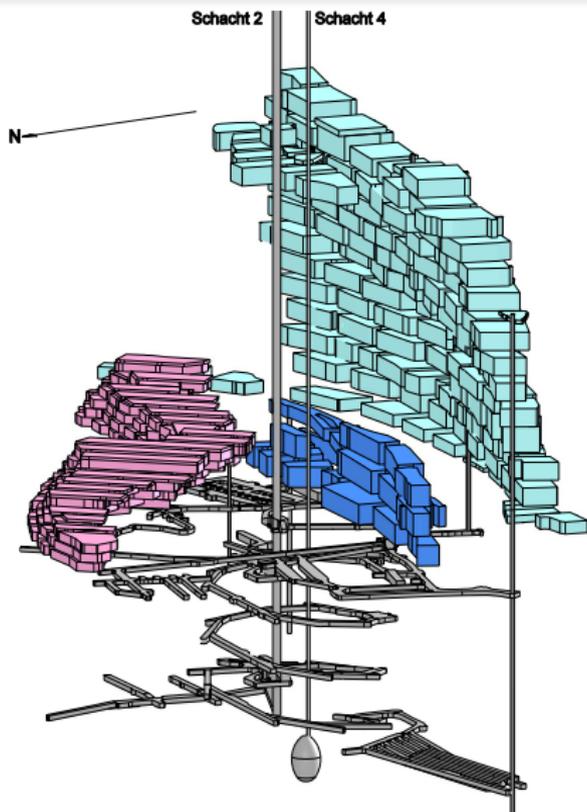
Übersicht Teil I

- 1 Einleitung
- 2 Beanspruchung des Tragsystems
- 3 Lage- und Höhenmessungen
- 4 Verformungsmessungen im Tragsystem
- 5 Ableitung des Verschiebungsvektors
- 6 Mikroseismische Überwachung
- 7 Lokale Monitoringprogramme

Übersicht Teil I

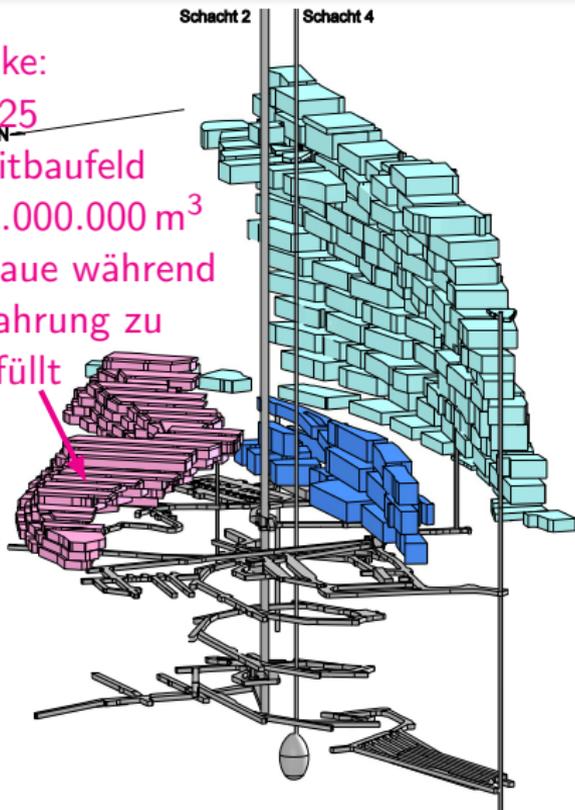
- 1 Einleitung
- 2 Beanspruchung des Tragsystems
- 3 Lage- und Höhenmessungen
- 4 Verformungsmessungen im Tragsystem
- 5 Ableitung des Verschiebungsvektors
- 6 Mikroseismische Überwachung
- 7 Lokale Monitoringprogramme

Baufelder im Grubengebäude



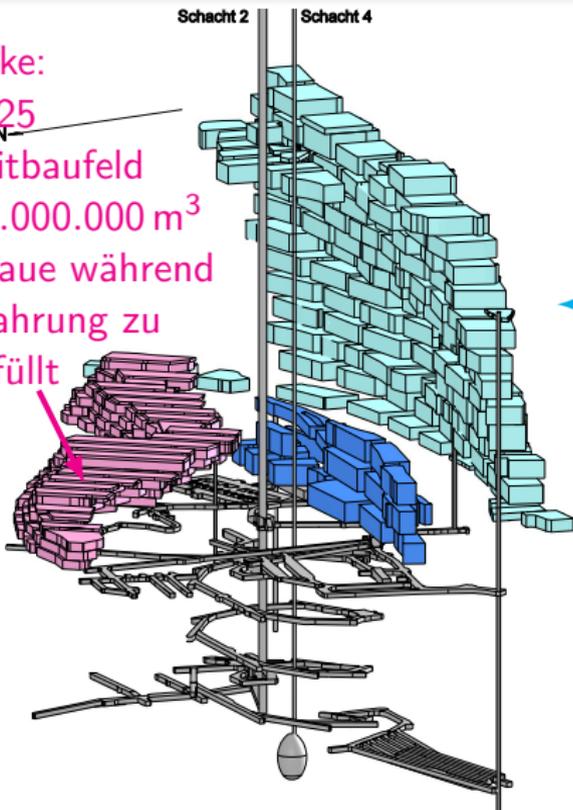
Baufelder im Grubengebäude

Nordflanke:
1909–1925
Carnallititbaufeld
 $V_{\text{ges}} \approx 1.000.000 \text{ m}^3$
Grubenbaue während
der Auffahrung zu
99% verfüllt



Baufelder im Grubengebäude

Nordflanke:
1909–1925
Carnallititbaufeld
 $V_{\text{ges}} \approx 1.000.000 \text{ m}^3$
Grubenbaue während
der Auffahrung zu
99% verfüllt



Südflanke:
1916–1964
Steinsalzbaufeld im Na3
 $V_{\text{ges}} \approx 3.350.000 \text{ m}^3$

Baufelder im Grubengebäude

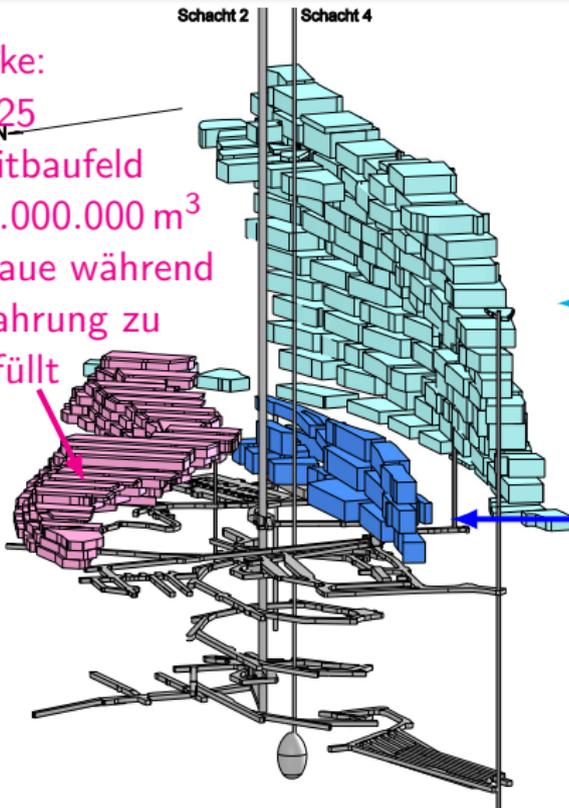
Nordflanke:

1909–1925

Carnallititbaufeld

$V_{\text{ges}} \approx 1.000.000 \text{ m}^3$

Grubenbaue während
der Auffahrung zu
99% verfüllt



Südflanke:

1916–1964

Steinsalzbaufeld im Na3

$V_{\text{ges}} \approx 3.350.000 \text{ m}^3$

Sattelkern:

1927–1964

Steinsalzbaufeld im Na2

$V_{\text{ges}} \approx 450.000 \text{ m}^3$

Baufelder im Grubengebäude

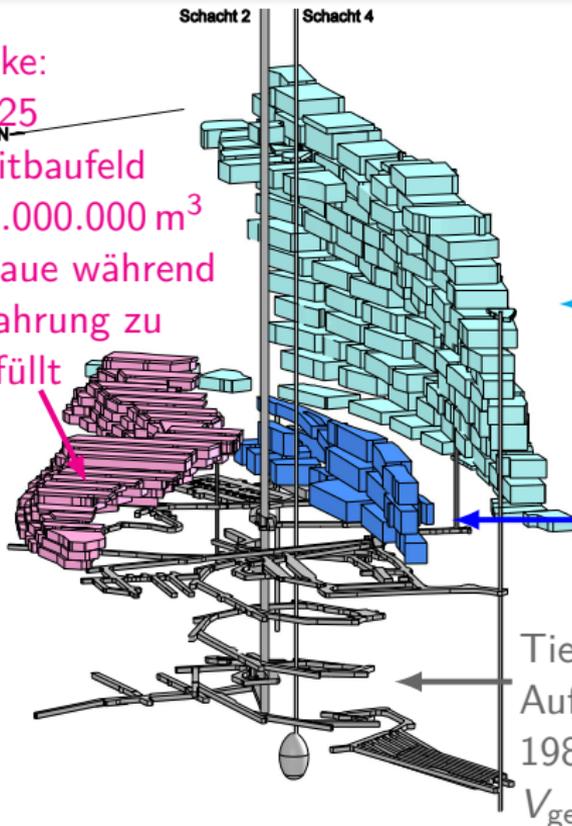
Nordflanke:

1909–1925

Carnallititbaufeld

$V_{\text{ges}} \approx 1.000.000 \text{ m}^3$

Grubenbaue während
der Auffahrung zu
99% verfüllt



Südflanke:

1916–1964

Steinsalzbaufeld im Na3

$V_{\text{ges}} \approx 3.350.000 \text{ m}^3$

Sattelkern:

1927–1964

Steinsalzbaufeld im Na2

$V_{\text{ges}} \approx 450.000 \text{ m}^3$

Tiefenaufschluss:

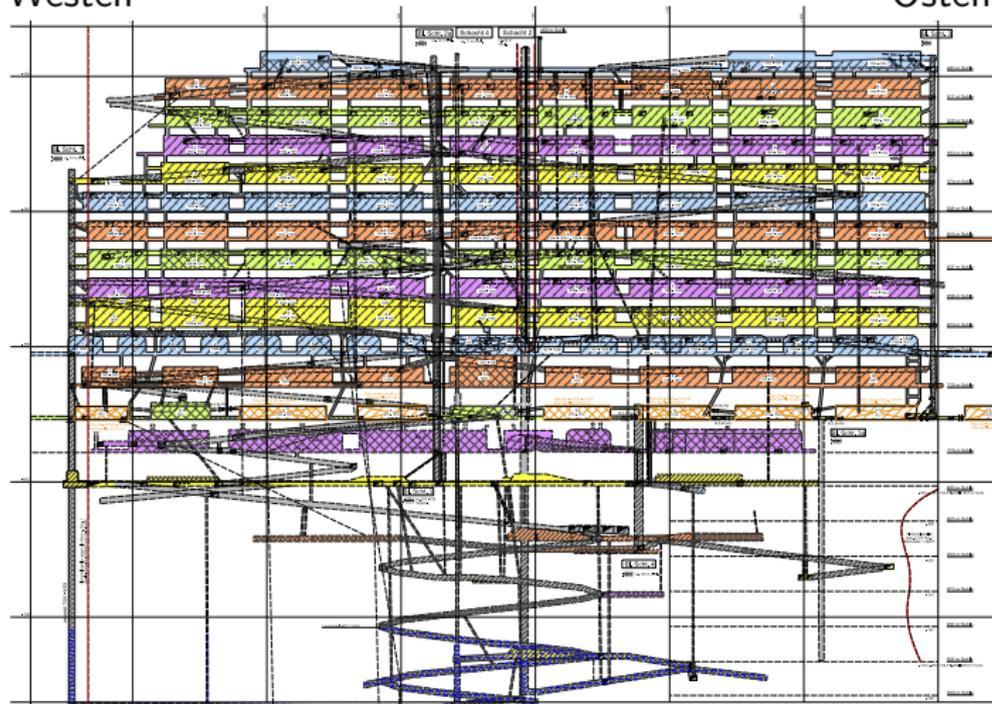
Auffahrungen zu Forschungszwecken
1984–1992

$V_{\text{ges}} \approx 240.000 \text{ m}^3$

Baufeld an der Südflanke

Westen

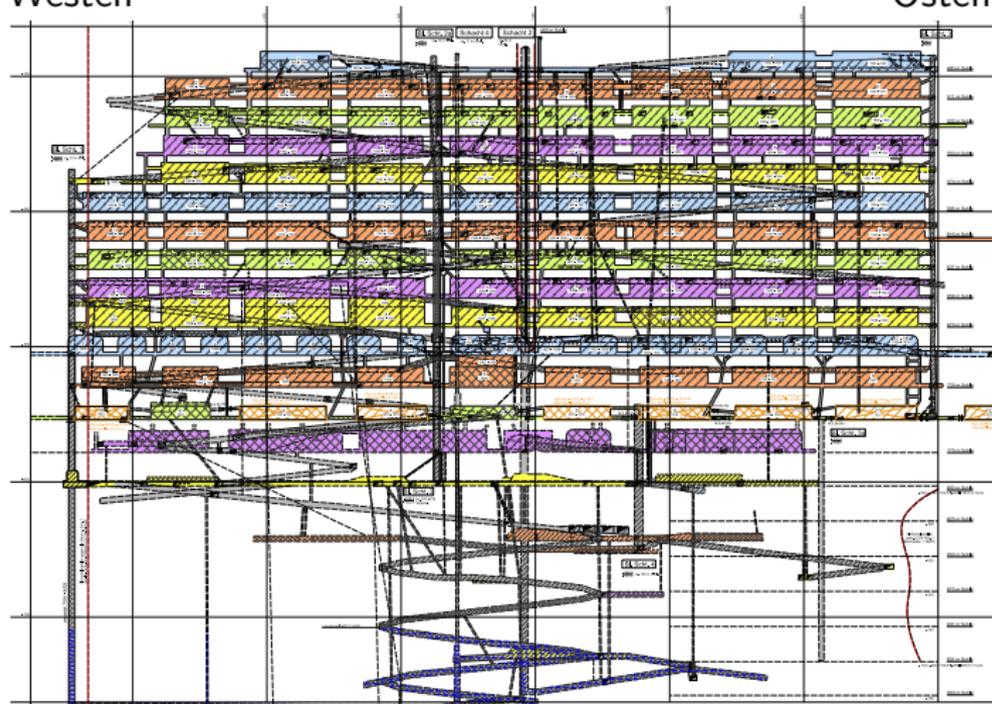
Osten



Baufeld an der Südflanke

Westen

Osten

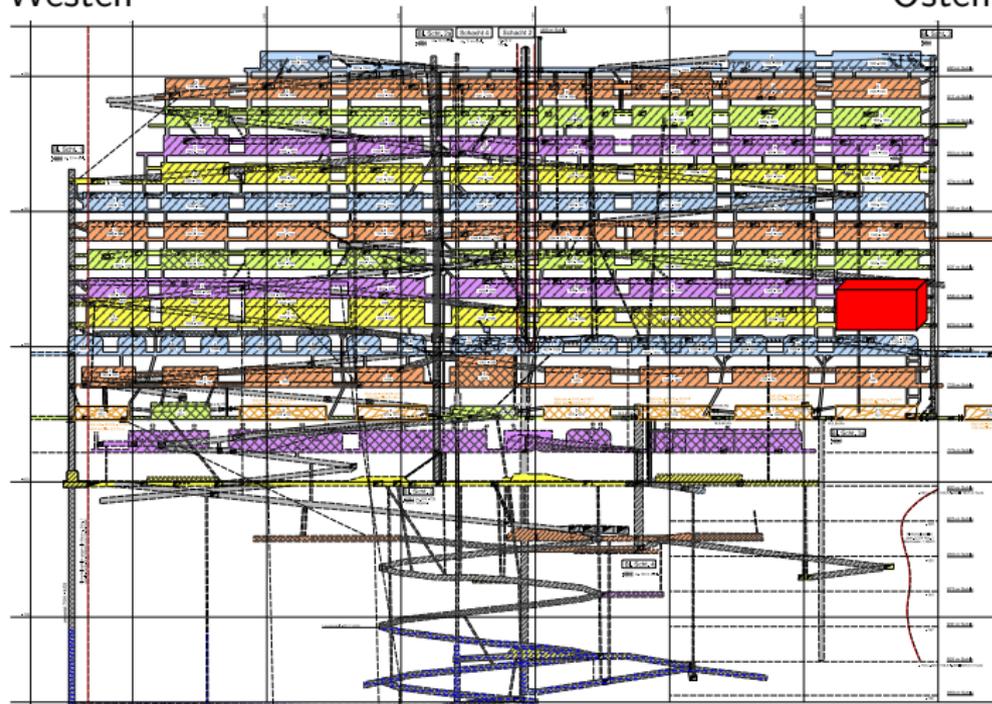


Baufeld an der Südflanke von der 490-m-Sohle bis zur 750-m-Sohle
● 131 Abbaue

Baufeld an der Südflanke

Westen

Osten

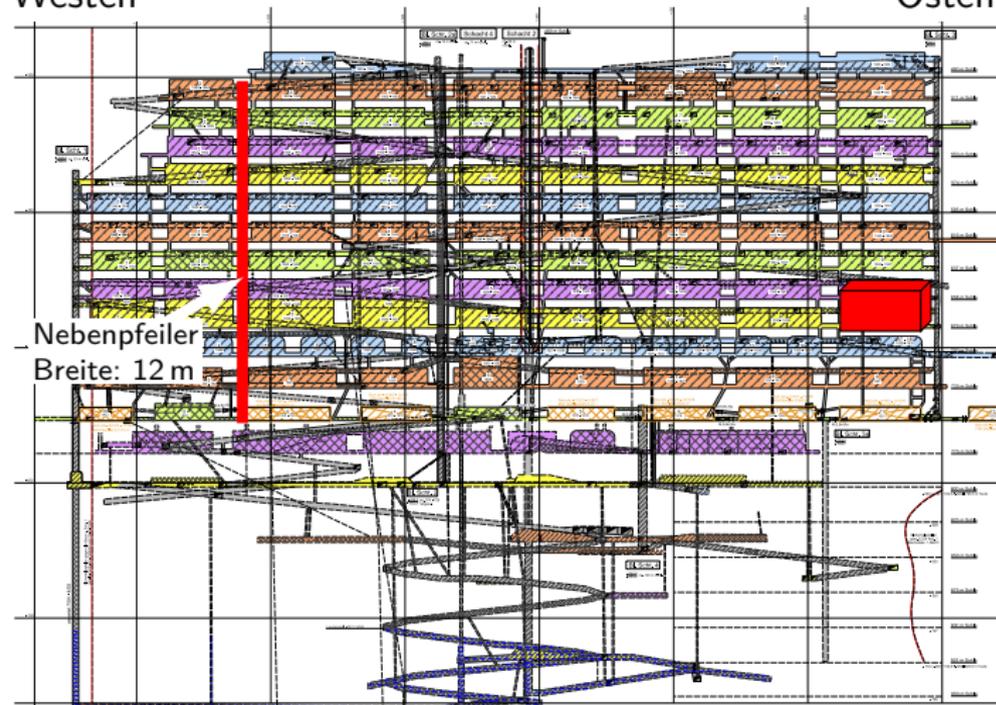


- Baufeld an der Südflanke von der 490-m-Sohle bis zur 750-m-Sohle
- 131 Abbaue
 - Abbau 60 m lang 40 m breit 15 m hoch

Baufeld an der Südflanke

Westen

Osten

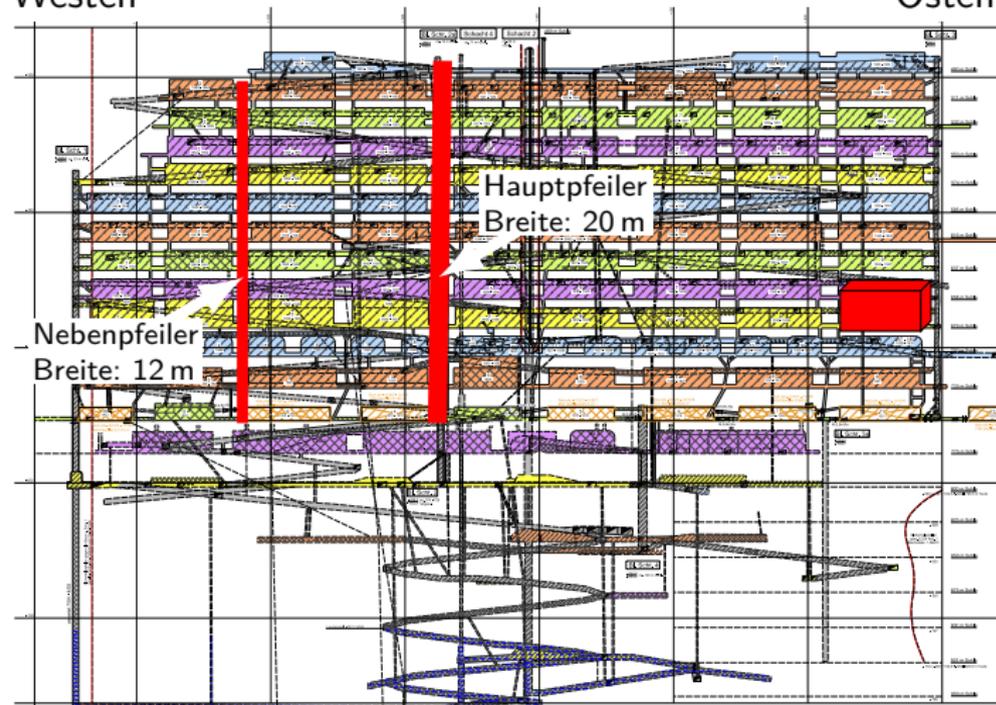


- Baufeld an der Südflanke von der 490-m-Sohle bis zur 750-m-Sohle
- 131 Abbaue
 - Abbau 60 m lang 40 m breit 15 m hoch

Baufeld an der Südflanke

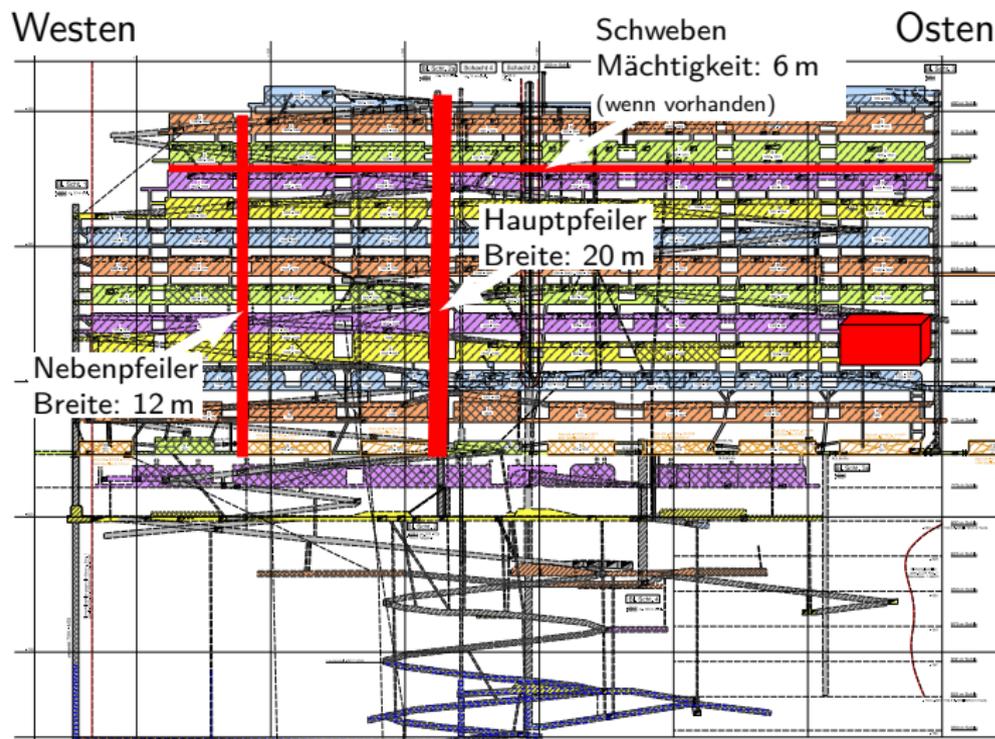
Westen

Osten



- Baufeld an der Südflanke von der 490-m-Sohle bis zur 750-m-Sohle
- 131 Abbaue
 - Abbau 60 m lang 40 m breit 15 m hoch

Baufeld an der Südflanke

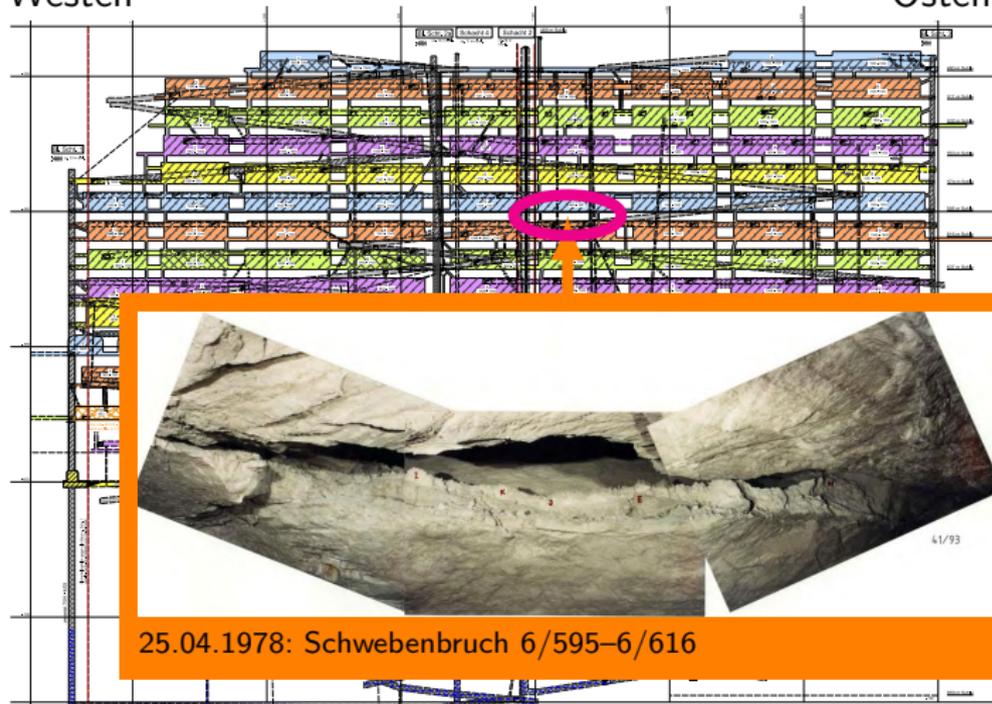


- Baufeld an der Südflanke von der 490-m-Sohle bis zur 750-m-Sohle
- 131 Abbaue
 - Abbau 60 m lang 40 m breit 15 m hoch

Baufeld an der Südflanke

Westen

Osten

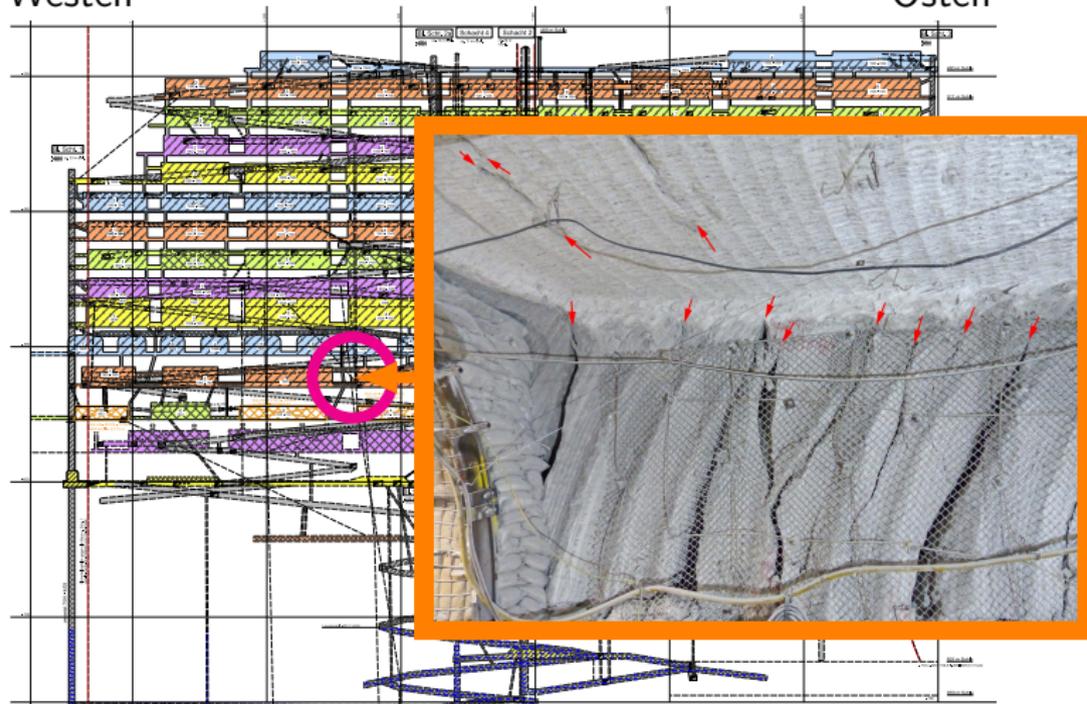


25.04.1978: Schwebenbruch 6/595-6/616

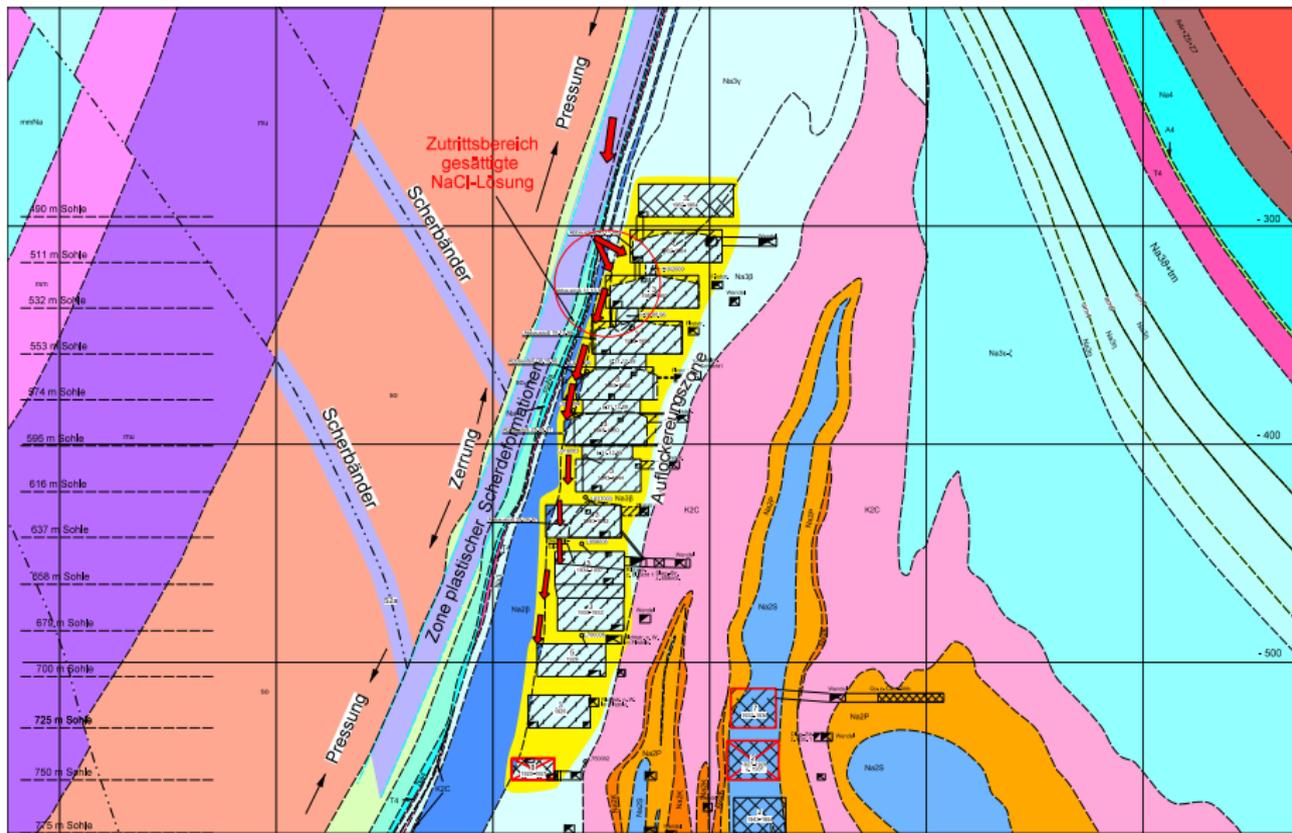
Baufeld an der Südflanke

Westen

Osten



Interaktion: Deckgebirge – Südflanke



Folgende Gesichtspunkte haben sich für die geotechnische Standortüberwachung seit 2012 neu ergeben:

- **Deutlich verlängerte Betriebsphase**

Umsetzung der Vorsorgemaßnahmen und Vorbereitung der Rückholung. Dauer der Rückholung mehrere Jahrzehnte.

- **Stabilisierung des Tragsystems**

Zur Herstellung der Notfallvorsorge und als sichere Planungsgrundlage für die Rückholung sind weitere Stabilisierungsmaßnahmen und ein robustes Lösungsmanagement notwendig.

- **Lokale Monitoringprogramme**

Durch zunehmende Schädigungen im Bereich genutzter Infrastrukturräume sind lokale Monitoringprogramme zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit initiiert worden. Auf dieser Grundlage werden zielgerichtete Sanierungsmaßnahmen empfohlen und sukzessive umgesetzt.

Seit Ende 2009 geophysikalische und geotechnische Überwachung der Firstspaltverfüllung im Baufeld an der Südflanke

- 70 von den 100 Abbauen sind verfüllt (Stand: 06/2021).
- Abbaureihe 1 und der Ostflügel (Abbaureihen 5 bis 9) sind vollständig verfüllt.
- Am oberen Baufeldrand sind die Firstspalte der Abbaue der 511- und 532-m-Sohle nahezu verfüllt.

⇒ Für eine dauerhafte und nachhaltige Stabilisierung des Grubengebäudes sind weitere Firstspalt- und Resthohlraumverfüllungen notwendig.

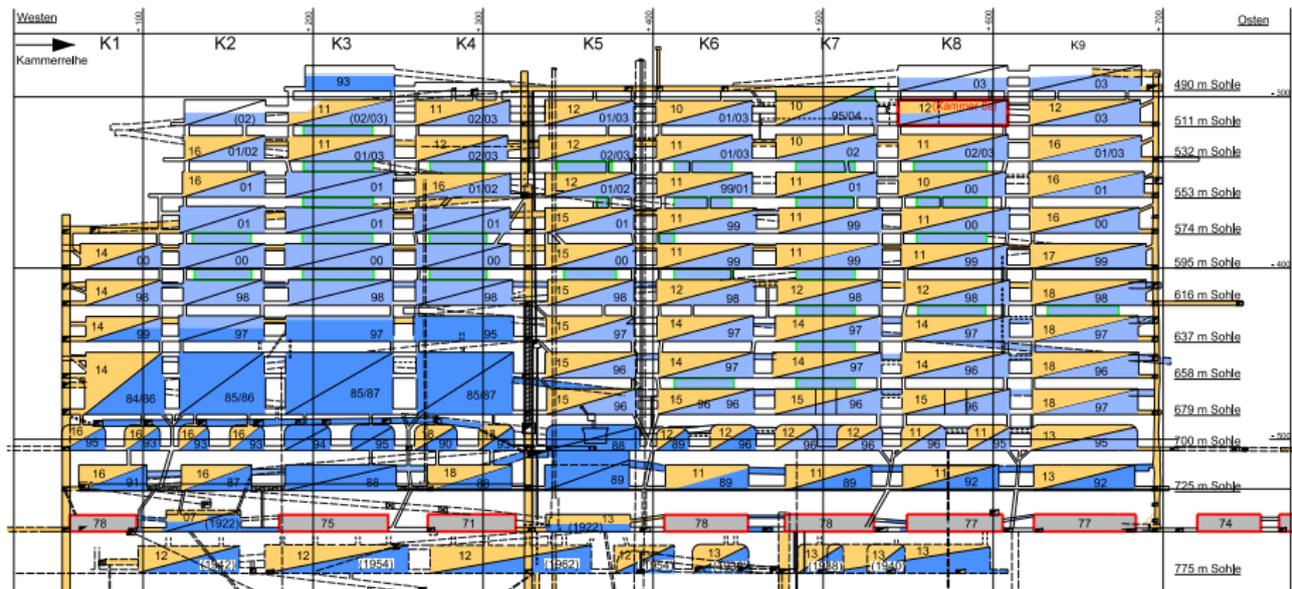
Verfüllmaßnahmen in 2020/2021

Um den Schädigungsprozess weiter zu verlangsamen wurden 2020 und 2021 folgende Maßnahmen umgesetzt:

1 Resthohlraumverfüllungen

- der nördliche Bereich des Nebenabbaus 7b/532
- die Umfahrung des Abbaus 6a/532
- die Abbaubegleitstrecke nördlich der Abbaue 5 bis 2/532
- die Abbaubegleitstrecke nördlich der Abbaue 6 bis 9/595
- Abbau 6/725 (Na2)

Status – Resthohlraum- und Firstspaltverfüllung Stand 05/2021



Eigenversatz

Ronnenbergversatz

Sorelbeton

Schwebendurchbruch

Schema

 Abbau verfüllt

 Firste betoniert

Maßnahmen mit Einfluss auf die gebirgsmechanische Situation im Grubengebäude

- **Südflanke 490- bis 725-m-Sohle**

Mit Stand 10/2020 wurden insgesamt seit Ende 2009 ca. 208.000 m³ Sorelbeton im Baufeld an der Südflanke eingebracht (dies entspricht ca. 6 % des Hohlraumvolumens).

- **Sattelkern 750- bis 775-m-Sohle**

Die Firstspaltverfüllung auf der 775-m-Sohle wurde im September 2013 abgeschlossen. Die 9 Abbaue inkl. Zugänge wurden mit insgesamt ca. 11.600 m³ Sorelbeton nachversetzt. Der Abbau 4a/750 wurde im Jahr 2017 mit ca. 4.700 m³ Sorelbeton nachverfüllt.

Maßnahmen mit Einfluss auf die gebirgsmechanische Situation im Grubengebäude

- **Carnallitbaufeld an der Nordflanke (750 bis 710 m Teufe)**

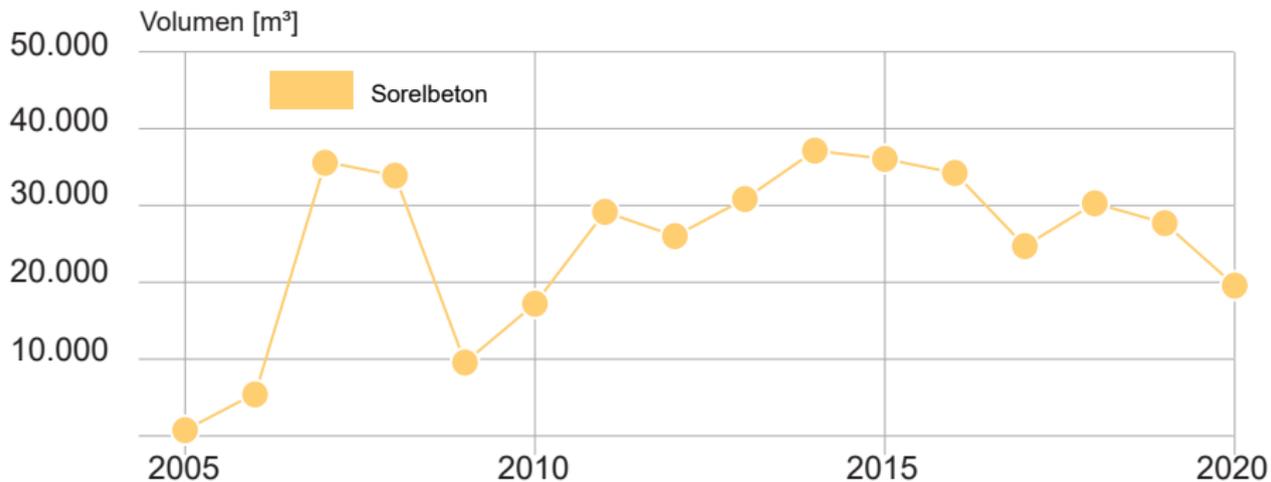
- ⇒ Firstspalte in den Kali-Abbauen 1 bis 5 Ost und 12 Ost sowie Resthohlräume in umliegenden Grubenbaue wurden mit ca. 3.800 m³ Sorelbeton verfüllt
- ⇒ Weitere Erkundungen, ggf. Verfüllung und Installation für ein erweitertes Lösungsmonitoring sind derzeit in Vorbereitung.

- **Gesamtes Grubengebäude**

Mit Stand 06/2021 wurden bisher ca. 410.000 m³ Sorelbeton in das Grubengebäude eingebracht (Gesamt Hohlraumvolumen ca. 4,7 Mio.m³).

Volumenbilanz

Darstellung der Verfüllvolumina der letzten Jahre

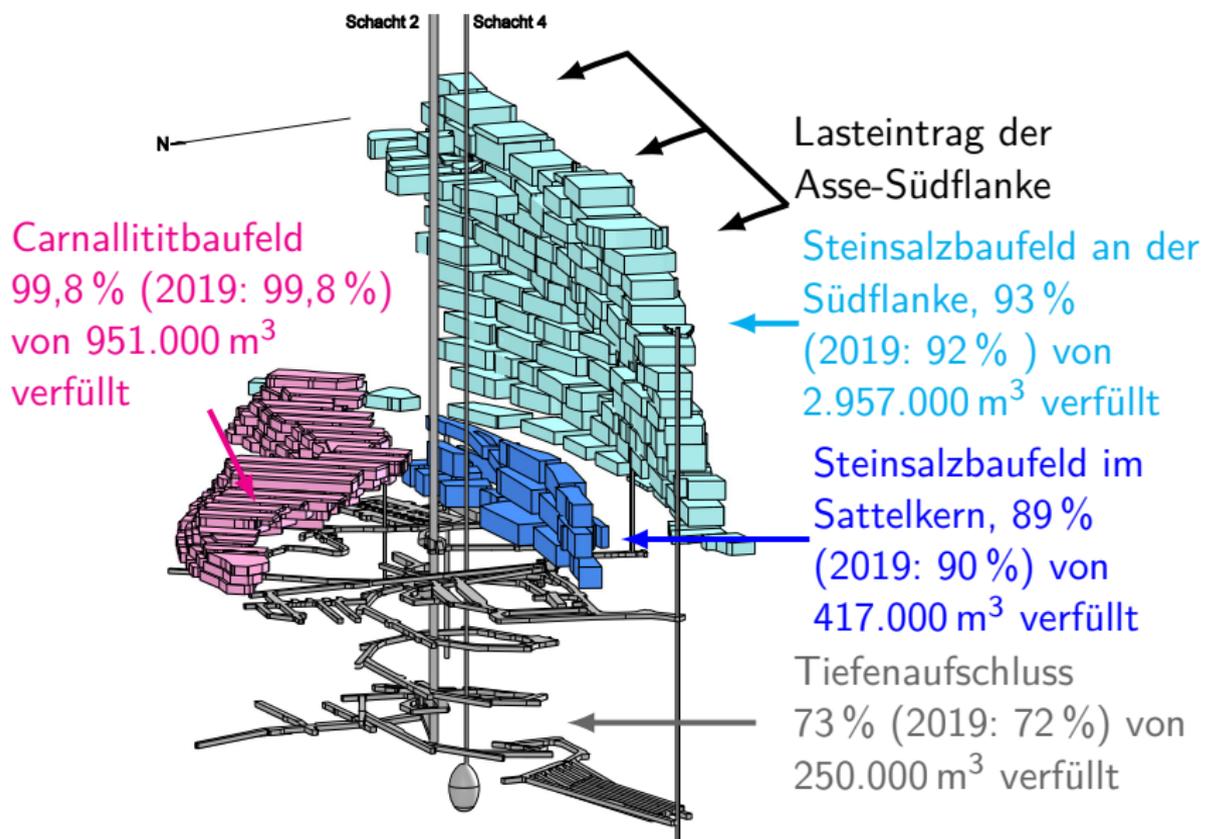


- eingebrachte Sorelbetonmenge der letzten Jahre:

- 2018: 30.000 m³
- 2019: 28.000 m³
- 2020: 20.000 m³

- durchschnittliche jährliche Betonierleistung seit 2005: ca. 25.000 m³

Volumenbilanz – Grubengebäude (Stand 2020)



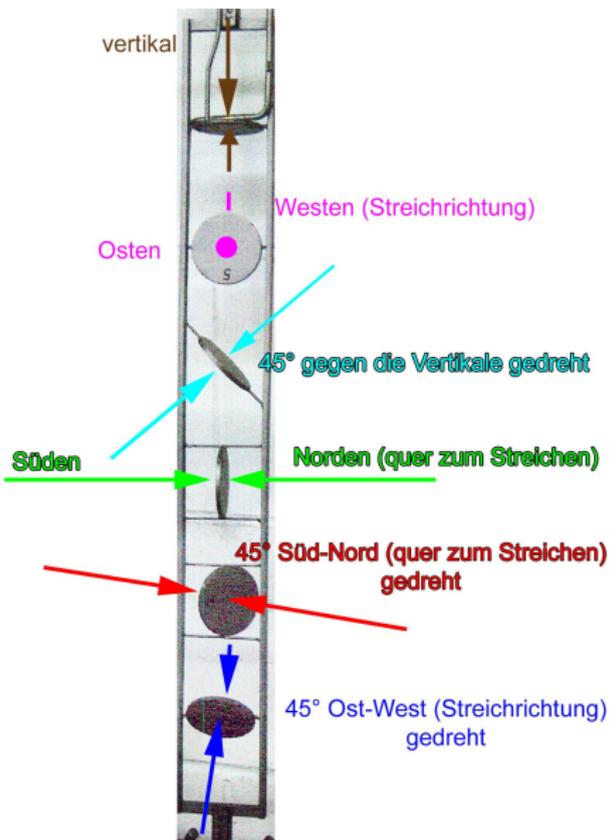
Übersicht Teil I

- 1 Einleitung
- 2 Beanspruchung des Tragsystems**
- 3 Lage- und Höhenmessungen
- 4 Verformungsmessungen im Tragsystem
- 5 Ableitung des Verschiebungsvektors
- 6 Mikroseismische Überwachung
- 7 Lokale Monitoringprogramme

Übersicht

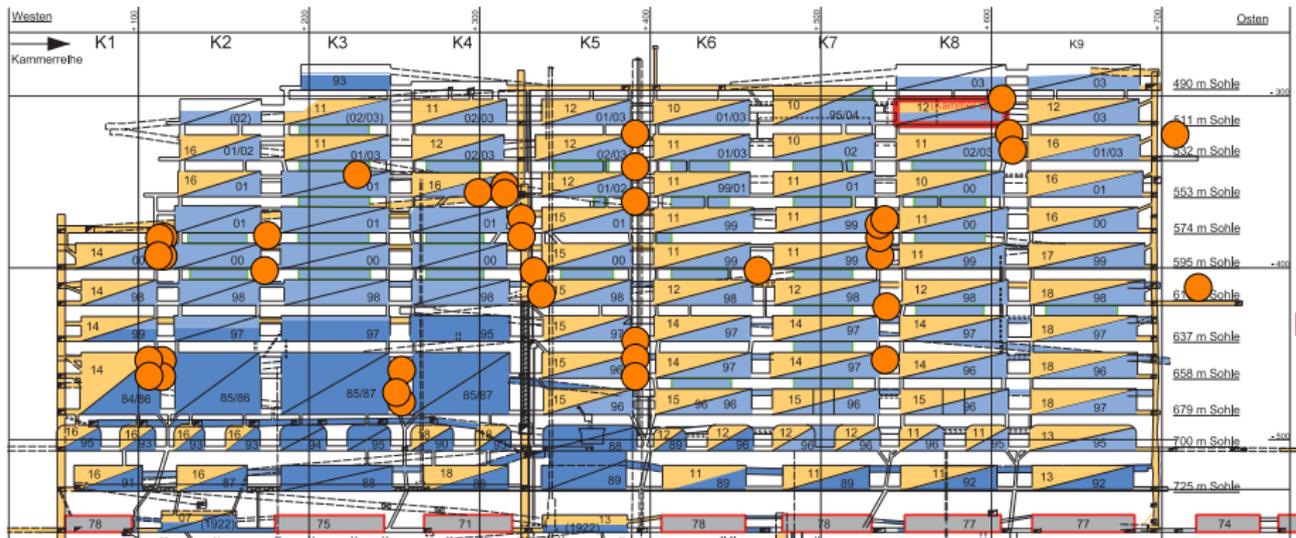
- 2 Beanspruchung des Tragsystems
 - Spannungsmessungen in den Pfeilern
 - Druckmessungen im Versatz

Aufbau einer Spannungsmonitorstation



- Einbau in Bohrungen
- Orientierung der Druckkissen entsprechend der Raumlage der Bohrung ausgerichtet. Systembild zeigt eine SMS für vertikale Bohrung.
- Bohrung wird im Bereich der SMS mit Sorelmörtel (feine Körnung) verfüllt.

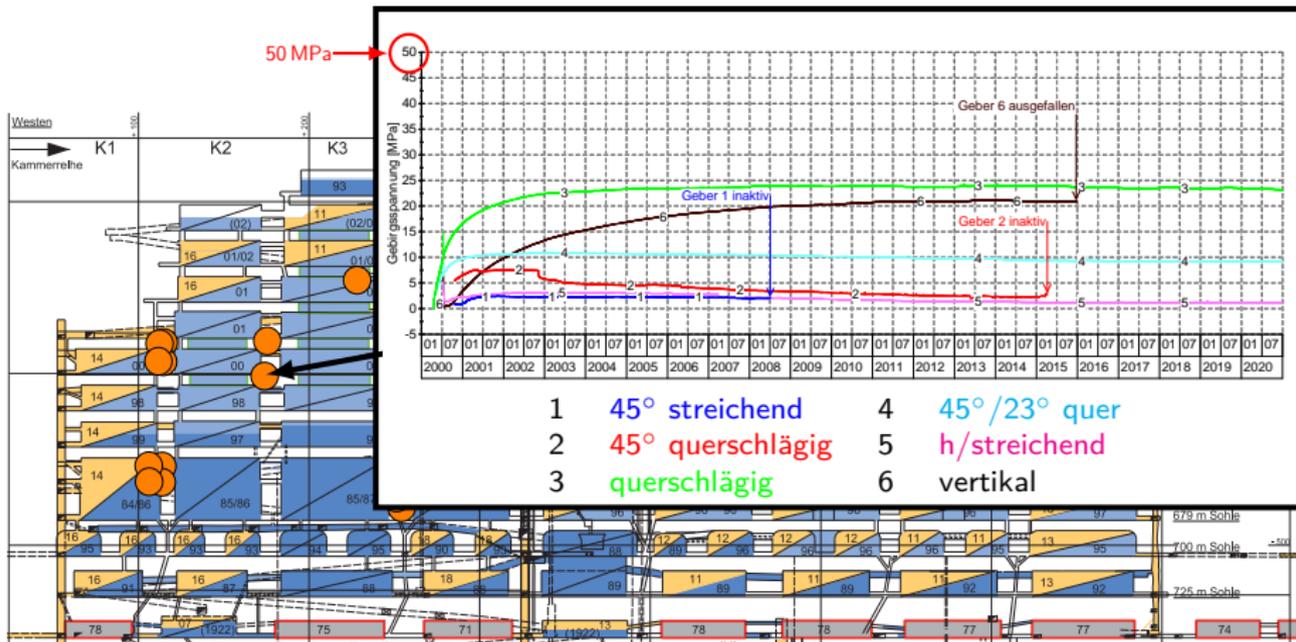
Lage der Spannungsmonitorstationen (SMS)



● Spannungsmonitorstation (38 SMS in Messwerterfassung)

Spannungssituation im Pfeiler 2/3

Mittlerer Pfeilerbereich, 598 m Tiefe – Messwerte

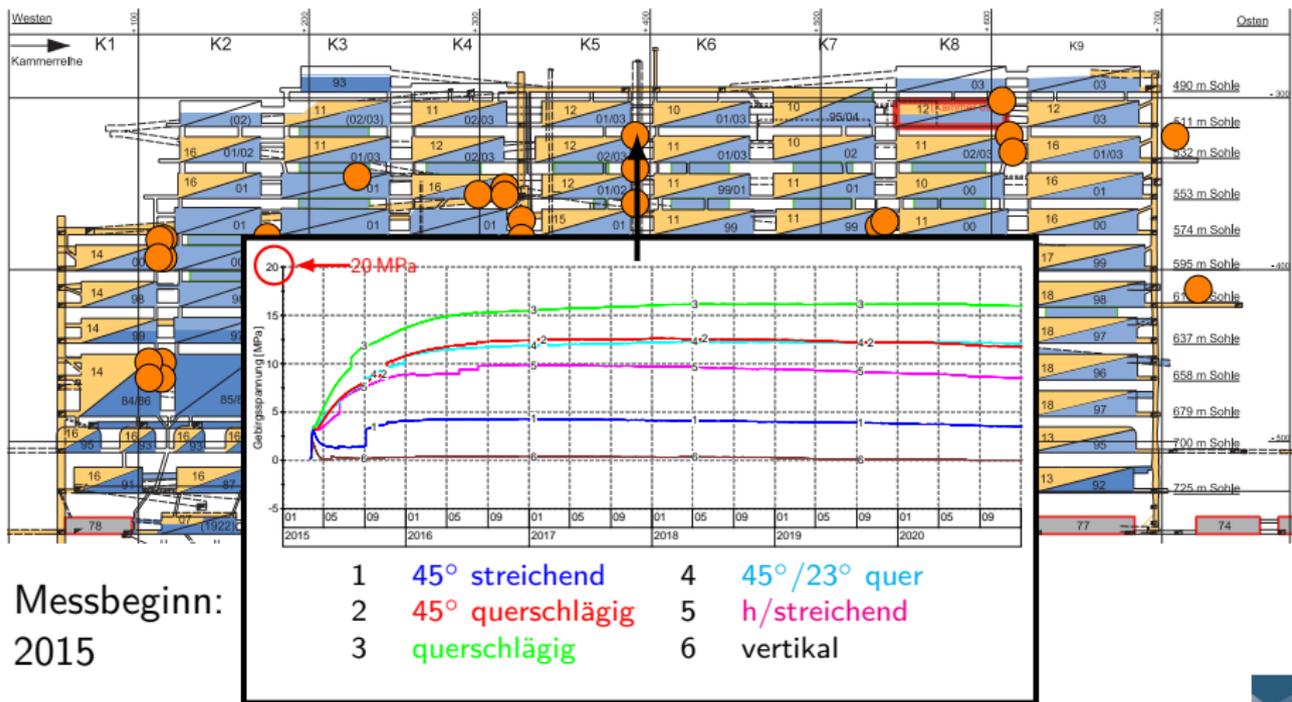


Messbeginn: 2000



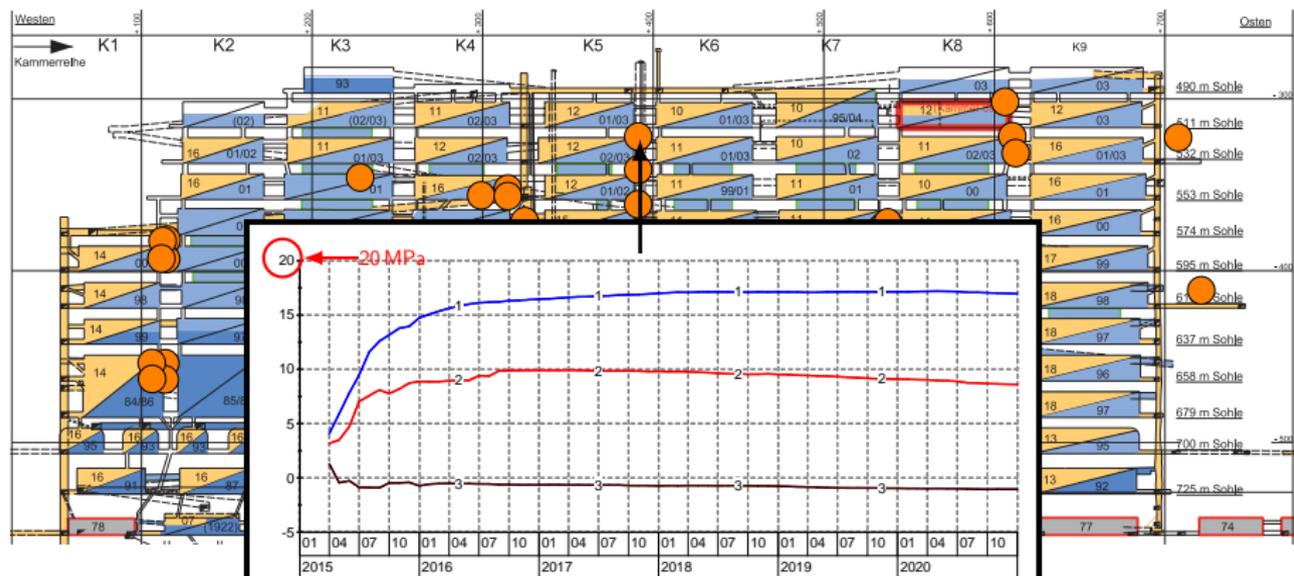
Spannungssituation im Pfeiler 5/6

Pfeilermitte, 513 m Teufe – Messwerte



Spannungssituation im Pfeiler 5/6

Pfeilermitte, 513 m Teufe – berechnete Hauptspannungen

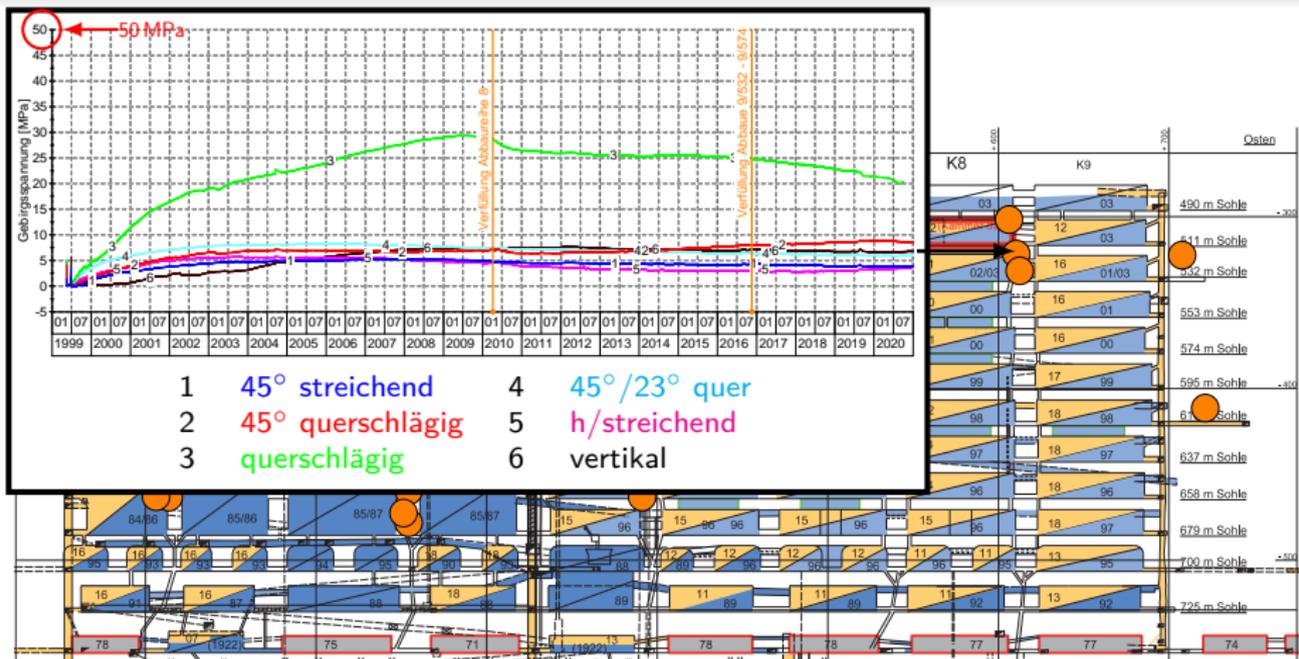


Messbeginn:
2015

- 1 maximale Hauptspannung (querschlägig)
- 2 mittlere Hauptspannung (streichend)
- 3 minimal Hauptspannung (vertikal)

Spannungssituation im Pfeiler 8/9

Pfeilermitte, 514 m Teufe – Messwerte

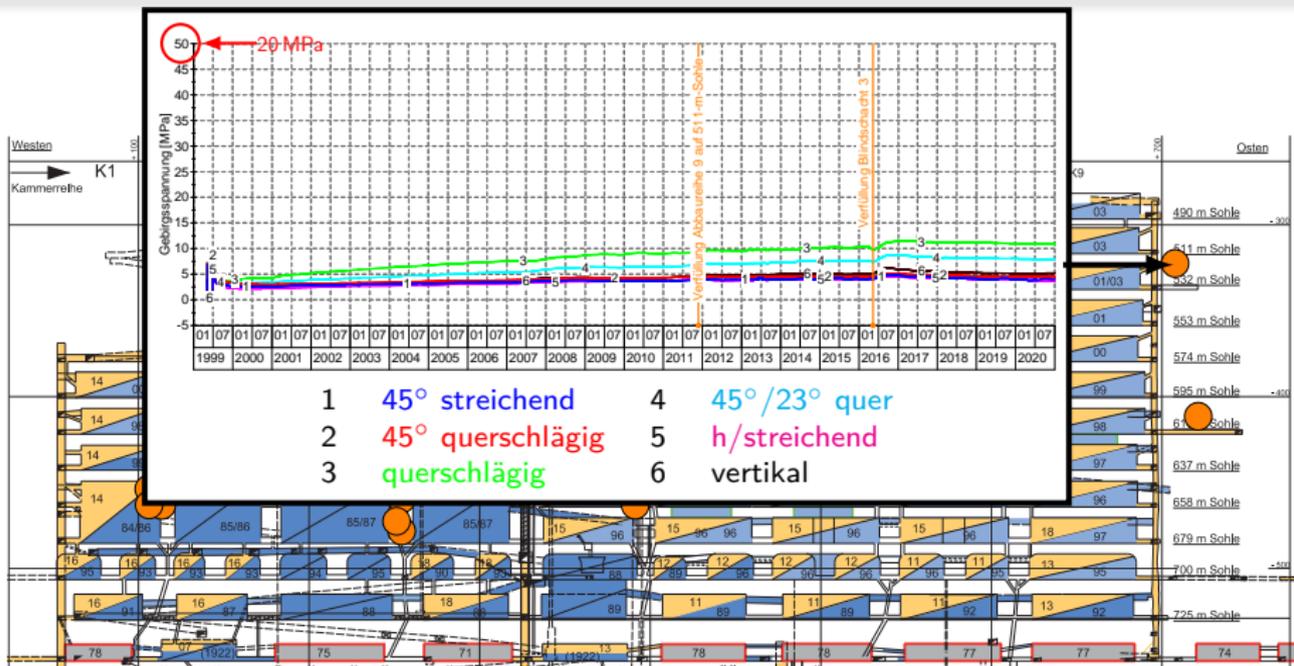


Messbeginn: 1999



Spannungssituation am östlichen Baufeldrand

514 m Teufe – Messwerte

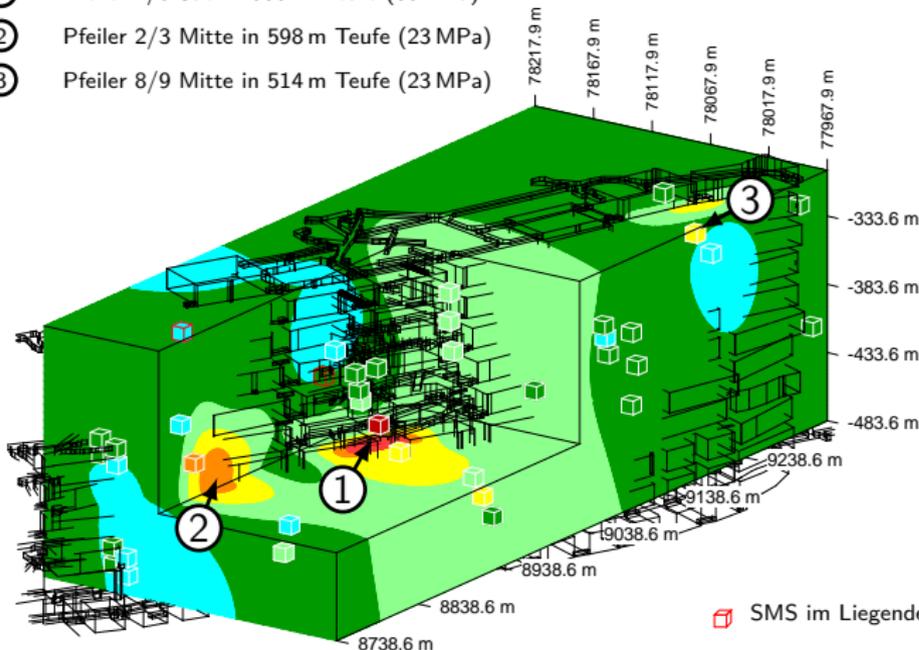


Messbeginn: 1999



Maximalspannungsmesswerte 11/2019

- ① Pfeiler 4/5 Süd in 566 m Teufe (33 MPa)
- ② Pfeiler 2/3 Mitte in 598 m Teufe (23 MPa)
- ③ Pfeiler 8/9 Mitte in 514 m Teufe (23 MPa)

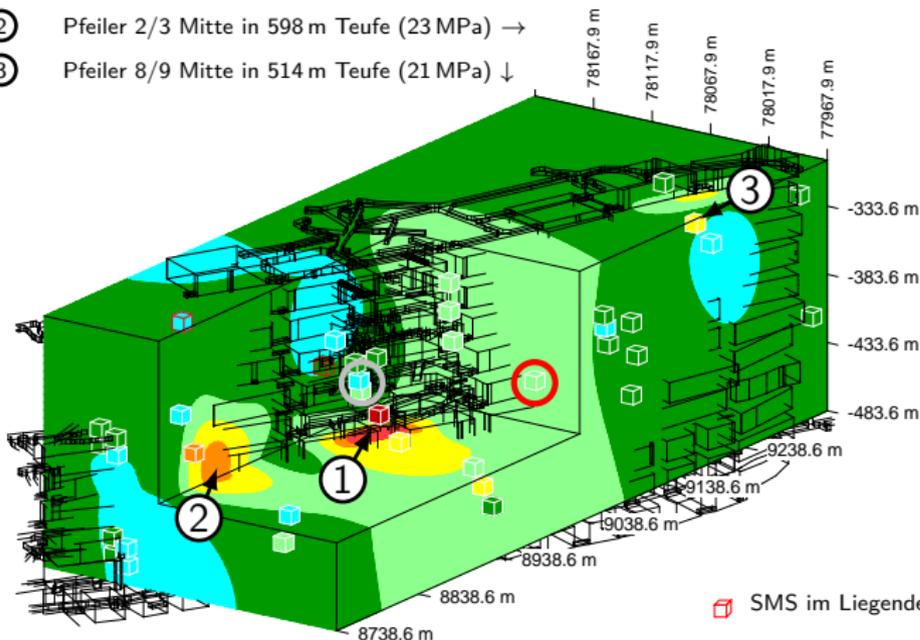


- SMS im Liegenden des Baufeldes an der Südflanke
- SMS im Baufeld an der Südflanke



Maximalspannungsmesswerte 11/2020

- ① Pfeiler 4/5 Süd in 566 m Teufe (33 MPa) →
- ② Pfeiler 2/3 Mitte in 598 m Teufe (23 MPa) →
- ③ Pfeiler 8/9 Mitte in 514 m Teufe (21 MPa) ↓

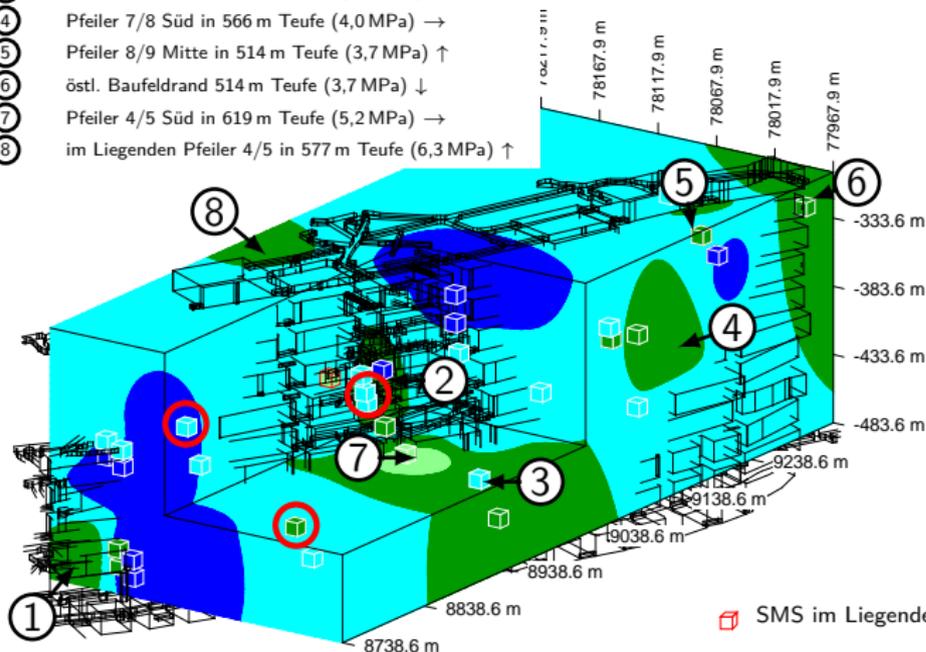


- SMS im Liegenden des Baufeldes an der Südflanke
- SMS im Baufeld an der Südflanke
- Erhöhung der Maximalspannungen in 2020
- Rückgang der Maximalspannungen in 2020

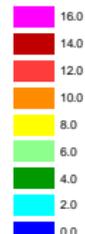


Minimalspannungsmesswerte 11/2020

- ① Pfeiler 1/2 Nord in 651 m Teufe (4,4 MPa) ↑
- ② Pfeiler 4/5 Mitte in 609 m Teufe (3,6 MPa) →
- ③ Pfeiler 5/6 Nord in 640 m Teufe (2,7 MPa) →
- ④ Pfeiler 7/8 Süd in 566 m Teufe (4,0 MPa) →
- ⑤ Pfeiler 8/9 Mitte in 514 m Teufe (3,7 MPa) ↑
- ⑥ östl. Baufeldrand 514 m Teufe (3,7 MPa) ↓
- ⑦ Pfeiler 4/5 Süd in 619 m Teufe (5,2 MPa) →
- ⑧ im Liegenden Pfeiler 4/5 in 577 m Teufe (6,3 MPa) ↑



Druckspannung [MPa]

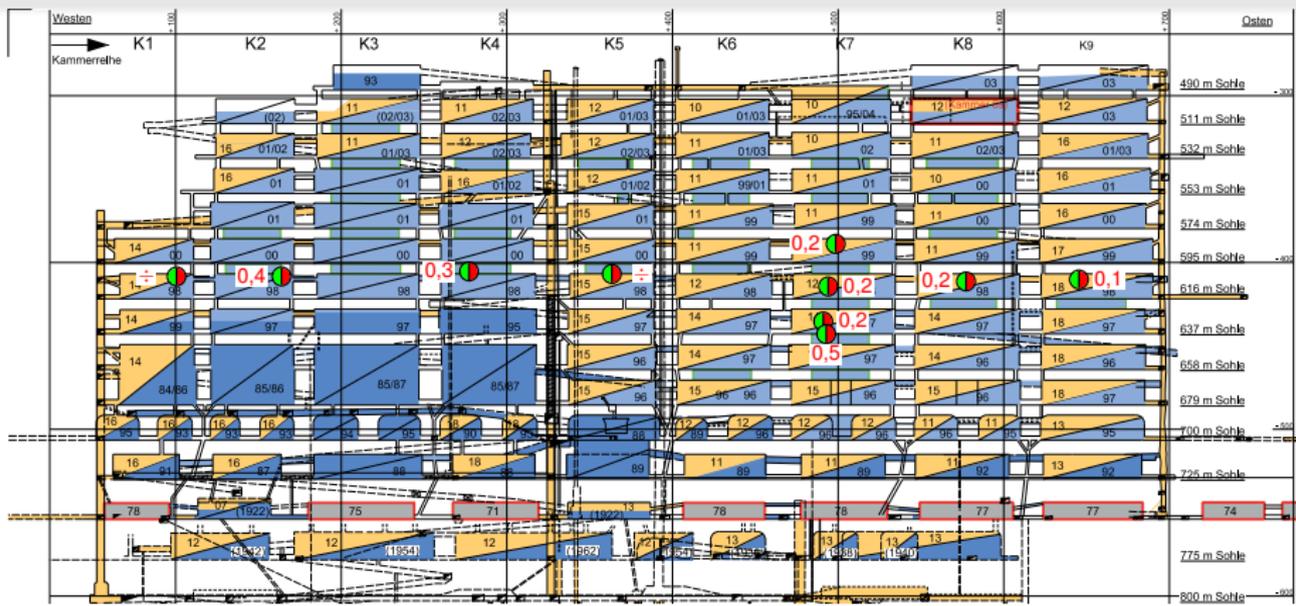
Stationen mit
mehr als einem Messwert

-  SMS im Liegenden des Baufeldes an der Südflanke
-  SMS im Baufeld an der Südflanke
-  Erhöhung der Minimalspannungen in 2020

Übersicht

- 2 Beanspruchung des Tragsystems
 - Spannungsmessungen in den Pfeilern
 - Druckmessungen im Versatz

Mittlere gemessene Versatzdrücke (12/20)



 Versatzdruckmessstellen

 Eigenversatz

 Schwebendurchbruch

 Ronnenbergversatz

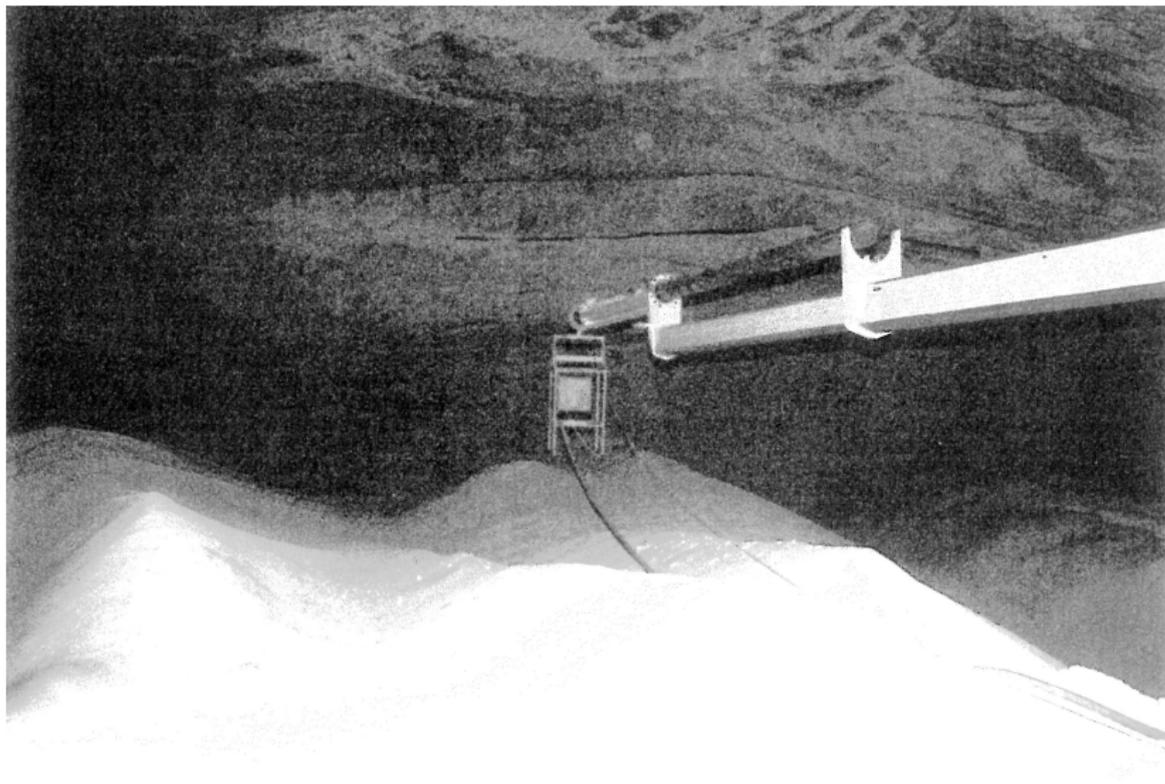
Schema
 Abbau verfüllt

 Sorelbeton

Firste betoniert



Instrumentierung der Versatzdruckmesssysteme

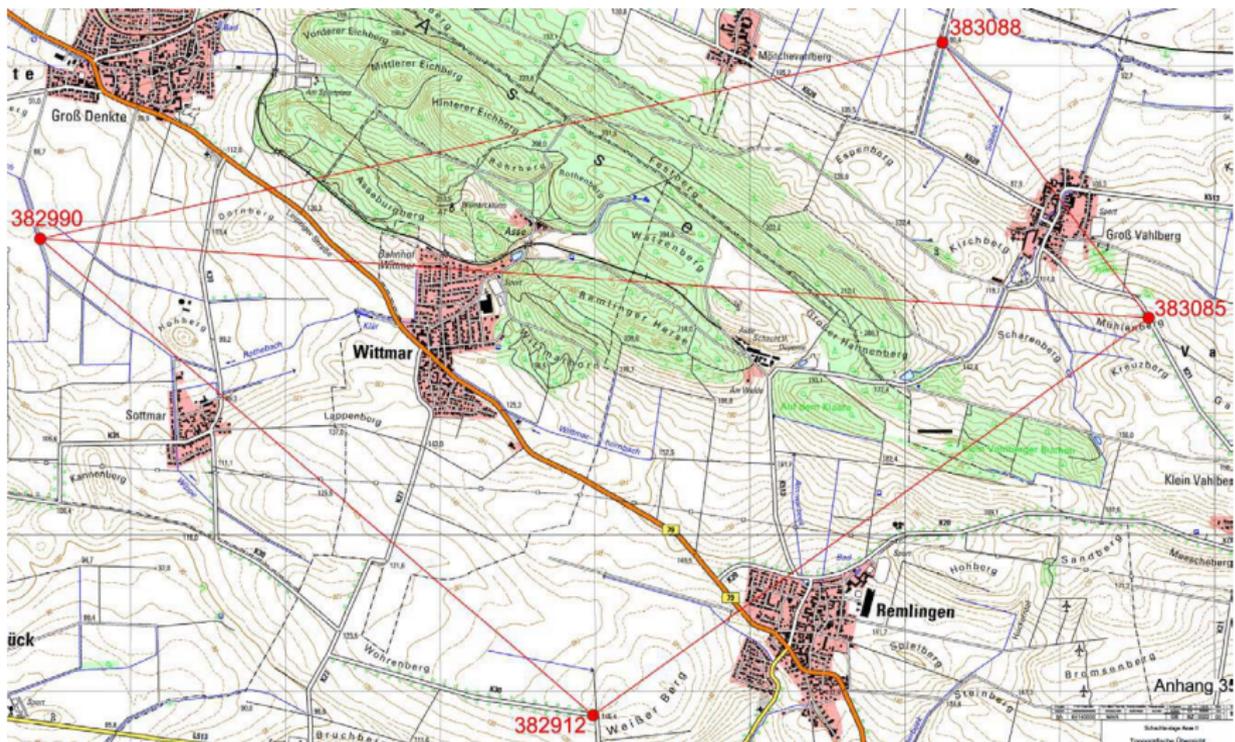


Vergleich Versatzdruck – minimale Gebirgsspannungsmesswerte

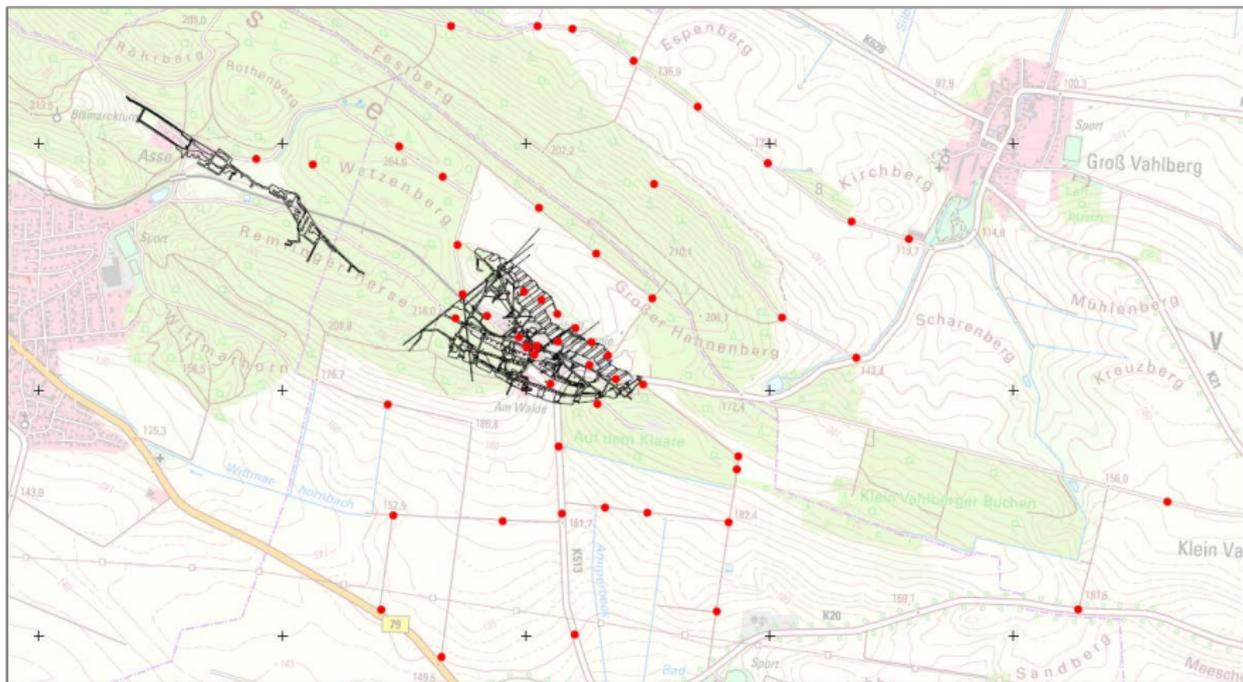
- ⇒ Der Mittelwert aller signifikanten Messstellen im Jahr 2020 liegt bei 0,3 MPa (2019: 0,3 MPa).
- ⇒ Geringfügig fortschreitende Stützwirkung des Versatzes auf die Pfeiler; dies zeigen auch die zum Teil ansteigenden minimalen Gebirgsspannungen (SMS) in streichender Richtung.



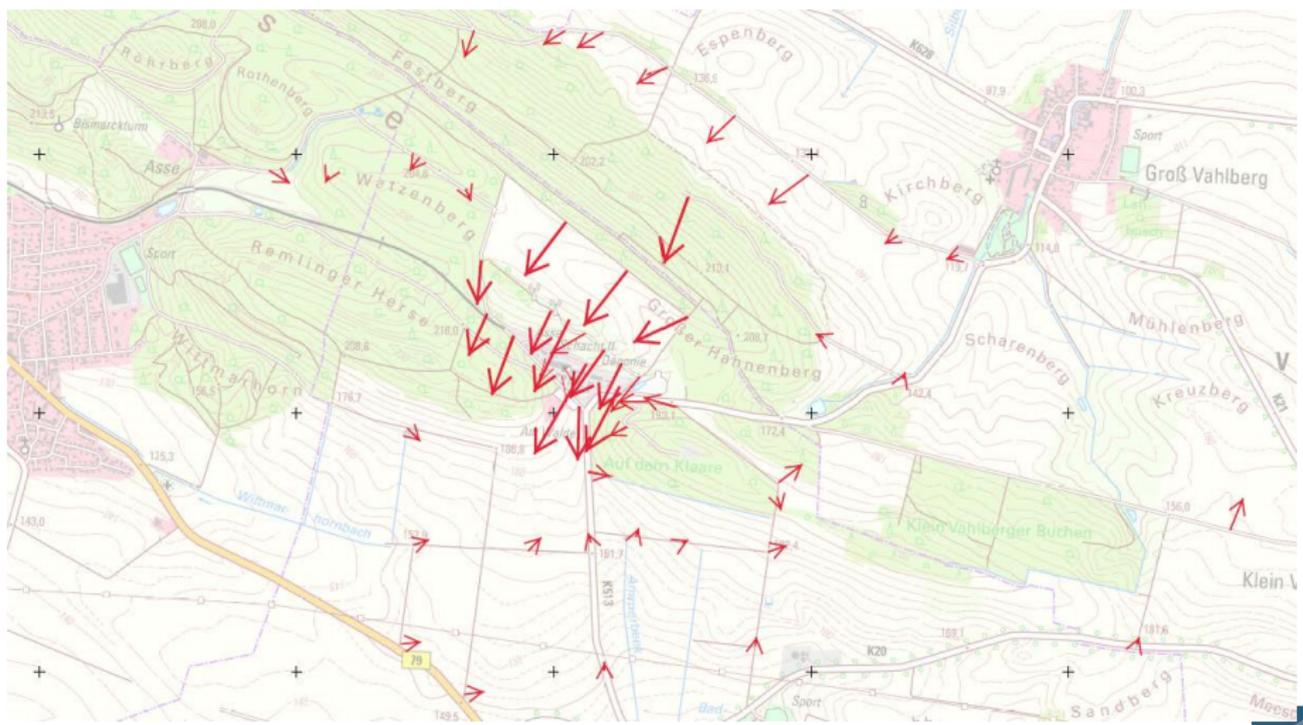
Lagemessungen über Tage – Lagerung Messnetz



Lagemessungen über Tage – Beobachtungsnetz



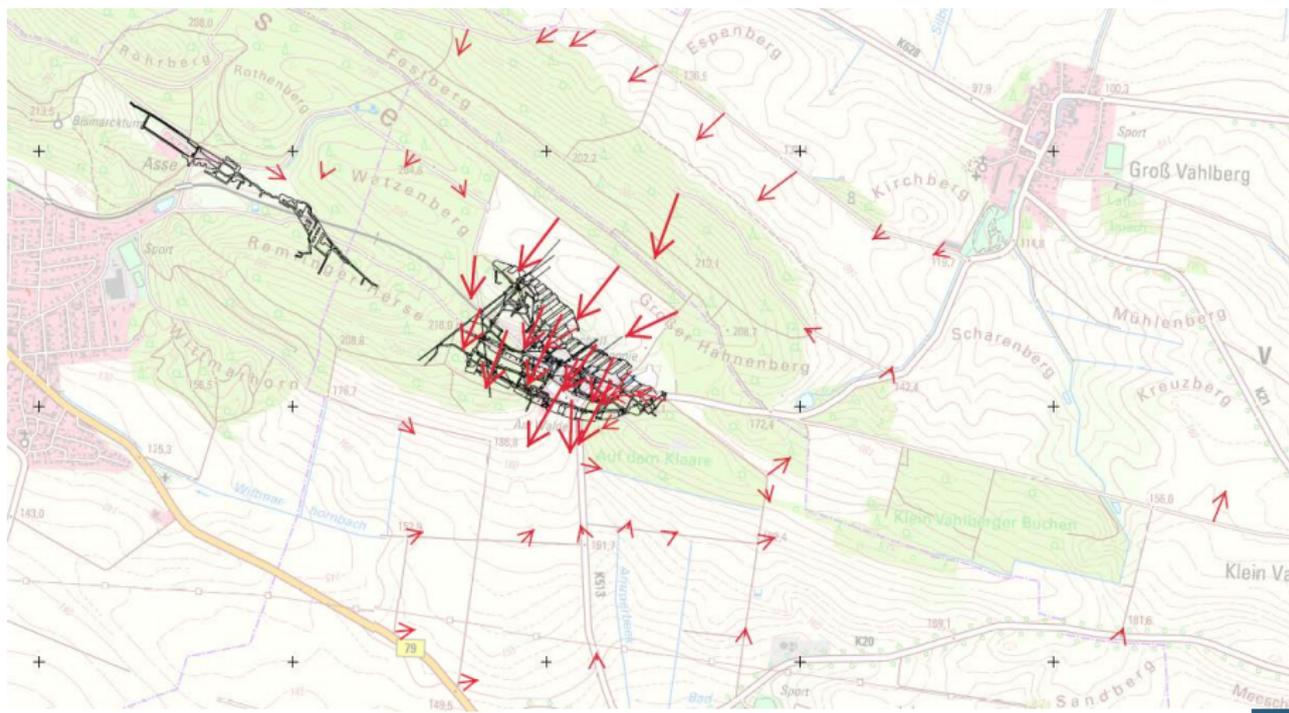
Lagemessungen über Tage – Verschiebungen 2009 bis 2020



— Verschiebung 50 mm



Lagemessungen über Tage – Verschiebungen 2009 bis 2020



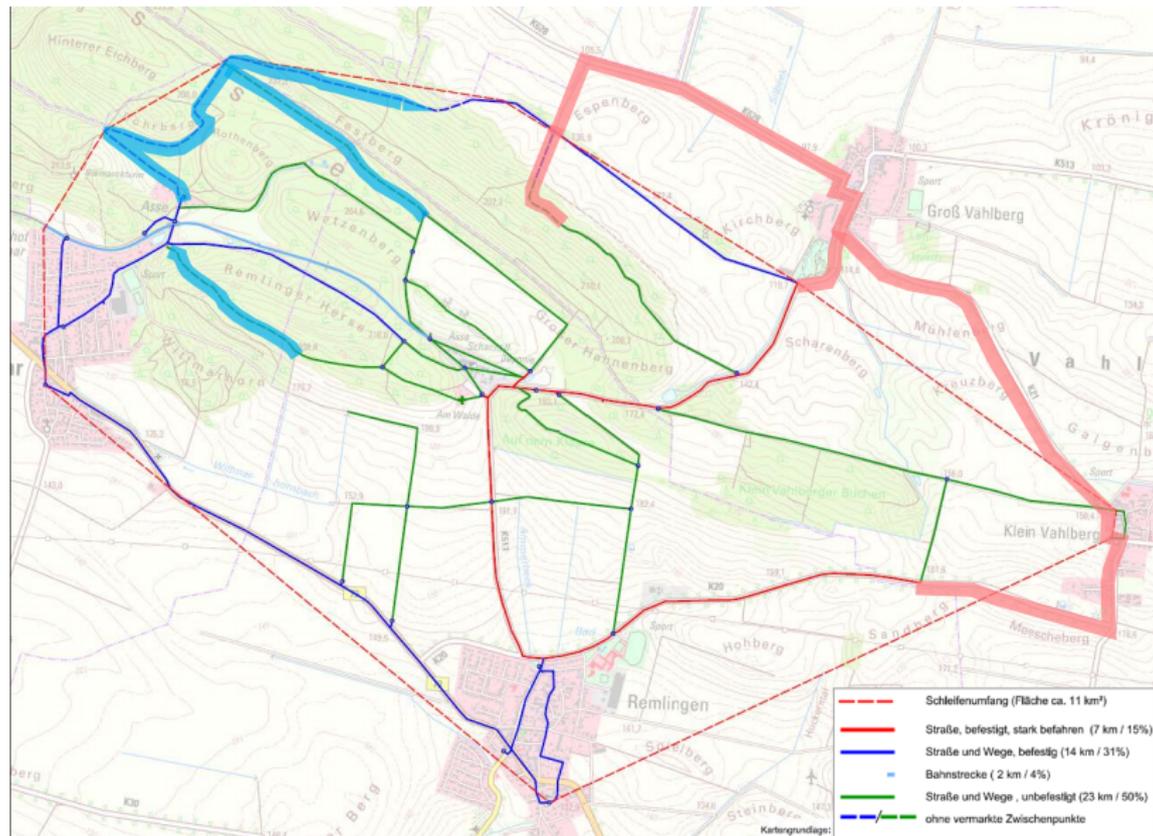
Verschiebung 50 mm

Übersicht

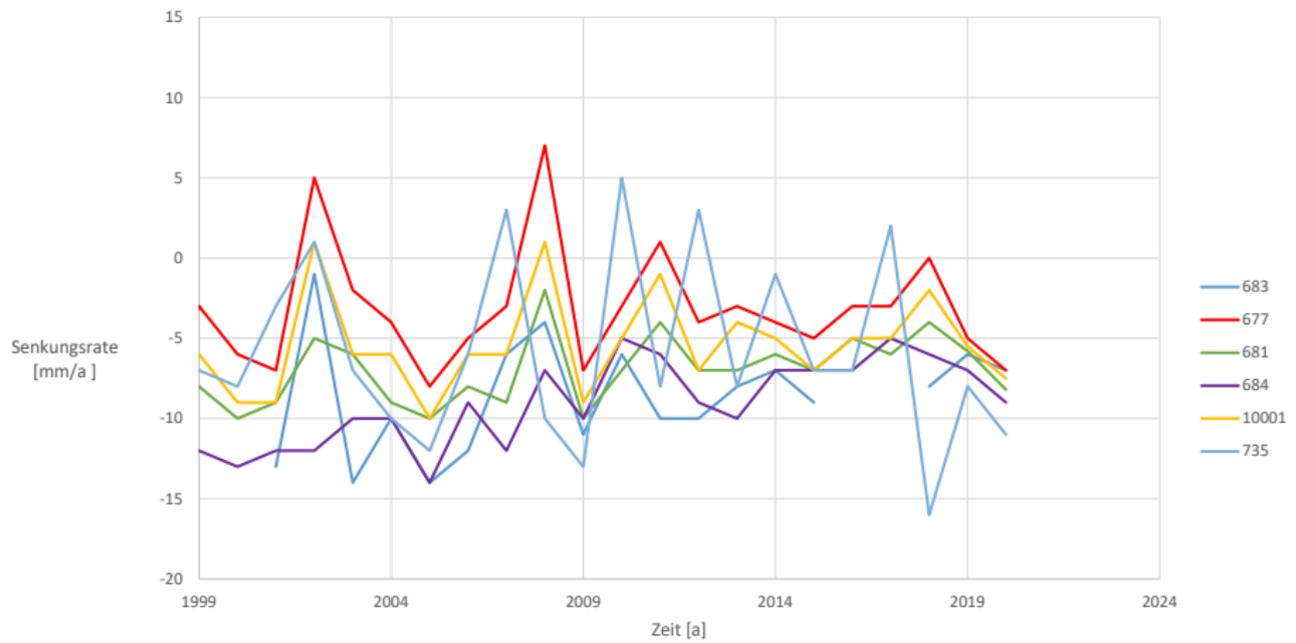
- 3 Lage- und Höhenmessungen
 - Lagemessungen über Tage
 - Höhenmessungen über Tage
 - Lagemessungen unter Tage
 - Höhenmessungen unter Tage
 - Inklinometermessungen
 - Fazit



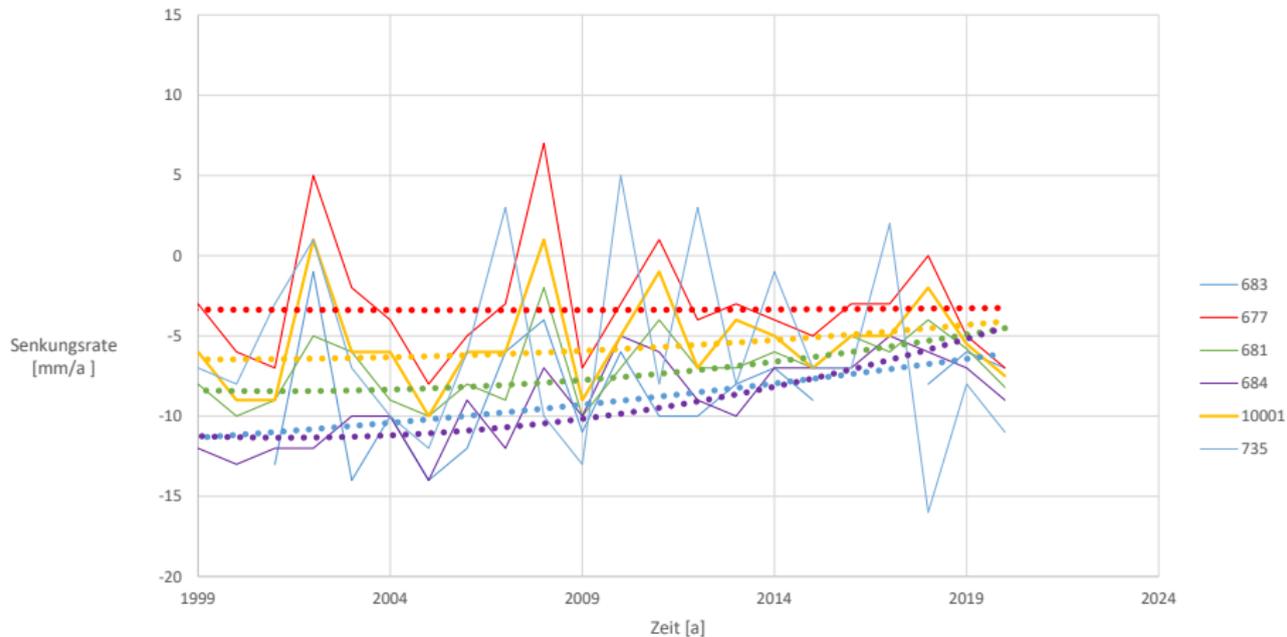
Höhenmessungen über Tage – Beobachtungsnetz



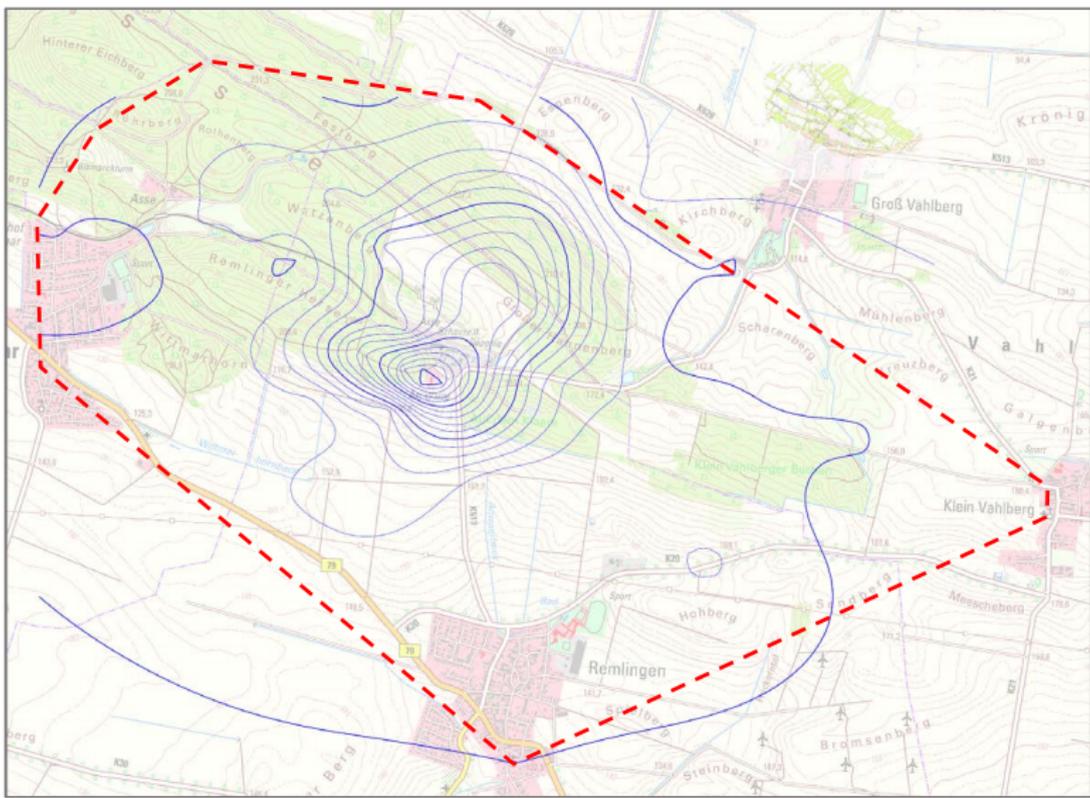
Höhenmessungen über Tage – Senkungsgeschwindigkeiten Einzelpunkte



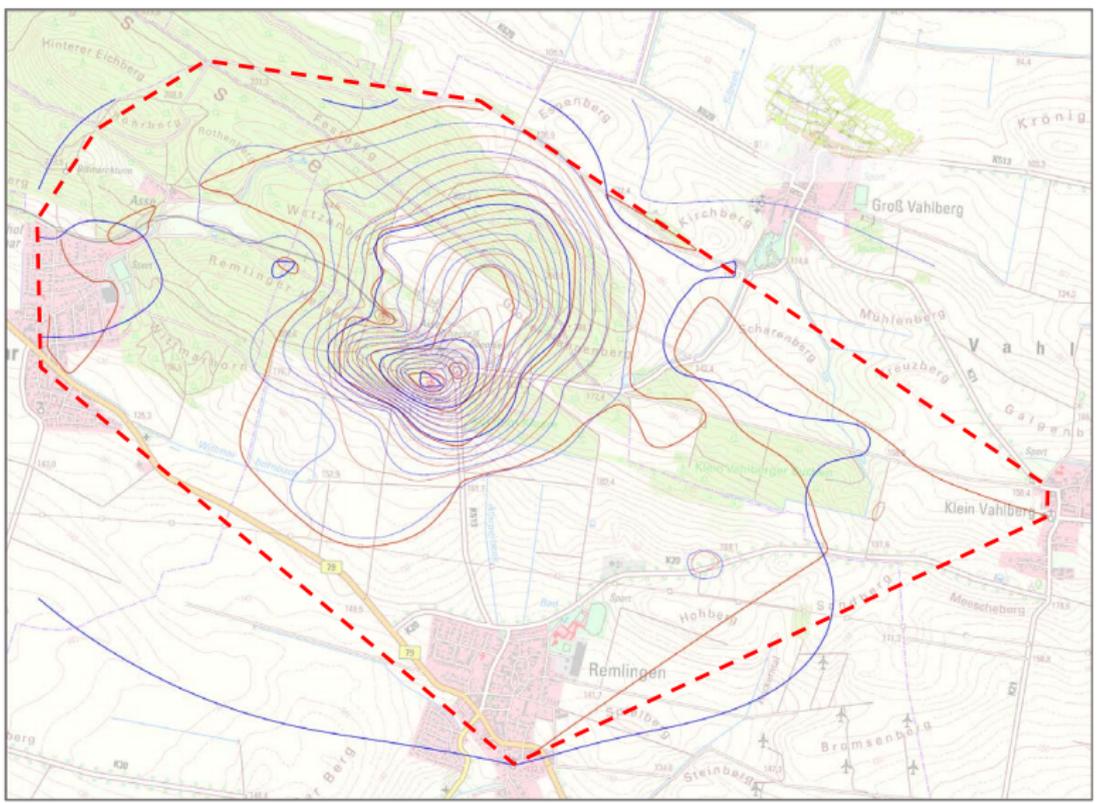
Höhenmessungen über Tage – Isokatabasen 1999 bis 2018



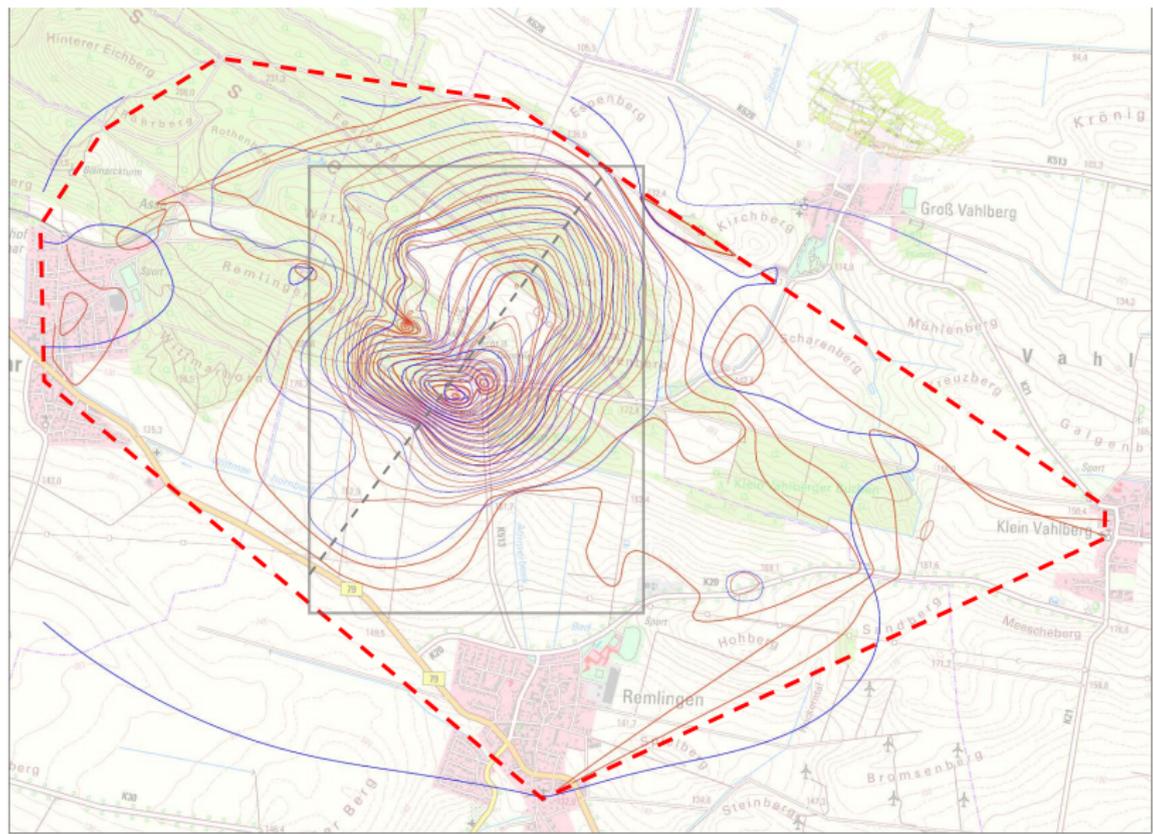
Höhenmessungen über Tage – Isokatabasen 1999 bis 2018/2019



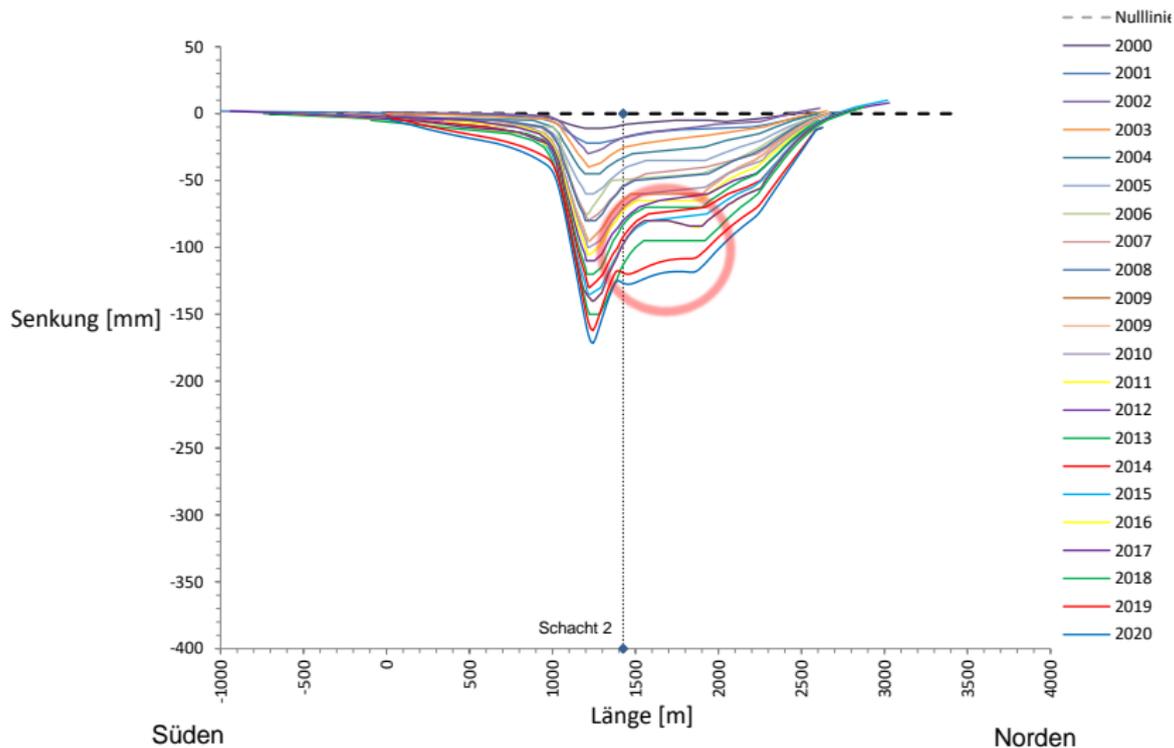
Höhenmessungen über Tage – Isokatabasen1999 bis 2019/2020



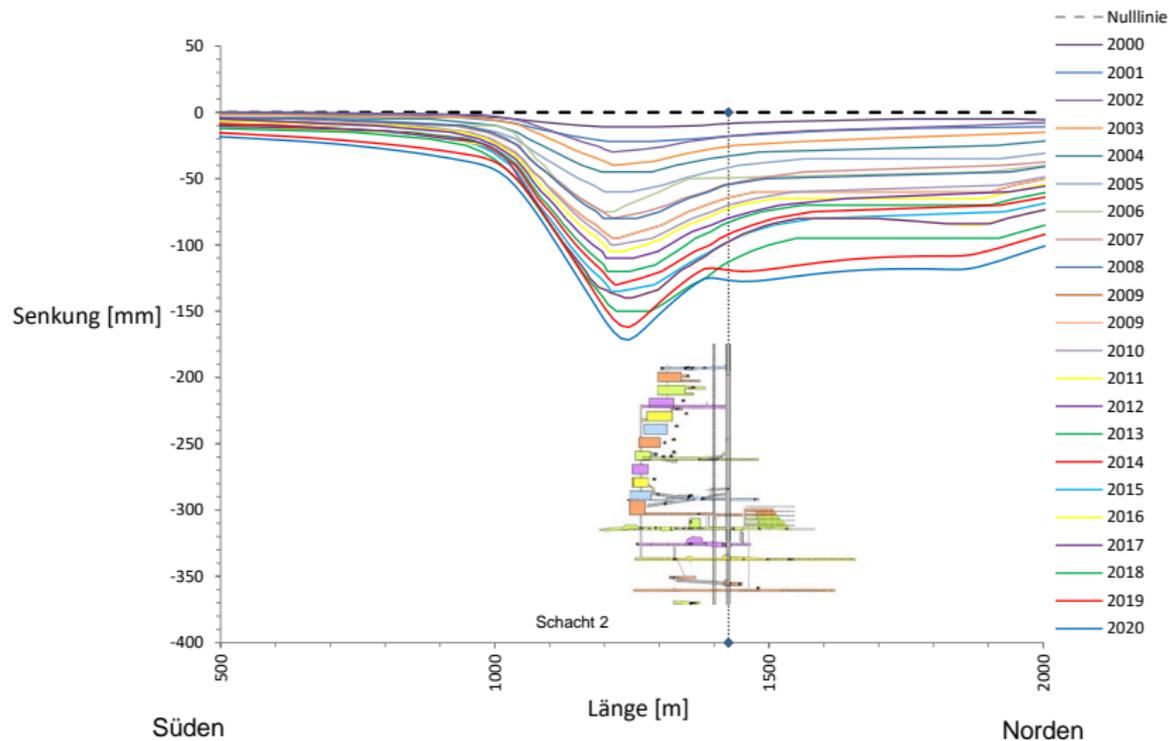
Höhenmessungen über Tage – Isokatabasen1999 bis 2019/2020



Höhenmessungen über Tage – Schnitt, 1999 bis 2020



Höhenmessungen über Tage – Schnitt, 1999 bis 2020



Übersicht

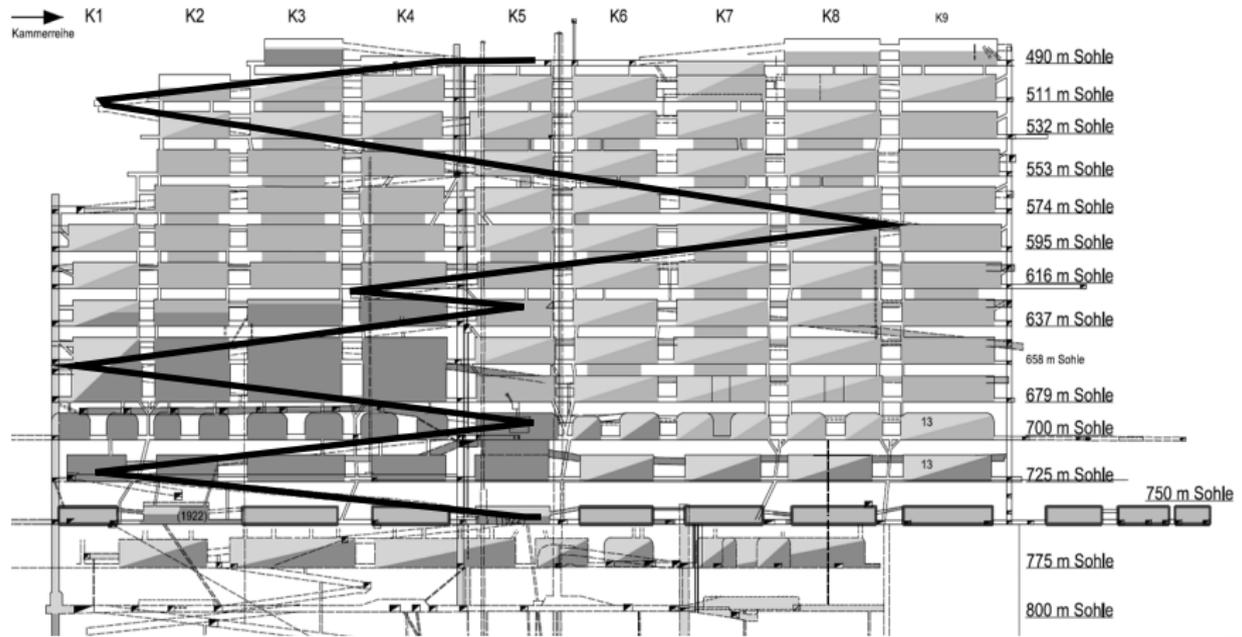
- 3 Lage- und Höhenmessungen
 - Lagemessungen über Tage
 - Höhenmessungen über Tage
 - Lagemessungen unter Tage
 - Höhenmessungen unter Tage
 - Inklinometermessungen
 - Fazit



Lagemessungen unter Tage

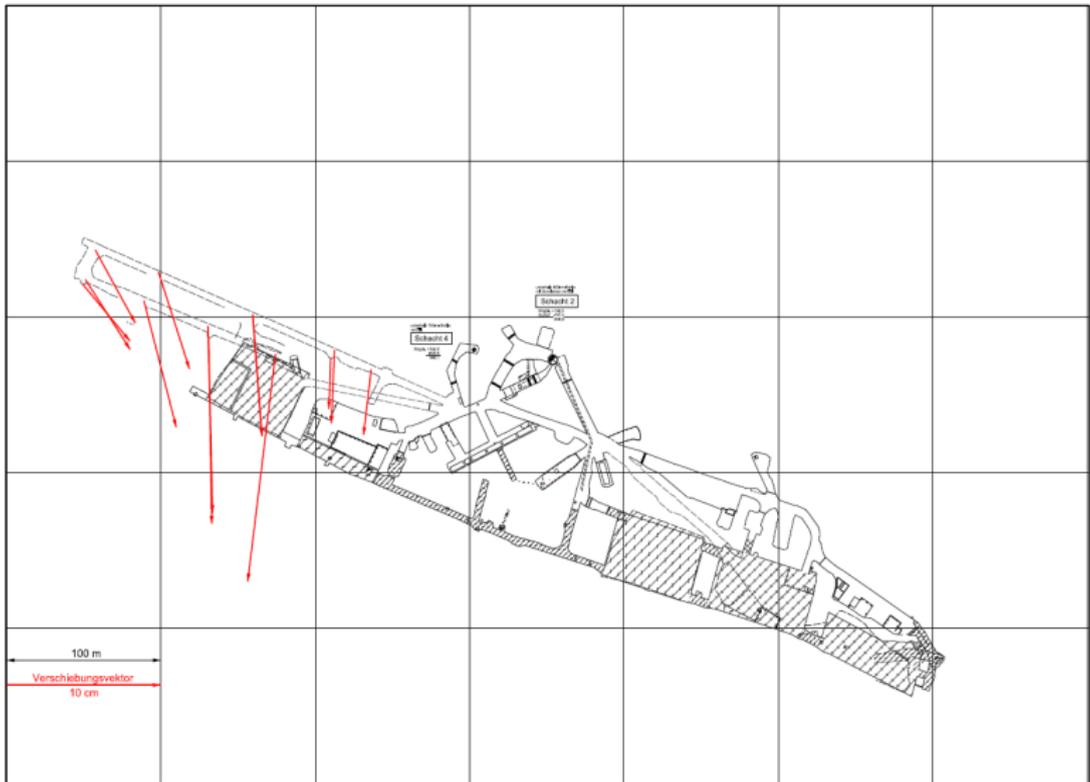
Westen

Osten



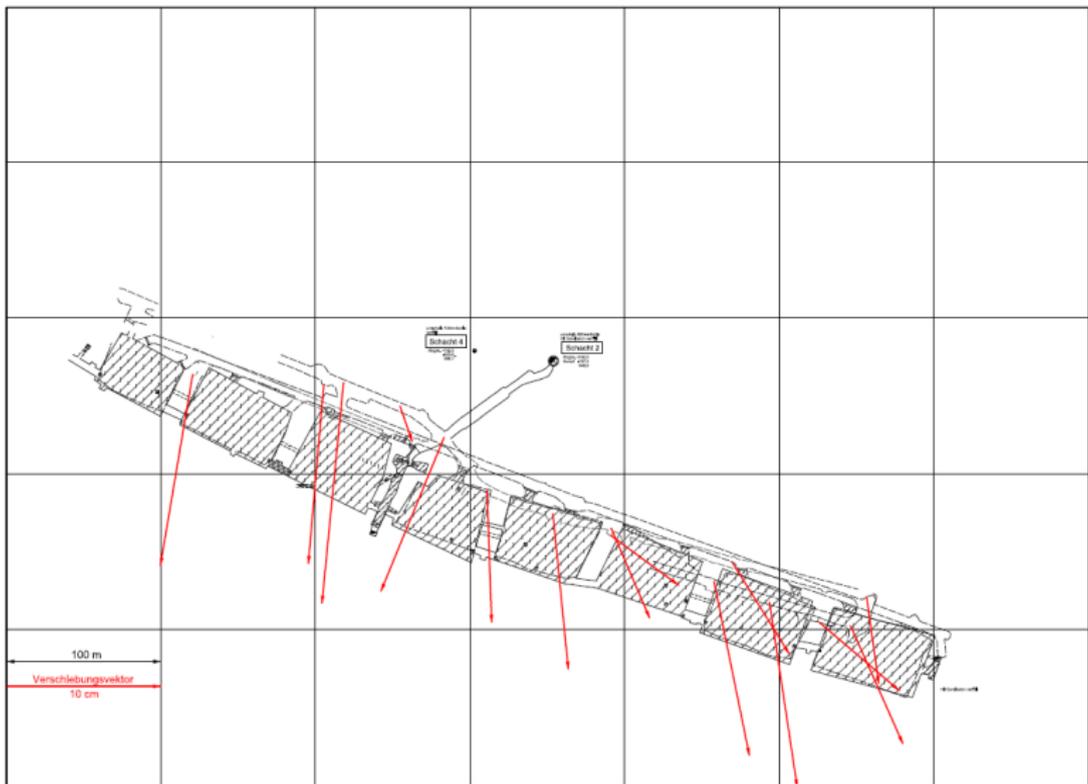
Lagemessungen unter Tage – Wendelstrecke 490/511/532

Verschiebungen 2009 bis 2020



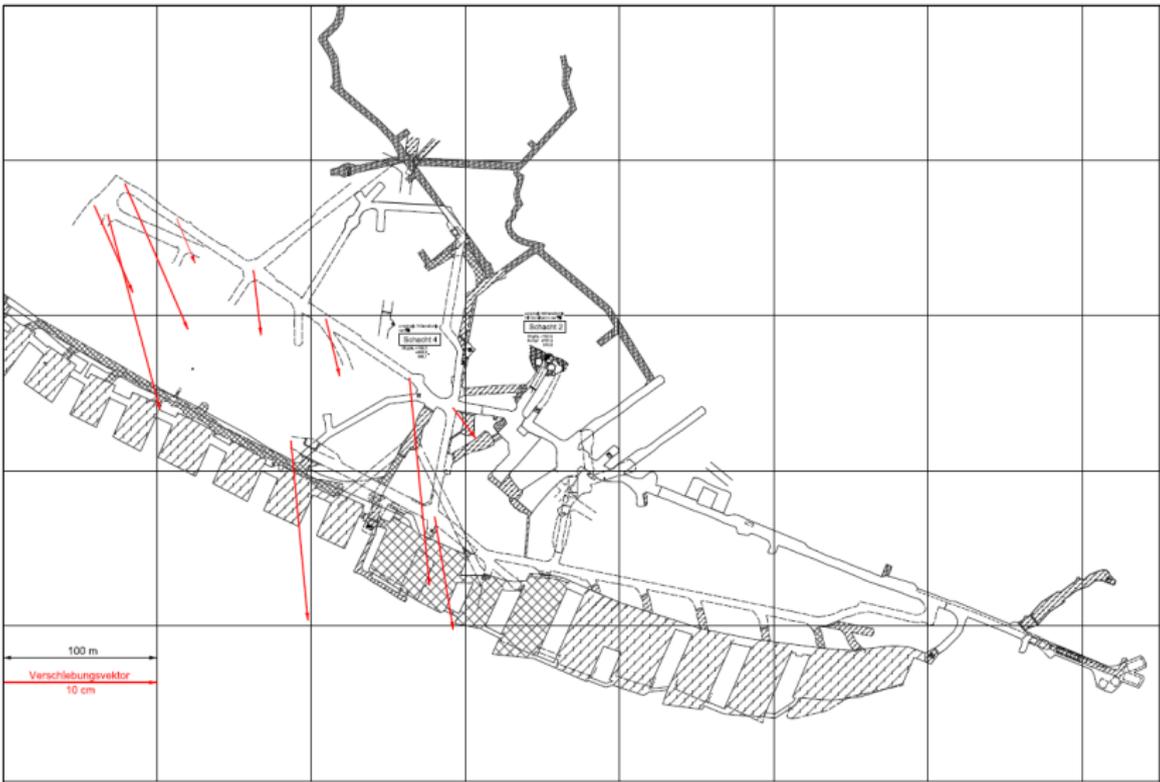
Lagemessungen unter Tage – Wendelstrecke 553/574/595

Verschiebungen 2009 bis 2020



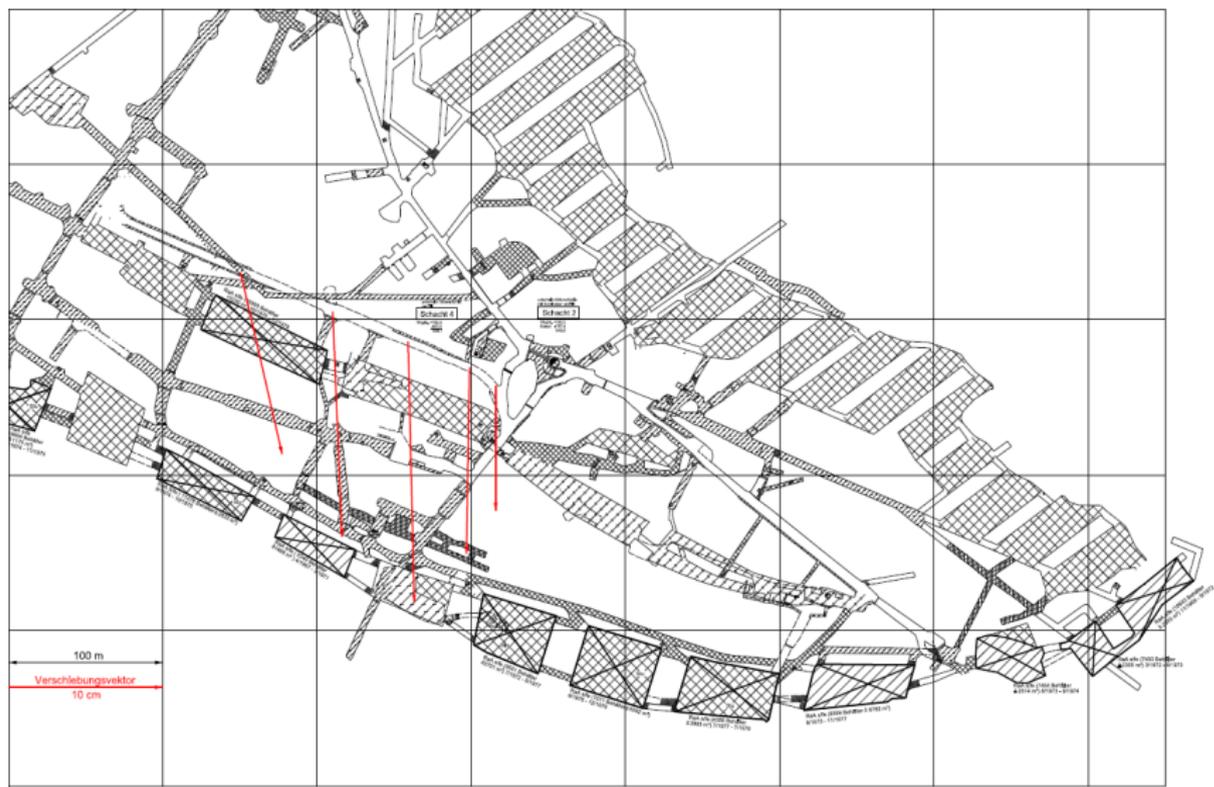
Lagemessungen unter Tage – Wendelstrecke 700/725

Verschiebungen 2009 bis 2020



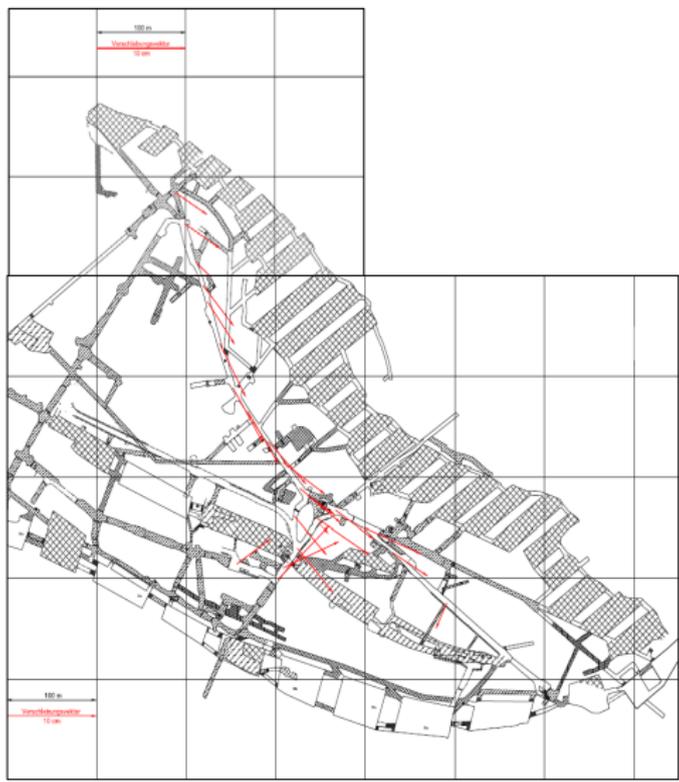
Lagemessungen unter Tage – Wendelstrecke 750

Verschiebungen 2009 bis 2020



Lagemessungen unter Tage – 750-m-Sohle

Verschiebungen 2009 bis 2020



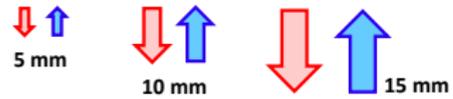
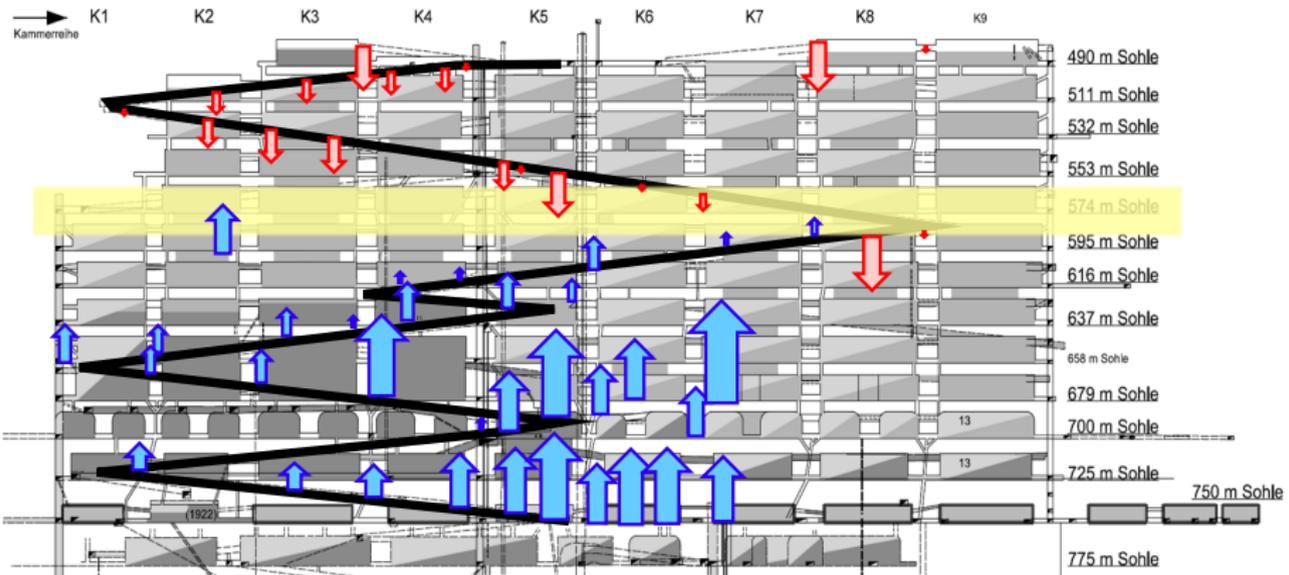
Übersicht

- 3 Lage- und Höhenmessungen
 - Lagemessungen über Tage
 - Höhenmessungen über Tage
 - Lagemessungen unter Tage
 - Höhenmessungen unter Tage
 - Inklinometermessungen
 - Fazit

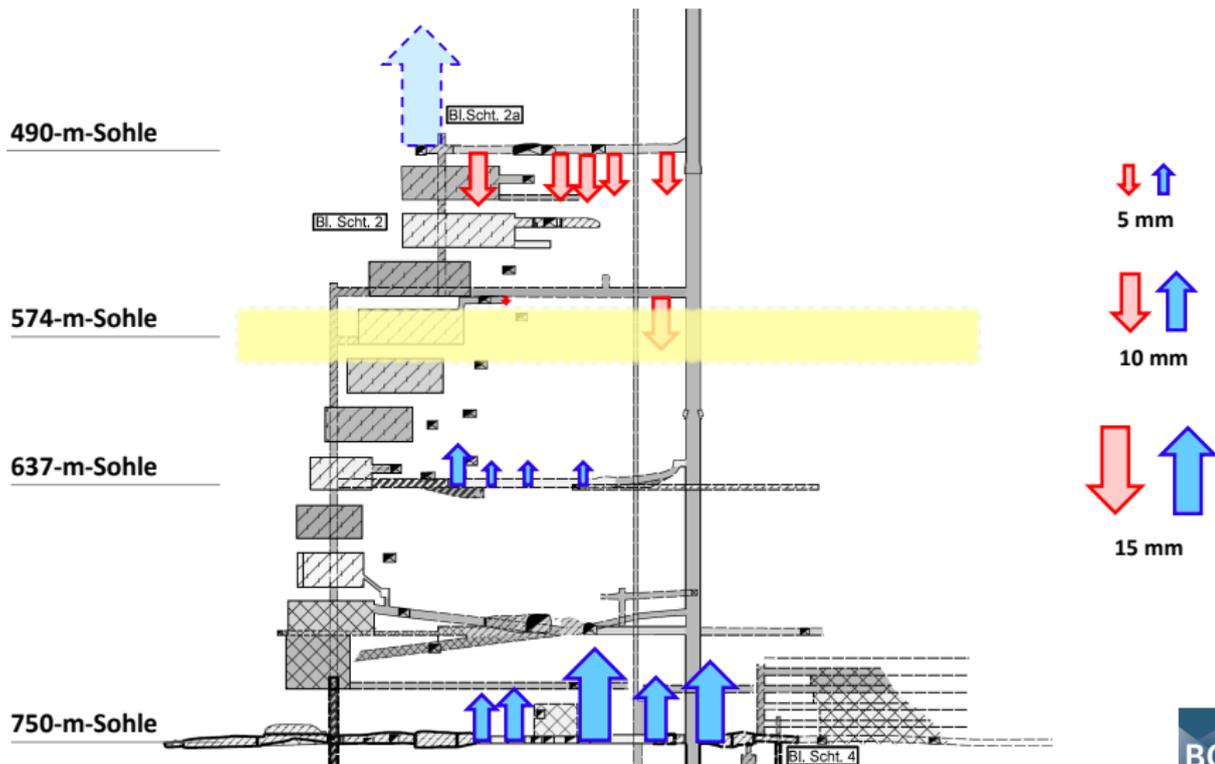
Höhenmessung unter Tage - Südflanke, Änderungen 2019/2020

Westen

Osten



Höhenmessung unter Tage - Südflanke, Änderungen 2019/2020



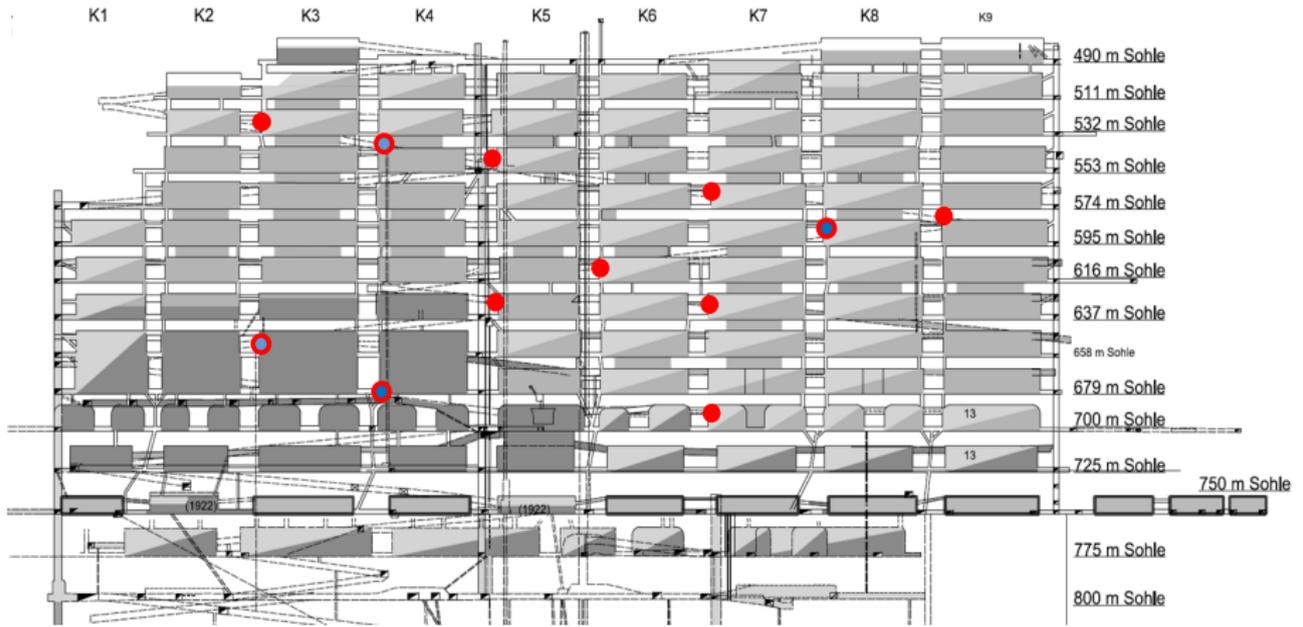
Übersicht

- 3 Lage- und Höhenmessungen
 - Lagemessungen über Tage
 - Höhenmessungen über Tage
 - Lagemessungen unter Tage
 - Höhenmessungen unter Tage
 - **Inklinometermessungen**
 - Fazit

Höhenmessung unter Tage - Südflanke, Änderungen 2019/2020

Westen

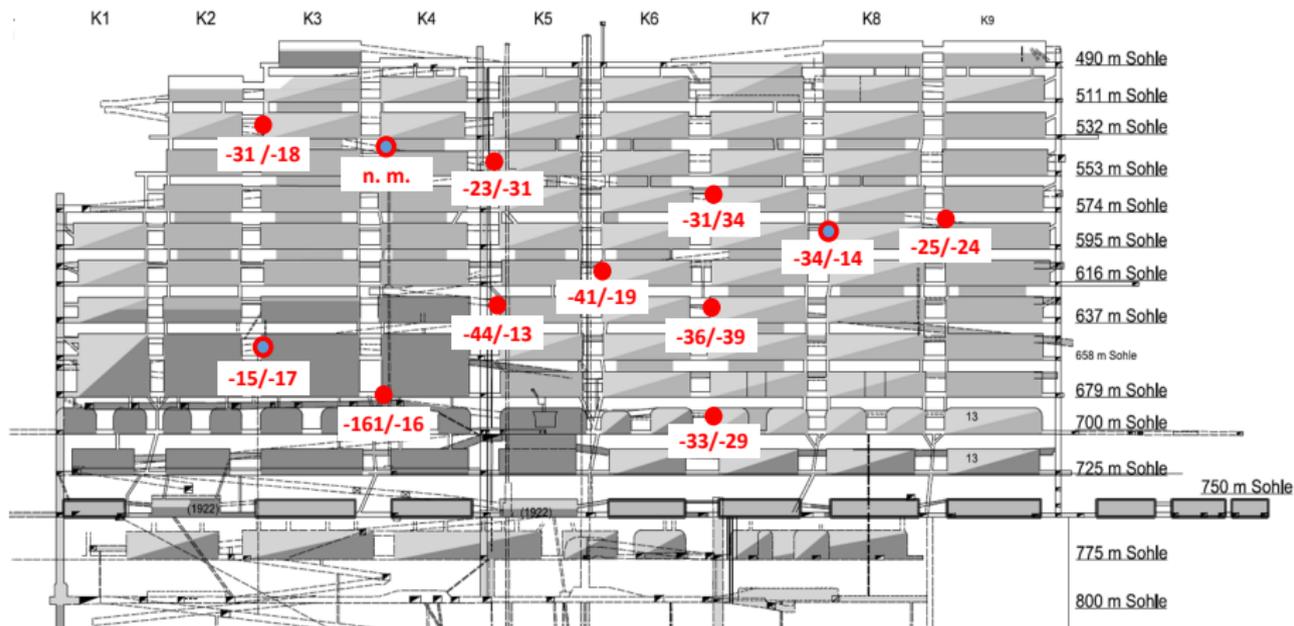
Osten



Höhenmessung unter Tage - Südflanke, Änderungen 2019/2020

Westen

Osten



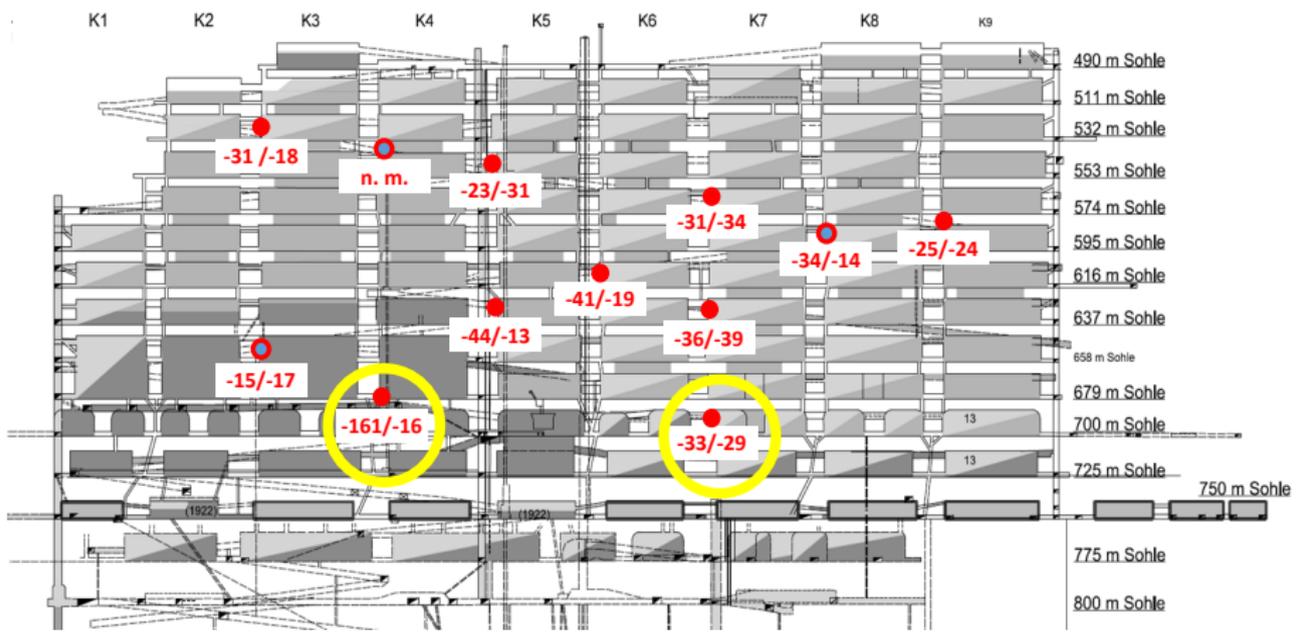
-31 /-18 Bewegungsrate im mm/a, Vorjahr/aktueller Berichtszeitraum



Höhenmessung unter Tage - Südflanke, Änderungen 2019/2020

Westen

Osten

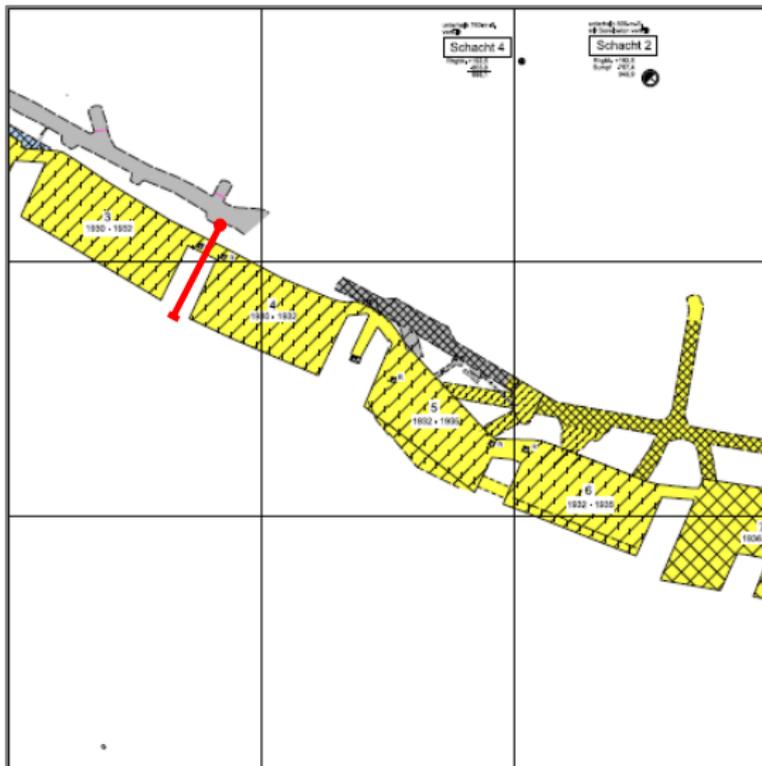


-31 /-18 Bewegungsrate im mm/a, Vorjahr/aktueller Berichtszeitraum



Inklinometermessungen – Pfeiler 3/4, 679-m-Sohle

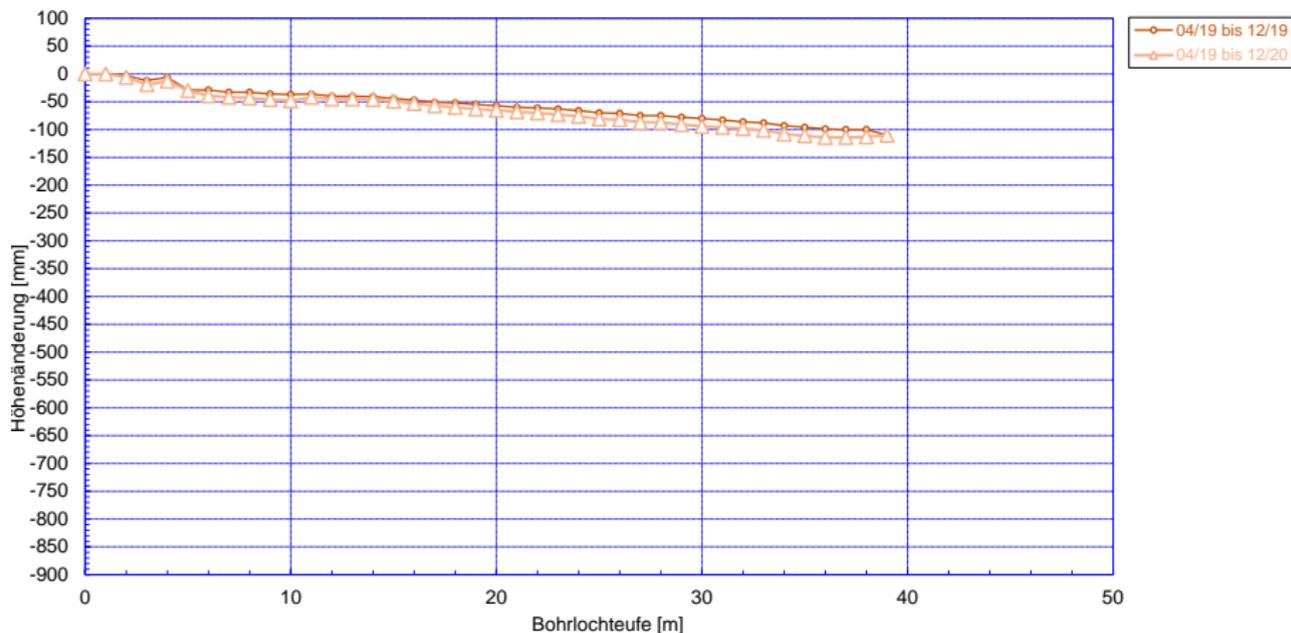
Lage der Inklinometer-Bohrung 679006



- Bohrteufe 40 m
- Durchmesser 86 mm
- erstellt 2019
- Nur noch bis 4 m Bohrteufe mit Kamera befahrbar
- Salzlösungskataster: P679005

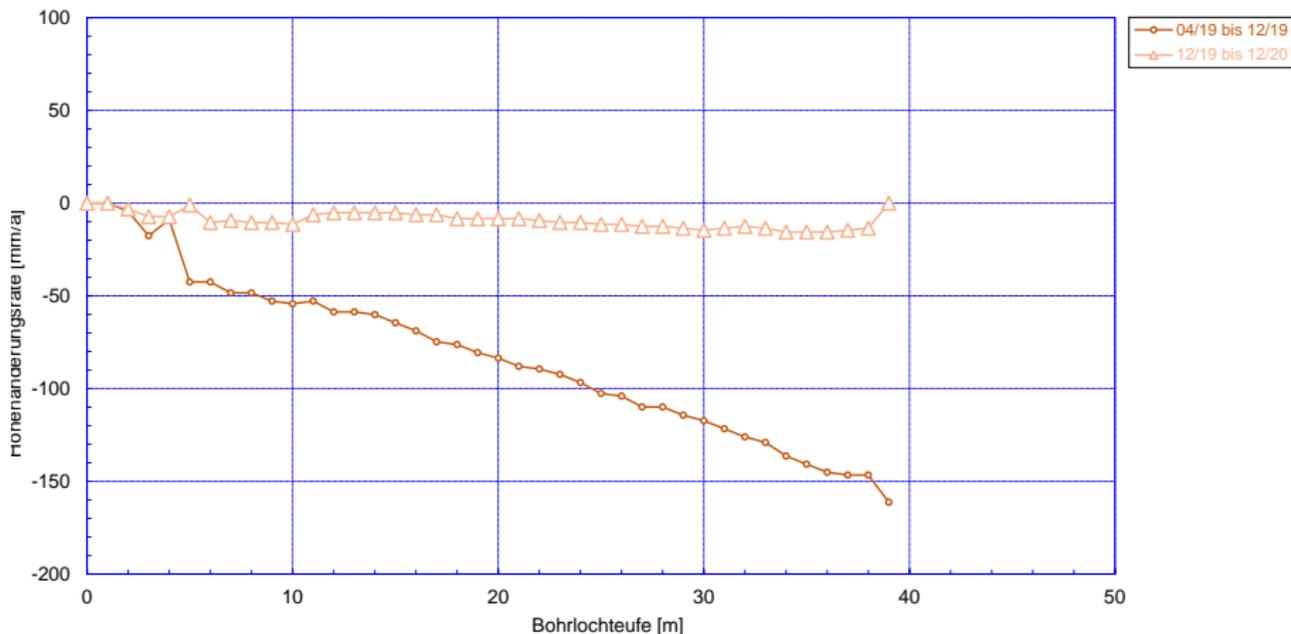
Inklinometermessungen – Pfeiler 3/4 679-m-Sohle

Höhenänderungen – Inklinometer-Bohrung 679006



Inklinometermessungen – Pfeiler 3/4 679-m-Sohle

Höhenänderungsrate – Inklinometer-Bohrung 679006



Inklinometermessungen – Pfeiler 3/4 679-m-Sohle

Bohrlochinspektion in der Inklinometer-Bohrung 679006



0,0 m - 4,0 m teilweise auf 70 mm konvergiert
0,00 m - 4,00 m feucht / nass *
0,8 m - 1,8 m Lauge nicht mehr vorhanden
Ausbruch in der Firste bei 1,5 m, neu *
Ausbruch in der Firste bei 2,9 m *



Inklinometermessungen – Pfeiler 3/4 679-m-Sohle

Bohrlochinspektion in der Inklinometer-Bohrung 679006



0,0 m - 4,0 m
teilweise auf 70 mm
konvergiert

0,00 m - 4,00 m
feucht / nass *

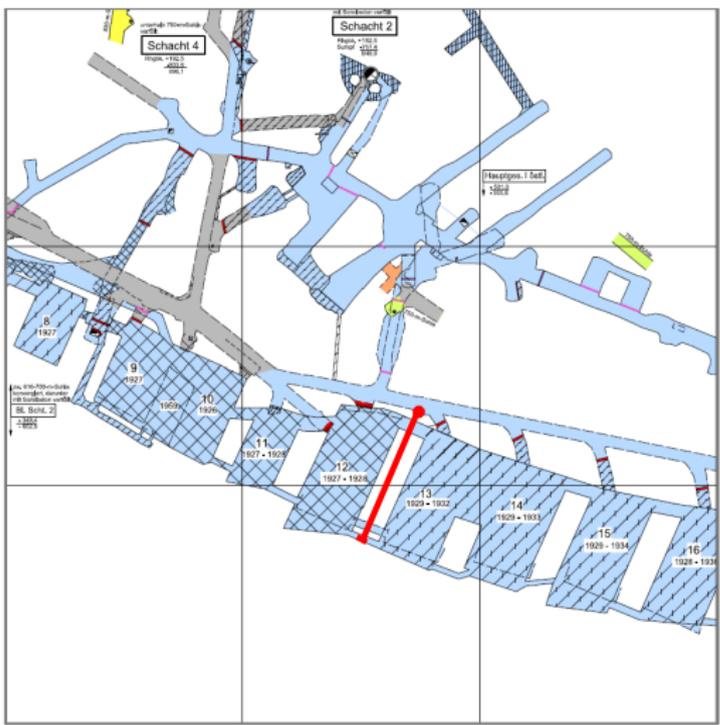
0,8 m - 1,8 m Lauge
nicht mehr
vorhanden

Ausbruch in der
Friste bei 1,5 m,
neu *

Ausbruch in der
Friste bei 2,9 m *

Inklinometermessungen – Pfeiler 12/13, 700-m-Sohle

Lage der Inklinometer-Bohrung 700005

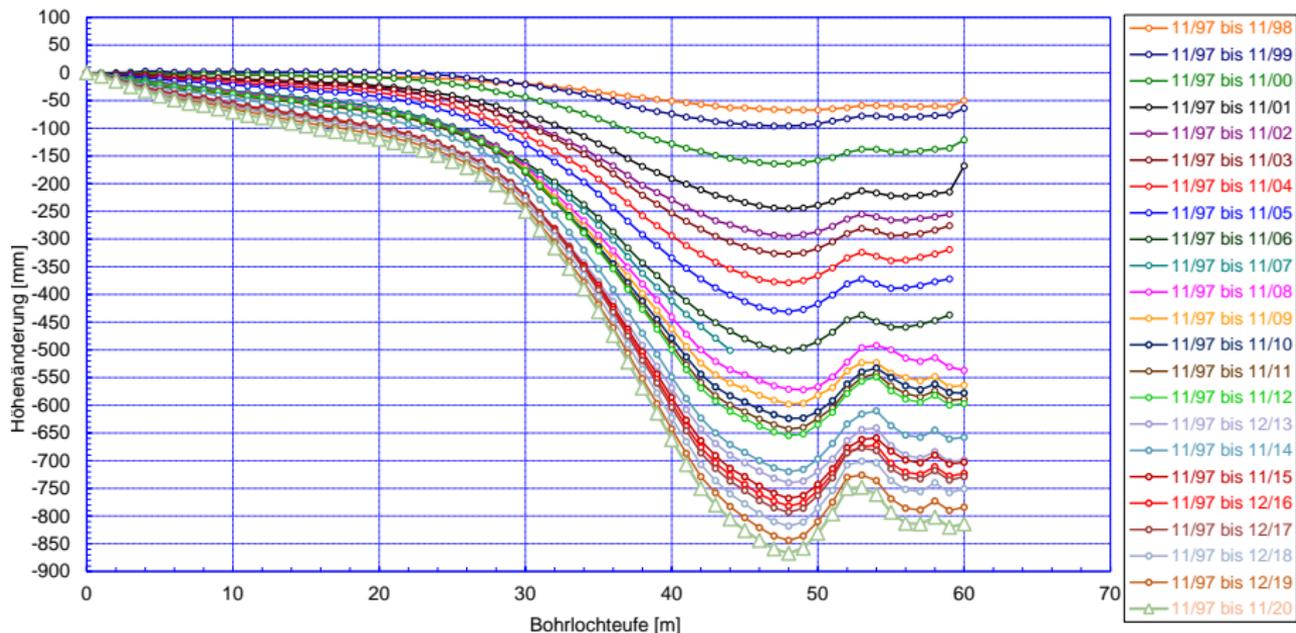


- Bohrteufe 60 m
- Durchmesser 86 mm
- erstellt 1997
- 2008 aufgeweitet und vertieft auf 62,5 m



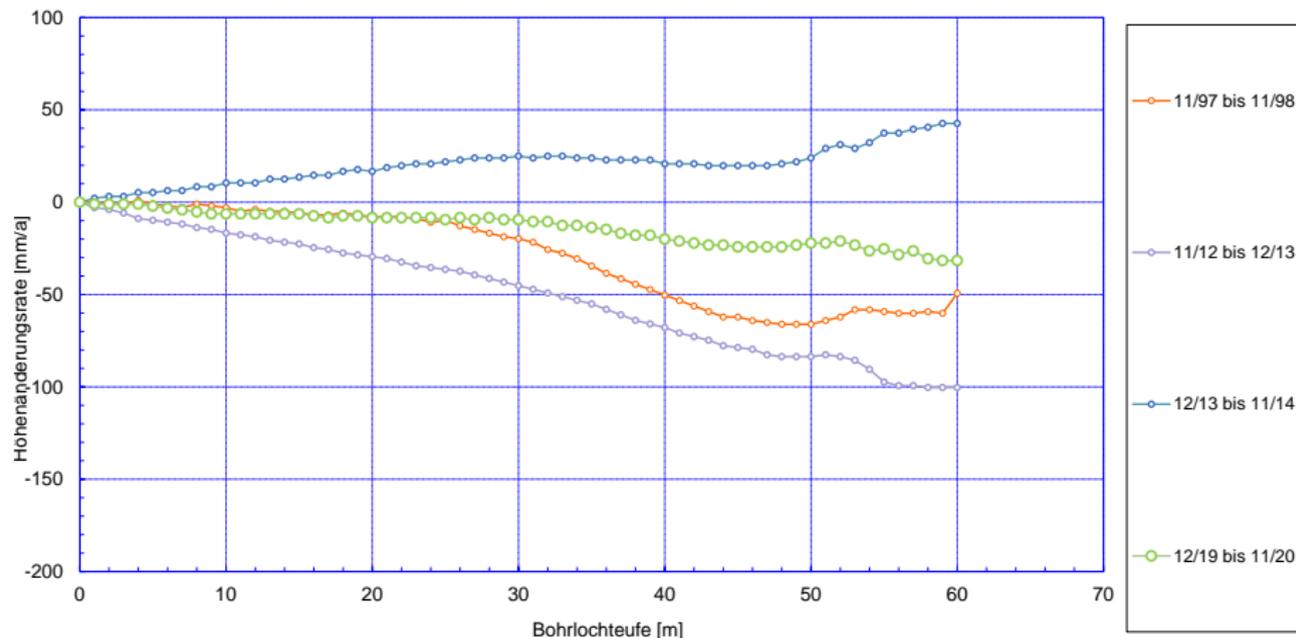
Inklinometermessungen – Pfeiler 12/13, 700-m-Sohle

Höhenänderungen – Inklinometer-Bohrung 700005



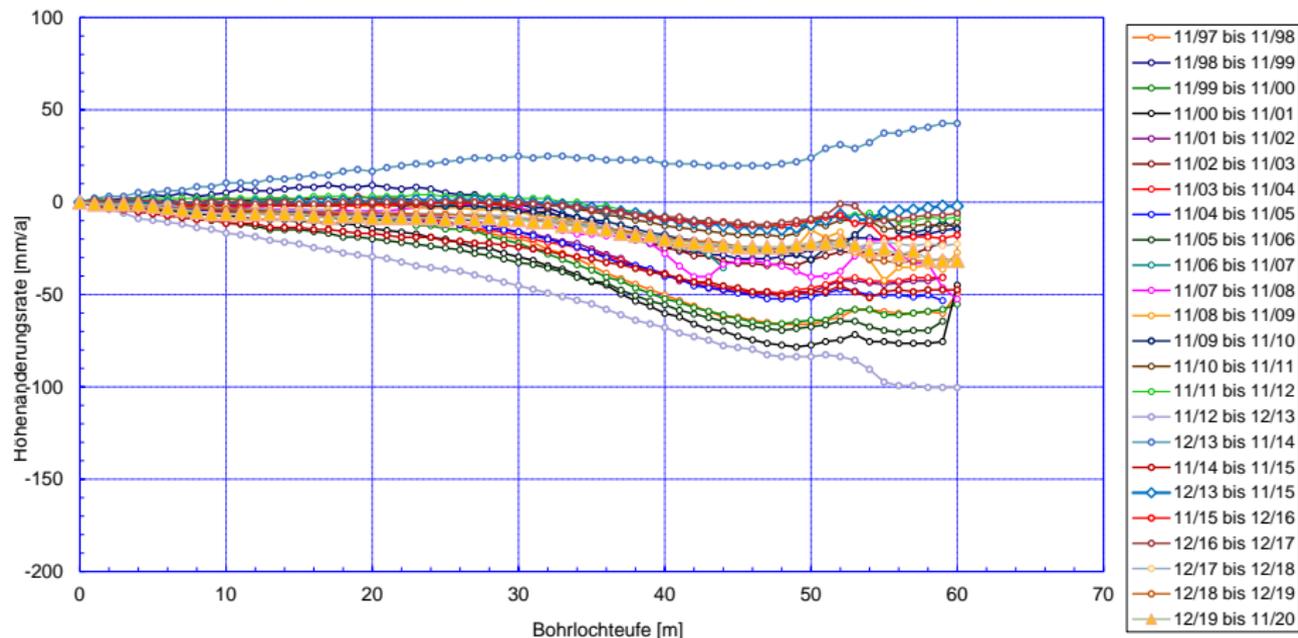
Inklinometermessungen – Pfeiler 12/13, 700-m-Sohle

Höhenänderungsraten – Inklinometer-Bohrung 700005



Inklinometermessungen – Pfeiler 12/13, 700-m-Sohle

Höhenänderungsraten – Inklinometer-Bohrung 700005



Inklinometermessungen – Pfeiler 12/13, 700-m-Sohle

Bohrlochinspektion in der Inklinometer-Bohrung 700005



29,8 m - 30,2 m Riss
westl. Stoß *

31,2 m - 35,0 m
Ausbrüche westl.
Bohrlochwand **

36,6 m konvergiert
< 70 mm

38,3 m - 38,9 m
Ausbruch **

39,8 m Risse in der
Firste nicht sichtbar

43,2 m - 51,8 m
Ausbrüche
Bohrlochwand /
Firste **

49,8 m und 51,3 m
leichter Absatz in der
Sohle **

51,4 m - 56,5 m
elliptisch *

61,67 m
Bohrlochende *

Inklinometermessungen – Pfeiler 12/13, 700-m-Sohle

Bohrlochinspektion in der Inklinometer-Bohrung 700005



29,8 m -30,2 m Riss westl. Stoß *
31,2 m - 35,0 m Ausbrüche westl. Bohrlochwand **
36,6 m konvergiert < 70 mm
38,3 m - 38,9 m Ausbruch **
39,8 m Risse in der Firste nicht sichtbar
43,2 m - 51,8 m Ausbrüche Bohrlochwand / Firste **
49,8 m und 51,3 m leichter Absatz in der Sohle **
51,4 m - 56,5 m elliptisch *
61,67 m Bohrlochende *

Inklinometermessungen – Pfeiler 12/13, 700-m-Sohle

Bohrlochinspektion in der Inklinometer-Bohrung 700005



29,8 m -30,2 m Riss westl. Stoß *
31,2 m - 35,0 m Ausbrüche westl. Bohrlochwand **
36,6 m konvergiert < 70 mm
38,3 m - 38,9 m Ausbruch **
39,8 m Risse in der Firte nicht sichtbar
43,2 m - 51,8 m Ausbrüche Bohrlochwand / Firte **
49,8 m und 51,3 m leichter Absatz in der Sohle **
51,4 m - 56,5 m elliptisch *
61,67 m Bohrlochende *



Übersicht

- 3 Lage- und Höhenmessungen
 - Lagemessungen über Tage
 - Höhenmessungen über Tage
 - Lagemessungen unter Tage
 - Höhenmessungen unter Tage
 - Inklinometermessungen
 - Fazit

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- Trend der bisherigen Bewegungen bestätigt
- Erweiterung des Beobachtungsnetzes für die Höhenmessungen im Norden
- Einfluss der Baufelder auf die übertägigen Bewegungen deutlich
- Senkungen unterhalb bzw. Hebungen oberhalb der 574-m-Sohle
- Bohrungen in den Pfeilern weiterhin stark beansprucht

Ausblick

- Einbindung relative Messstellen in absolute Messungen?

Übersicht Teil I

- 1 Einleitung
- 2 Beanspruchung des Tragsystems
- 3 Lage- und Höhenmessungen
- 4 Verformungsmessungen im Tragsystem**
- 5 Ableitung des Verschiebungsvektors
- 6 Mikroseismische Überwachung
- 7 Lokale Monitoringprogramme

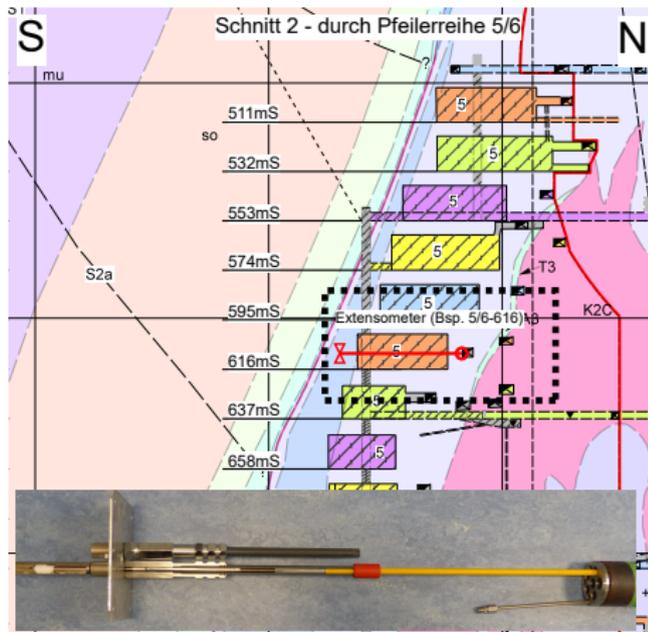
Übersicht

- 4 Verformungsmessungen im Tragsystem
 - Extensometermessungen
 - Konvergenzmessungen

Extensometermessungen

Messprinzip der querschlägigen Pfeilerstauchungsmessungen

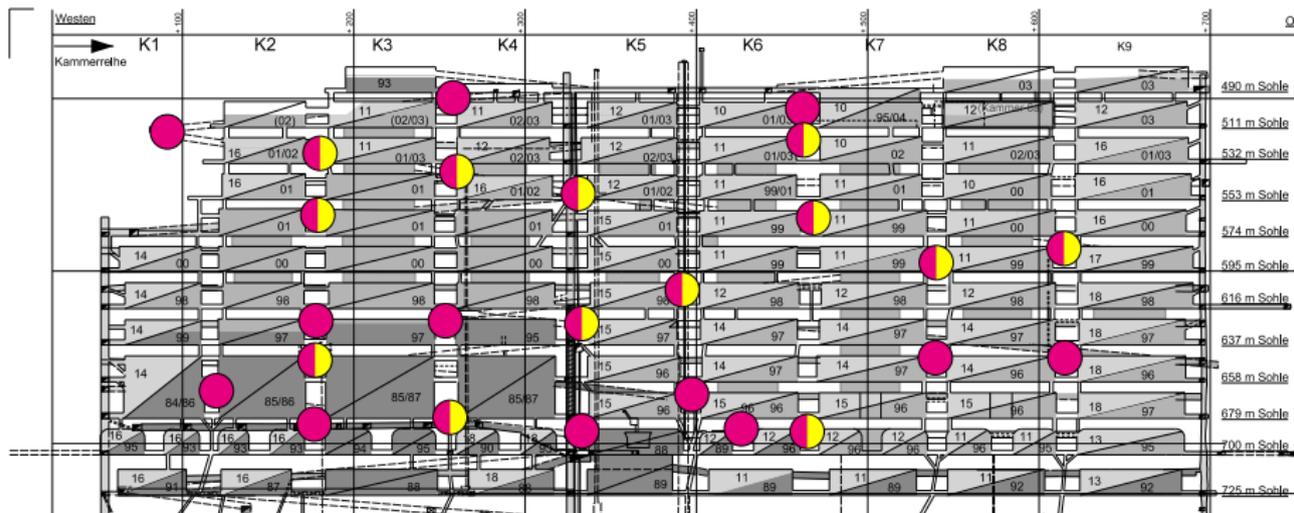
- Bewertung der gebirgsmechanischen Interaktion zwischen Deckgebirge und Abbaukante auf die Tragelemente des Grubengebäudes
- Instrumentierung von Extensometern in den Pfeilern der Südflanke in Bohrungen in horizontal-querschlägiger Richtung (Beginn der Messungen 1981)
- Messung der Relativverschiebungen [mm] entlang der Bohrlochachse, Ableitung der horizontalen Pfeilerstauchungsrate [mm/a] in ca. Nord-Süd-Richtung (querschlägig)



Extensometermessungen

Lage der Extensometer Messsysteme in der Südflanke im Jahr 2020

25 aktive querschlägige Extensometer



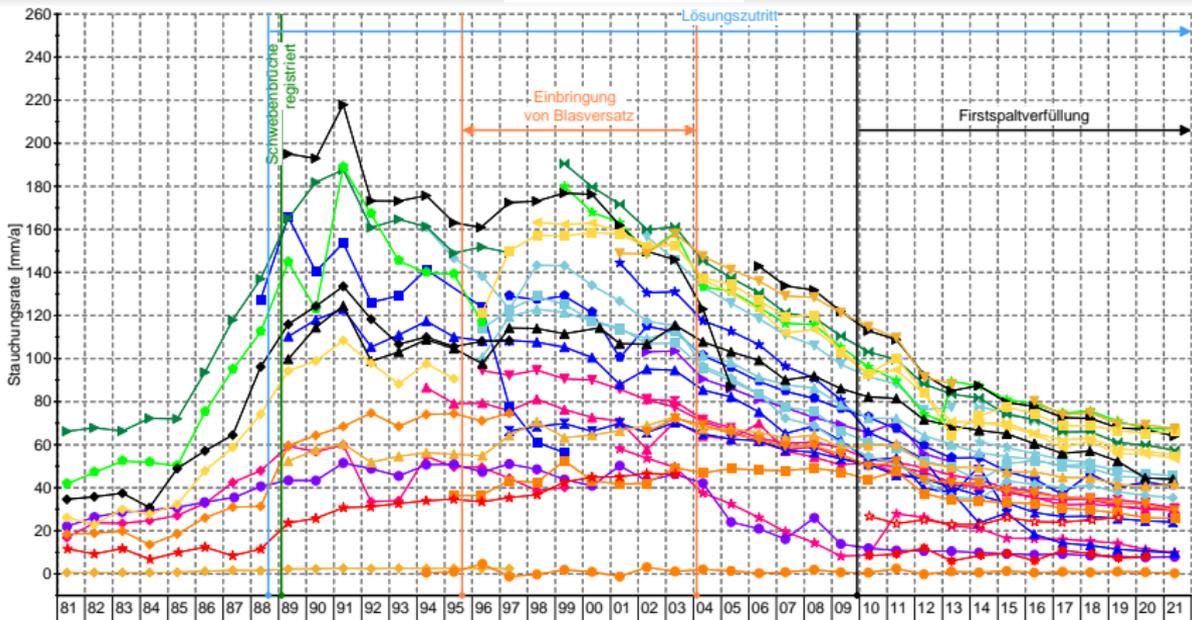
● Extensometermessstellen

● Extensometer- und Inclinometermessstellen



Extensometermessungen

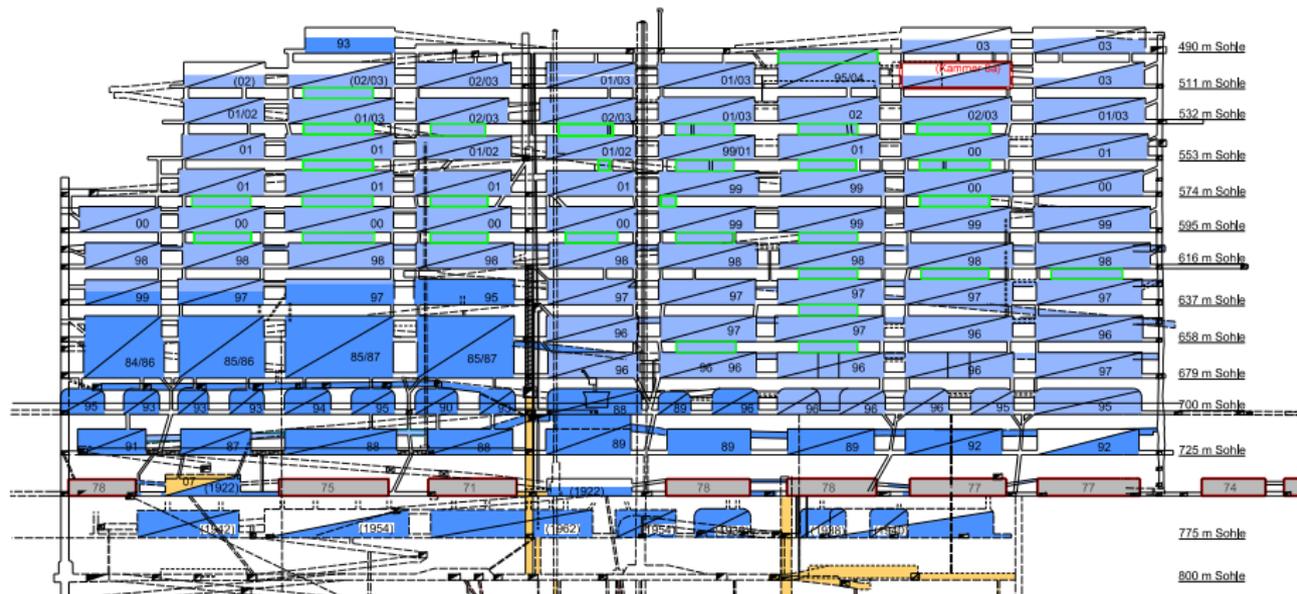
Zeitreihen der querschlägigen Pfeilerstauchungsraten, Jahresscheiben 05/1981 bis 05/2021 in [mm/a]



- ▲ 490/8-8 [K 8/490]
 - ▲ 4909-49010 [K 8/490]
 - ▲ 511/3-4 Brg. 511001 [E]
 - ▲ 511/4-5 [E]
 - ▲ 511/6-7 Brg. 511002 [E]
 - ▲ 511/5/32 Brg. Btl. 119/532 [E]
 - ▲ 532/2-3 Brg. 532013 [E]
 - ▲ 532/4-5 [E]
 - ▲ 532/6-7 Brg. 532016 [E]
 - ▲ 553/3-4 Brg. 553008A [E]
 - ▲ 553/4-5 Brg. 553011 [E]
 - ▲ 553/4-5 Brg. 553013 [E]
 - ▲ 574/2-3 Brg. 574003 [E]
 - ▲ 574/4-5 [E]
 - ▲ 574/6-7 Brg. 574004 [E]
 - ▲ 595/7-8 Brg. 595001 [E]
 - ▲ 595/7-8 Brg. 595005 [E]
 - ▲ 616/5-6 Brg. 616002 [E]
 - ▲ 616/5-6 Brg. 616004 [E]
 - ▲ 637/2-3 Brg. 637004 [E]
 - ▲ 637/3-4 Brg. 637005 [E]
 - ▲ 637/4-5 Brg. 637003 [E]
 - ▲ 637/4-5 Brg. 637008 [E]
 - ▲ 637/6-7 Brg. 637007 [E]
 - ▲ 637/6-7 Brg. 637012 [E]
 - ▲ 658/3-4 Brg. 658004 [E]
 - ▲ 658/3-4 Brg. 658010 [E]
 - ▲ 658/7-8 Brg. 658008 [E]
 - ▲ 658/8-9 Brg. 658009 [E]
 - ▲ 679/1-2 Brg. 679003 [E]
 - ▲ 679/3-4 Brg. 679005 [E]
 - ▲ 679/5-6 Brg. 679004 [E]
 - ▲ 700/4-5(8-9/10) Brg. 700003 [E]
 - ▲ 700/2-3(4-5) Brg. 700002
 - ▲ 700/4-5(8-9/10) Brg. 700005 [E]
 - ▲ 700/6-7(12-13) Brg. 700004 [E]
- [E] = Extensometer querschlägig; [K] = Konvergenzmesstaste (horizontal)

Isolinien der querschlägigen Pfeilerstauchungsraten

Verfüllfortschritt mit Stand 01/2009



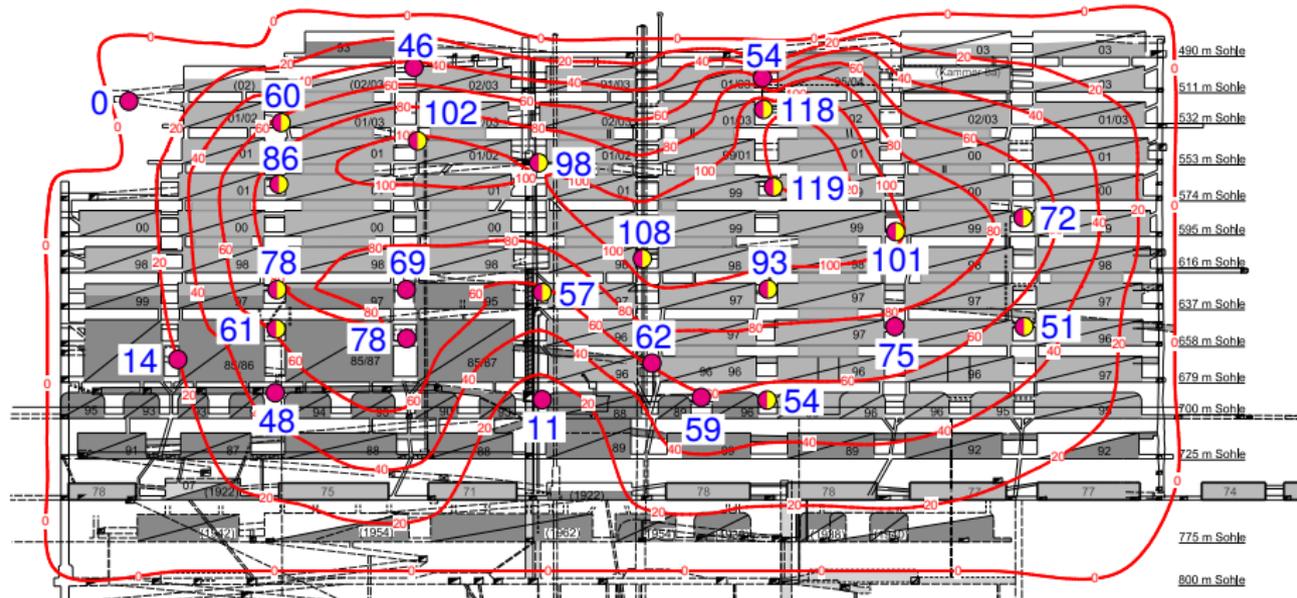
- Allversatz (Salzgrus)
- Pumpversatz (Sorebeton)
- Ronnenbergversatz (Blasversatz)
- Schwebendurchbruch

Schema
 12
 95
 Verfüllung Abbau
 Jahr 1995
 Erste Betoniert
 Jahr: 2012



Isolinien der querschlägigen Pfeilerstauchungsraten

Jahresraten über 365 Tage für den Zeitraum 08/2008 bis 08/2009 in [mm/a]



● Extensometer

● Extensometer- und Inclinometer

- Allversatz (Salzgrus)
- Pumpversatz (Sorebeton)
- Ronnenbergversatz (Blasversatz)
- Schwebenddurchbruch

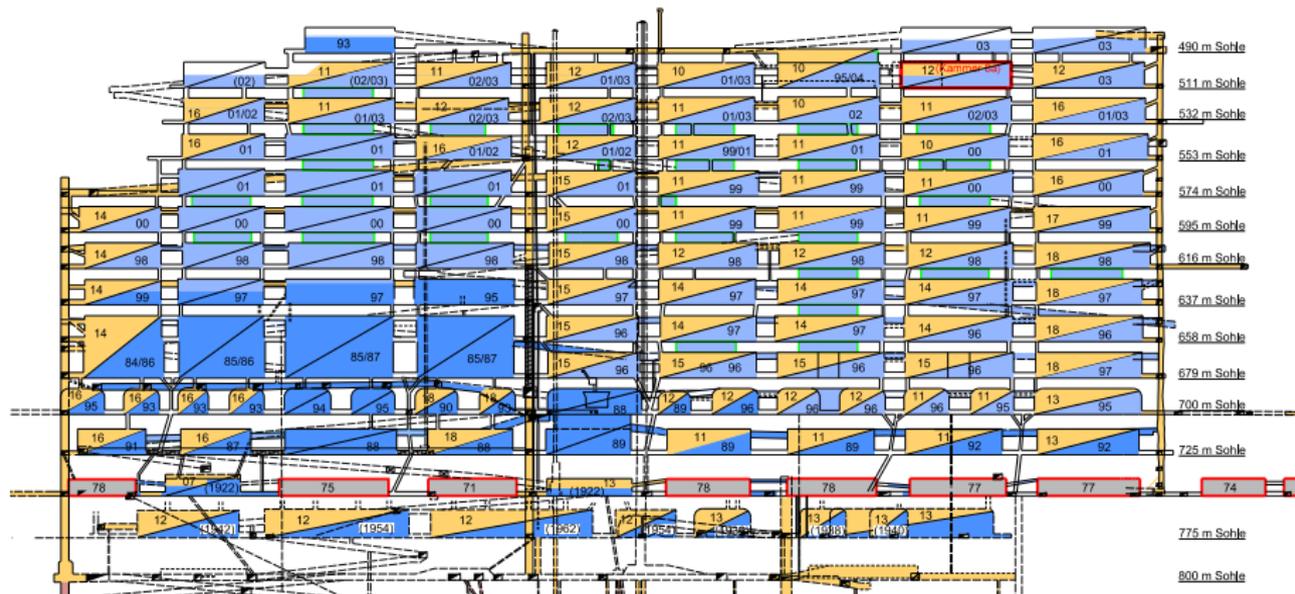
Schema
 12
 95
 Verfüllung Abbau
 Jahr 1995
 Fels betoniert
 Jahr: 2012

30 Stauchungsrate im aktuellen Zeitraum

— Isolinien im aktuellen Zeitraum

Isolinien der querschlägigen Pfeilerstauchungsraten

Verfüllfortschritt mit Stand 05/2021

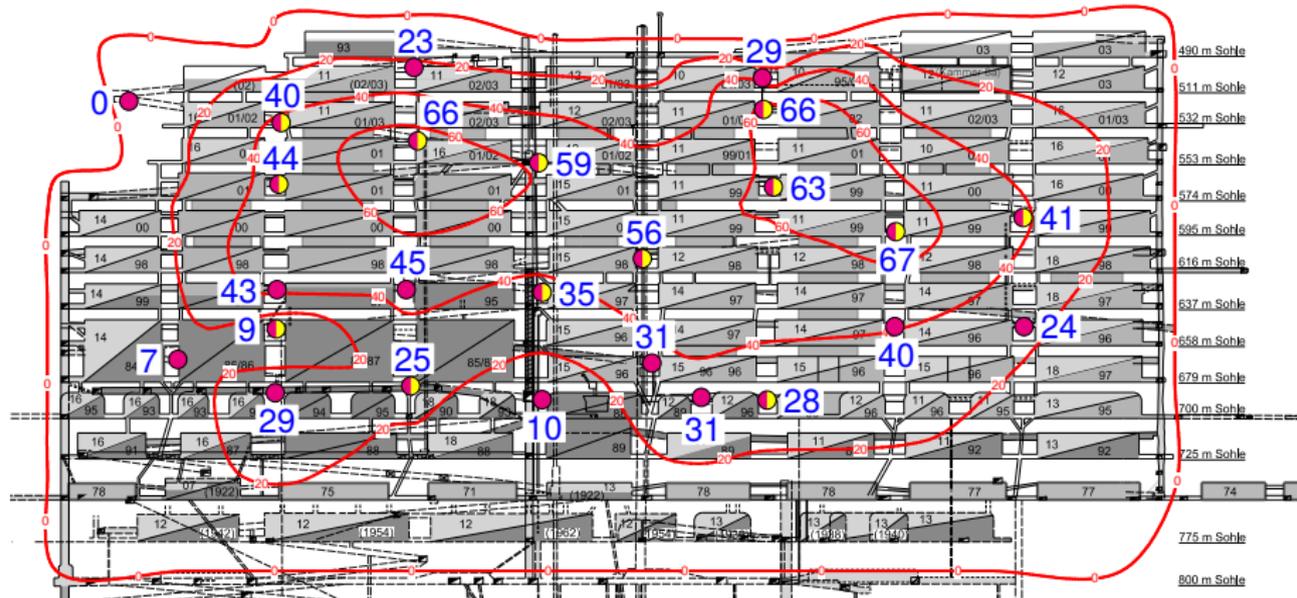


- Allversatz (Salzgrus)
- Pumpversatz (Sorebeton)
- Ronnenbergversatz (Blasversatz)
- Schwebendurchbruch

Schema
12 Verfüllung Abbau
95 Jahr 1995
 Erste betoniert
 Jahr: 2012

Isolinien der querschlägigen Pfeilerstauchungsraten

Jahresraten über 365 Tage für den Zeitraum 06/2020 bis 06/2021 in [mm/a]



● Extensometer

● Extensometer- und Inclinometer

- Allversatz (Salzgrus)
- Pumpversatz (Sorebeton)
- Ronnenbergversatz (Blasversatz)
- Schwebendurchbruch

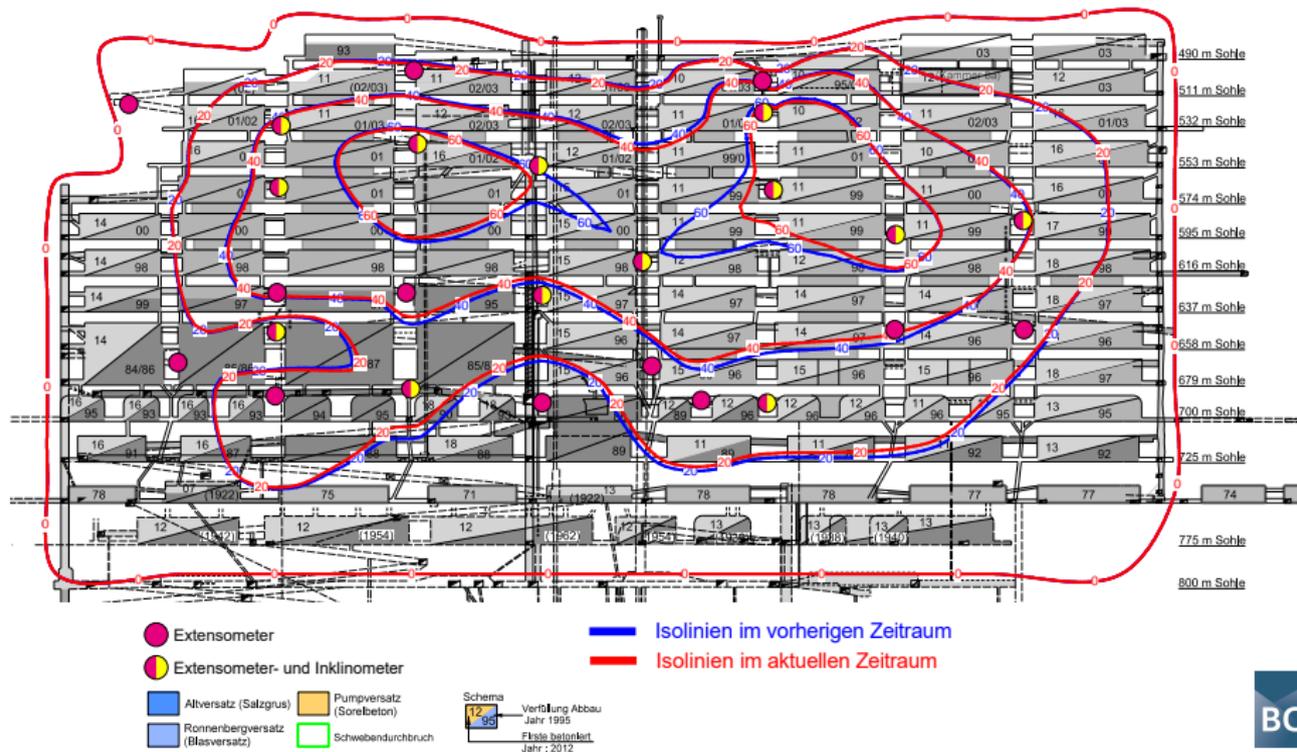
Schema
 12 Verfüllung Abbau
 95 Jahr 1995
 Fliese betoniert
 Jahr 2012

30 Stauchungsrate im aktuellen Zeitraum

— Isolinien im aktuellen Zeitraum

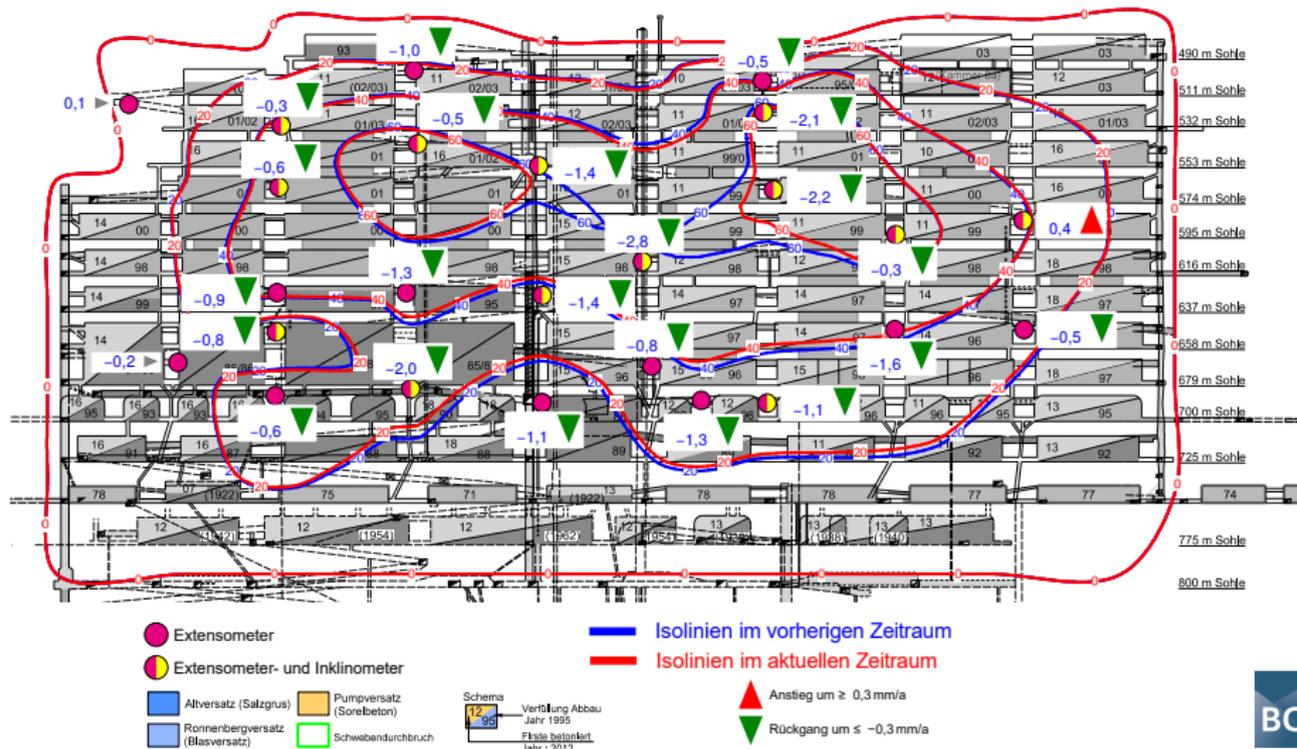
Isolinien der querschlägigen Pfeilerstauchungsraten

Vergleich der Isolinien für die Zeitpunkte 06/2020 und 06/2021 in [mm/a]



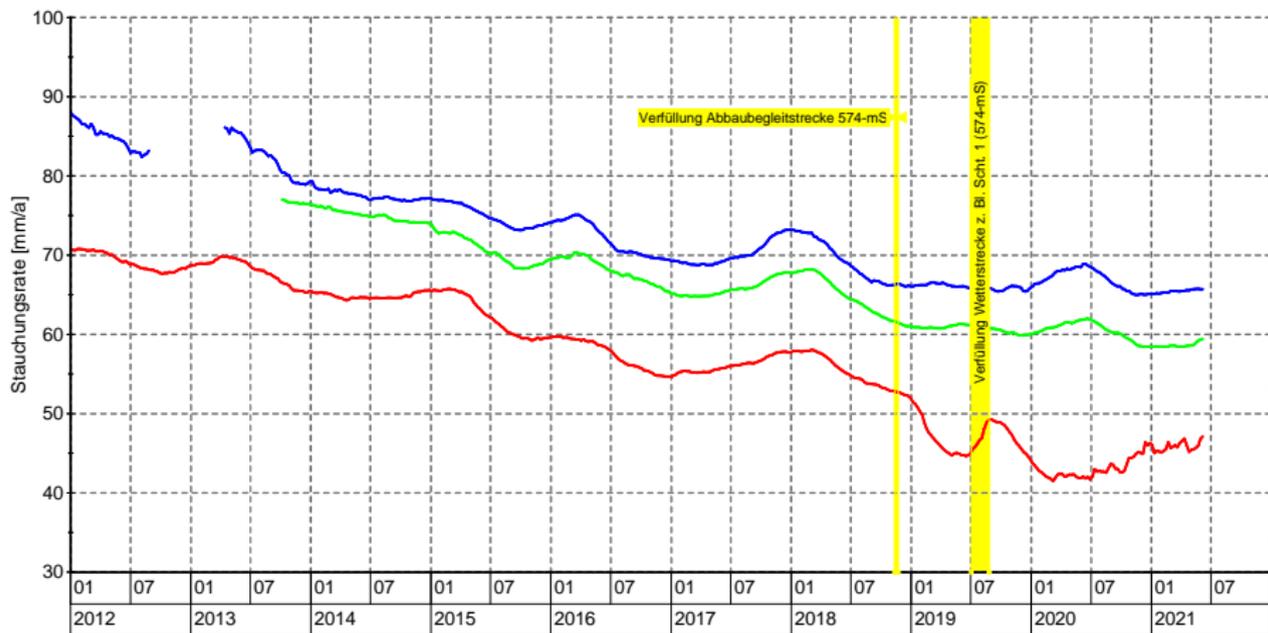
Isolinien der querschlägigen Pfeilerstauchungsraten

Vergleich der Isolinien für die Zeitpunkte 06/2020 und 06/2021 in [mm/a]



Extensometermessungen im Bereich der Stauchungsmaxima

gleitender Mittelwert über die Quartalsraten im Westflügel in [mm/a], Stand: 06.06.2021

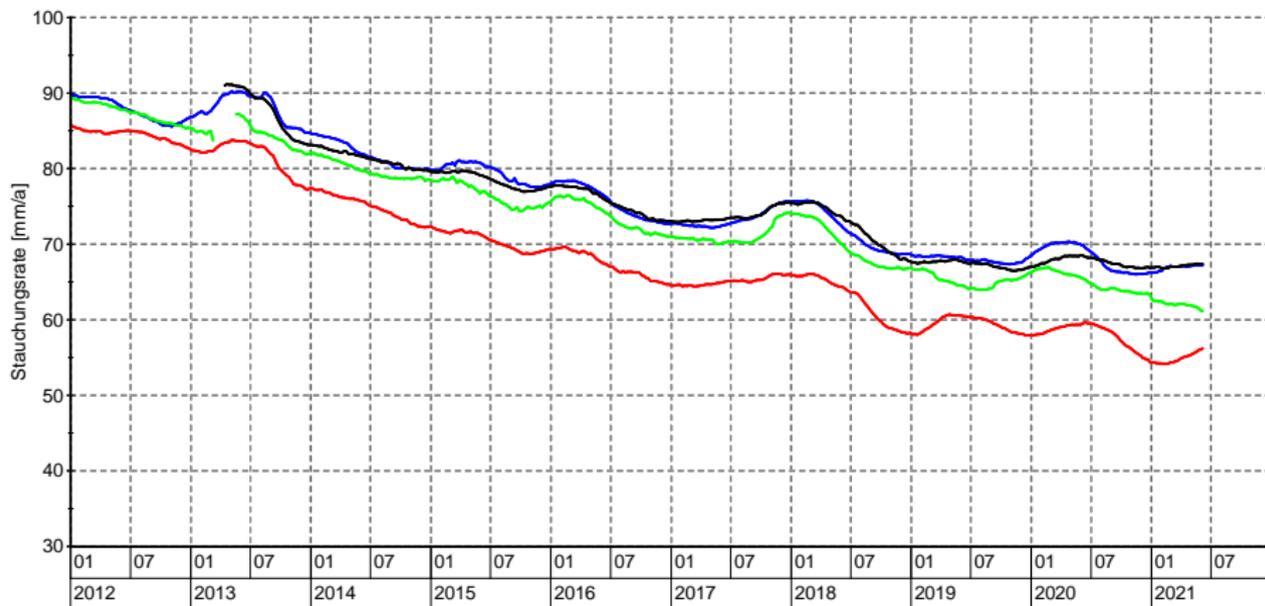


Symbol	Messstelle	Sohle	Pfeiler	Bohrung	Anker	Teufe*	Zeitraum
—	MFA 490-TA/506	574-m-Sohle	2/3	574003	5	53,6 m	01.01.2012 - 06.06.2021
—	MFA 490-TA/504	553-m-Sohle	3/4	553009	5	58,9 m	01.01.2012 - 06.06.2021
—	MFA 490-TA/516	553-m-Sohle	4/5 (Beton)	553013	6	49,3 m	01.01.2012 - 06.06.2021

* Einbautiefe in Bohrung

Extensometermessungen im Bereich der Stauchungsmaxima

gleitender Mittelwert über die Quartalsraten im Ostflügel in [mm/a], Stand: 06.06.2021



Symbol	Messstelle	Sohle	Pfeiler	Bohrung	Anker	Teufe*	Zeitraum
—	MFA 490-TA/510	616-m-Sohle	5/6	616004	5	53,4 m	01.01.2012 - 06.06.2021
—	MFA 490-TA/523	532-m-Sohle	6/7	532016	5	61,4 m	01.01.2012 - 06.06.2021
—	MFA 490-TA/507	574-m-Sohle	6/7	574004 neu	3	42,9 m	01.01.2012 - 06.06.2021
—	MFA 490-TA/508	595-m-Sohle	7/8	595005 neu	5	49,0 m	10.04.2013 - 06.06.2021

* Einbautiefe in Bohrung

Übersicht

- 4 Verformungsmessungen im Tragsystem
 - Extensometermessungen
 - Konvergenzmessungen

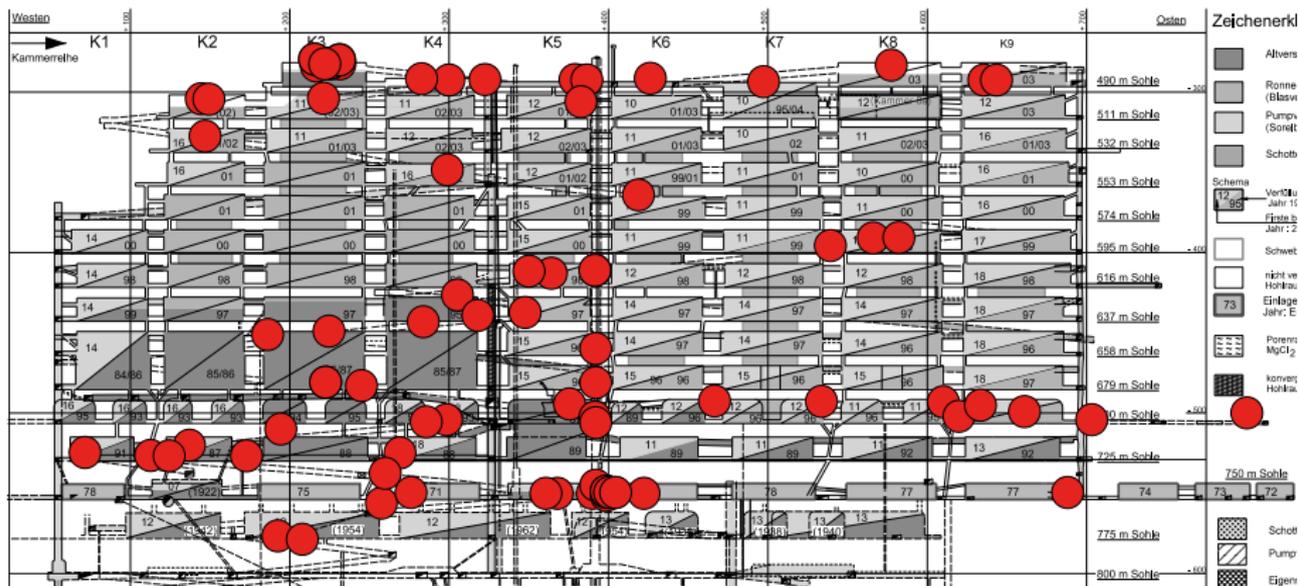
Konvergenzmessungen

Messziele

- Erfassung von Hohlraumverformungen im Grubengebäude der Schachanlage Asse II
- Monitoring der gebirgsmechanischen Beanspruchung der jeweiligen Bereiche im Grubengebäude
- Konvergenzraten zur Bilanzierung der verbleibenden Hohlräume im Grubengebäude
- Planung von Abdichtbauwerken in Streckenabschnitten
- Parameter für numerische Modellierungen

Konvergenzmessungen

Lage der Konvergenzmesstellen mit Stand: 31.05.2021



83 Konvergenzmessquerschnitte

● Konvergenzmesstellen

64 Messquerschnitte in den Strecken

19 Messquerschnitte in den Abbauen

Baufelder:

Südflanke, Sattelkern

Gemittelte Verformungsraten [%/a] aus den Konvergenzmessungen

Stand: 01.11.2019 und 31.12.2020

Instrumentierungsbereich		Verformungsraten Mittelwert [%/a]			
		2019		2020	
		horizontal	vertikal	horizontal	vertikal
Südflanke					
1	Abbaue/Werkstätten (490- und 511-m-Sohle)				
	● Steinsalz	0,12	1,44	0,16	1,53
2	Wendelstrecke (490- bis 700-m-Sohle)				
	● Steinsalz	0,29	0,29	0,24	0,27
	● Carnallit	0,89	1,54	0,97	1,50
3	Söhlige Strecken (490- bis 725-m-Sohle)				
	● Steinsalz	0,72	0,88	1,06	0,91
	● Carnallit	1,82	3,34	1,74	3,10
7	Streckensysteme (750-m-Sohle)				
	● Steinsalz	1,00	–	0,98	–
Sattelkern					
4	Streckensysteme (700- bis 775-m-Sohle)				
	● Steinsalz	0,43	0,90	0,51	0,99
	● Carnallit	0,89	1,73	0,85	1,51
5	ELK 7/725 (Na2) (725-m-Sohle)				
	● Steinsalz	0,32	–	0,50	–
6	Füllortbereich (490- und 750-m-Sohle)				
	● Steinsalz	0,84	1,64	1,25	1,24

Legende

Änderung der Verformungsrate

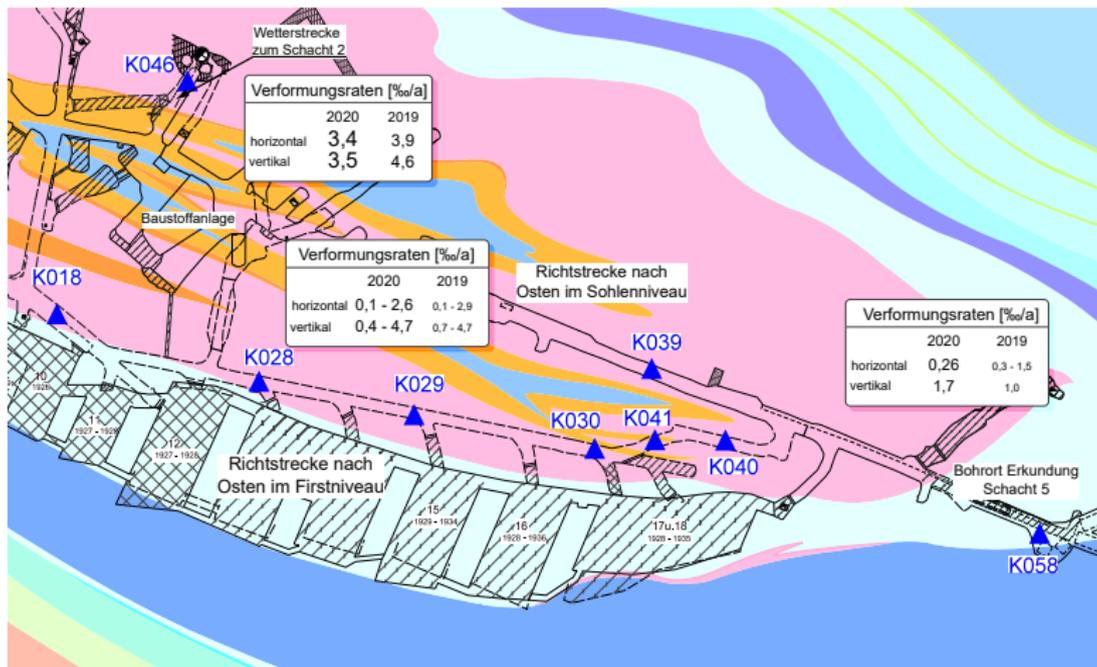
 $\leq -0,3\%/a$

 $\pm 0,3\%/a$

 $\geq +0,3\%/a$

Konvergenzmessungen

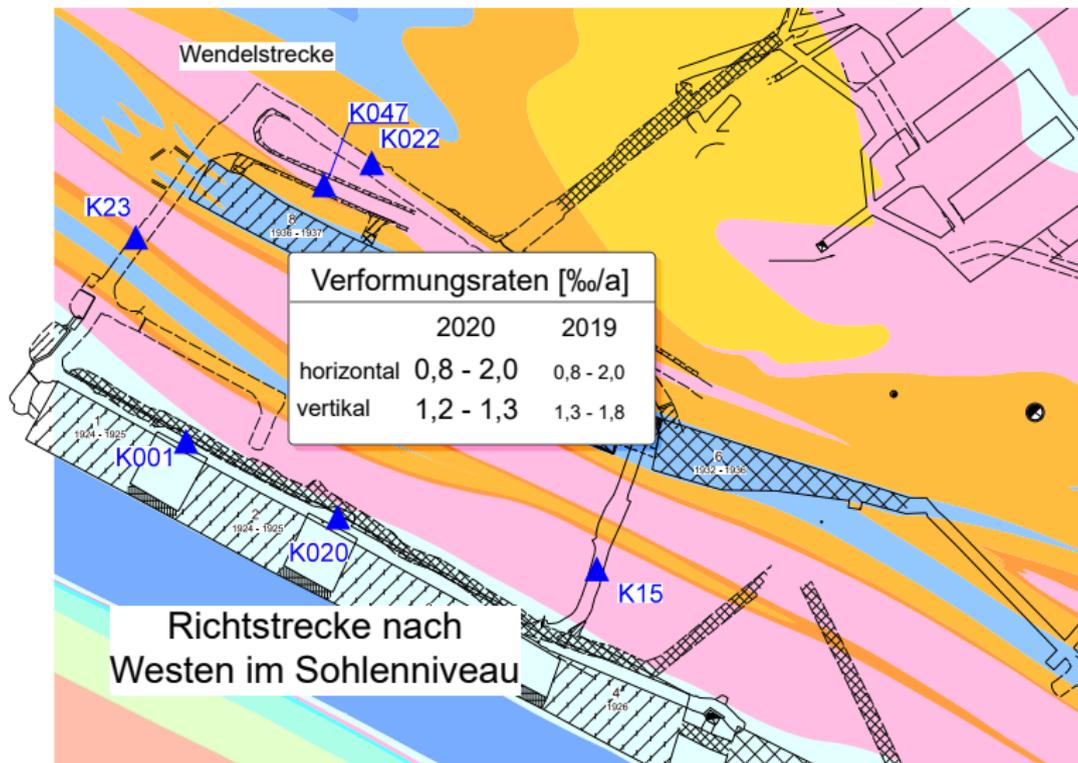
Bereiche mit erhöhten Konvergenz-/Verformungsraten



östlicher Bereich auf der 700-m-Sohle

Konvergenzmessungen

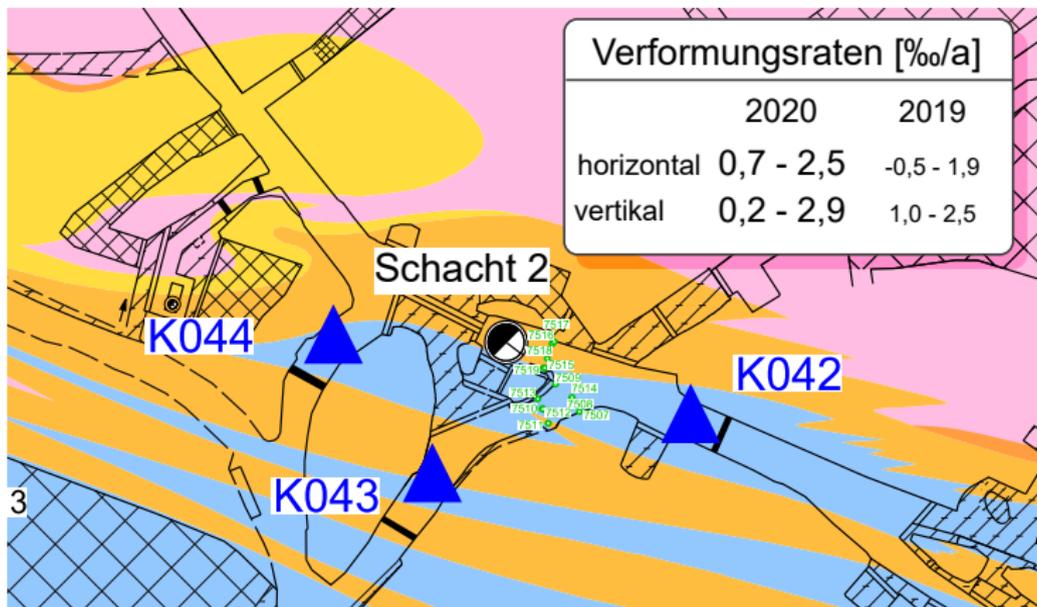
Bereiche mit erhöhten Konvergenz-/Verformungsraten



Richtstrecke n. Westen (Gleitbogenausbaustrecke) – 725-m-Sohle

Konvergenzmessungen

Bereiche mit erhöhten Konvergenz-/Verformungsraten



Füllort Schacht 2 – 750-m-Sohle

Konvergenzmessungen

Ableitung einer Konvergenzrate für den Tiefenaufschluss

- bis 2014 wurden direkte Konvergenzmessungen im Tiefenaufschluss (800-m- bis 975-m-Sohle) durchgeführt, diese zeigten Verformungsraten von ca. 0,6 %/a
- in den unteren, mit Salzversatz versetzten, Bereich im Tiefenaufschluss wurden im Jahr 2007 ca. 12.000 m³ MgCl₂-dominierte Lösung eingebracht
- konvergenzbedingter Anstieg des Lösungspegel wird mittels Lichtlot und Porenwasserdruckgeber kontinuierlich überwacht
 - ⇒ siehe Salzlösungsmonitoring
- mittels der Anstiegsgeschwindigkeiten und der damit resultierenden Porenraumreduktion lassen sich Rückschlüsse auf die Konvergenz im Tiefenaufschluss ableiten
- demnach beträgt die Verformungsrate im Tiefenaufschluss für den Zeitraum 10/2018 bis 11/2020 ca. 0,5 %/a

Übersicht Teil I

- 1 Einleitung
- 2 Beanspruchung des Tragsystems
- 3 Lage- und Höhenmessungen
- 4 Verformungsmessungen im Tragsystem
- 5 Ableitung des Verschiebungsvektors**
- 6 Mikroseismische Überwachung
- 7 Lokale Monitoringprogramme

Verschiebungsvektor

Ausgangslage und Zielsetzung

Ausgangslage

- querschlägige Pfeilerstauchungsraten zeigen die Relativverschiebung zwischen dem Extensometerkopfpunkt und den Ankerpunkten in der Bohrlochachse an
- keine Informationen über anteilige Verschiebung der vorderen Ankerpunkten und des Kopfpunktes sowie Höhenänderungen

Verschiebungsvektor (Forts.)

Ausgangslage und Zielsetzung

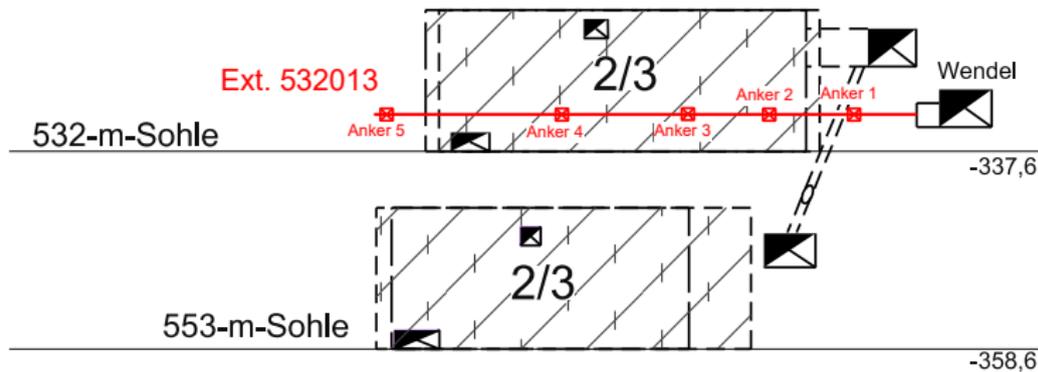
Zielsetzung

- Berücksichtigung aller Verschiebungsmessungen in den Pfeilern zur Darstellung der vektoriellen Verschiebung der Ankerpunkte und des Extensometerkopfes:
 - Extensometermessungen (horizontale Verschiebung)
 - Inklinometermessungen (Höhenänderung)
 - Lagemessungen am Extensometerkopf (horizontale Verschiebung und Höhenänderungen)

Verschiebungsvektor

Pfeiler 2/3 auf der 532-m-Sohle

Lageplan (Schnitt durch den Pfeiler 2/3)

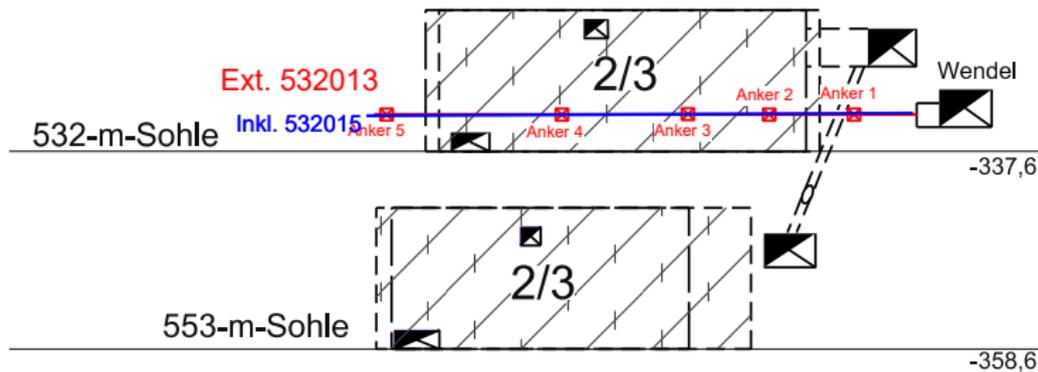


- Extensometer
- Inklinometer
- Messpunkt für Lageverschiebung am Extensometerkopfpunkt
- Zeitraum 2001 bis 2019

Verschiebungsvektor

Pfeiler 2/3 auf der 532-m-Sohle

Lageplan (Schnitt durch den Pfeiler 2/3)

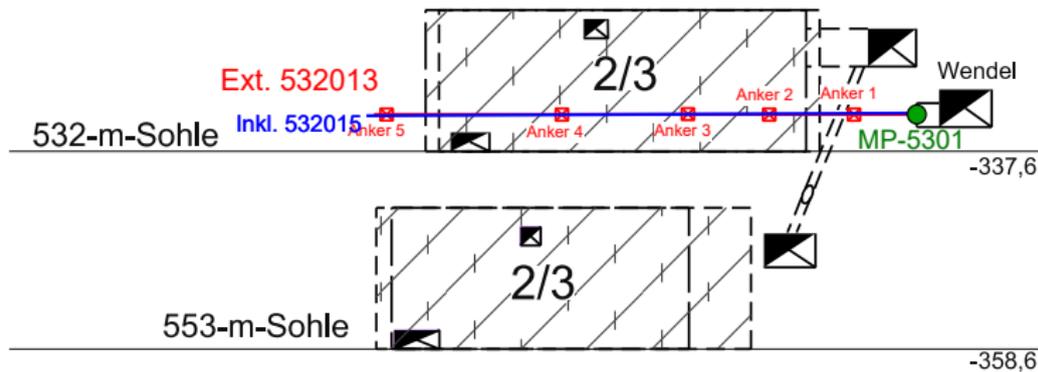


- Extensometer
- Inklinometer
- Messpunkt für Lageverschiebung am Extensometerkopfpunkt
- Zeitraum 2001 bis 2019

Verschiebungsvektor

Pfeiler 2/3 auf der 532-m-Sohle

Lageplan (Schnitt durch den Pfeiler 2/3)

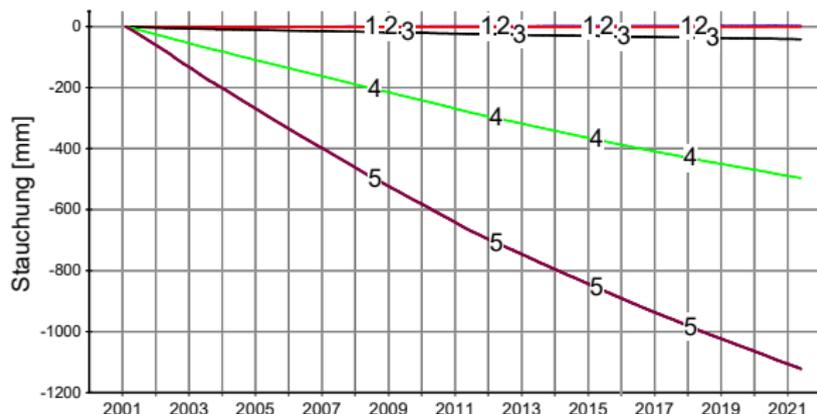


- Extensometer
- Inklinometer
- Messpunkt für Lageverschiebung am Extensometerkopfpunkt
- Zeitraum 2001 bis 2019

Verschiebungsvektor

Extensometermessungen im Pfeiler 2/3 auf der 532-m-Sohle

Ergebnisse



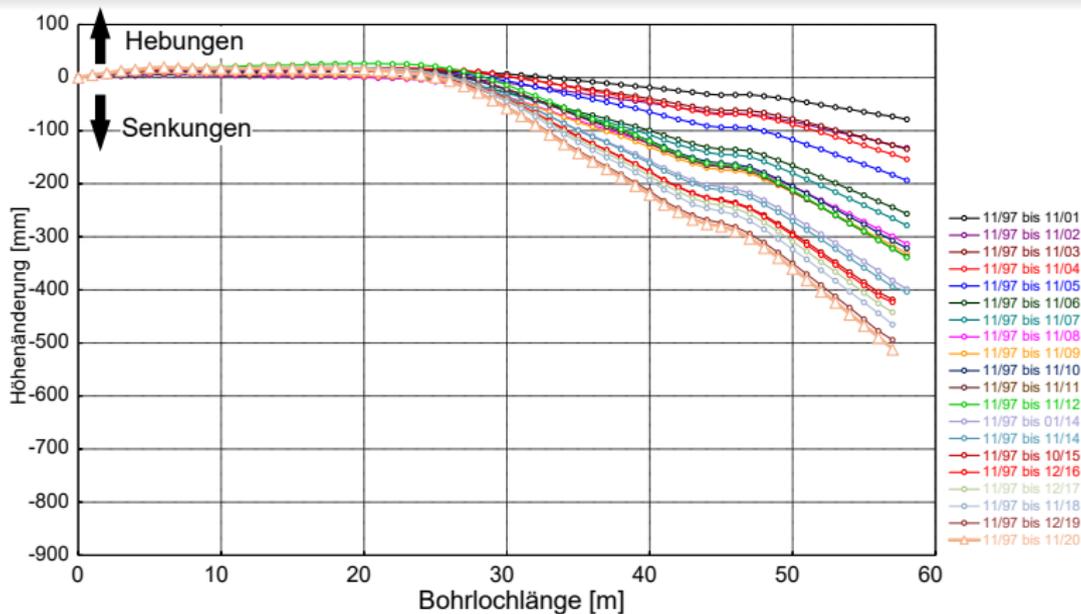
Symbol	Messstelle	Sohle	Pfeiler	Bohrung	Anker	Teufe*	Zeitraum
-1	Handmessungen	532-m-Sohle	2/3	532013	1	6,5 m	08.02.2001 - 25.05.2021
-2	Handmessungen	532-m-Sohle	2/3	532013	2	15,7 m	08.02.2001 - 25.05.2021
-3	Handmessungen	532-m-Sohle	2/3	532013	3	24,4 m	08.02.2001 - 25.05.2021
-4	Handmessungen	532-m-Sohle	2/3	532013	4	37,8 m	08.02.2001 - 25.05.2021
-5	Handmessungen	532-m-Sohle	2/3	532013	5	58,8 m	08.02.2001 - 25.05.2021

* Einbautiefe in Bohrung

- Bohrlochlänge = 58,8 m, Neigung = 0°
- Anker 1 und 2 zeigen kaum Verschiebung
- Anker 3, 4, 5 zeigen Stauchung
- querschlägige Pfeilerstauchungsraten ca. 42 mm/a (2020)
- maximale Pfeilerstauchungsrate ca. 73 mm/a (2003)

Verschiebungsvektor

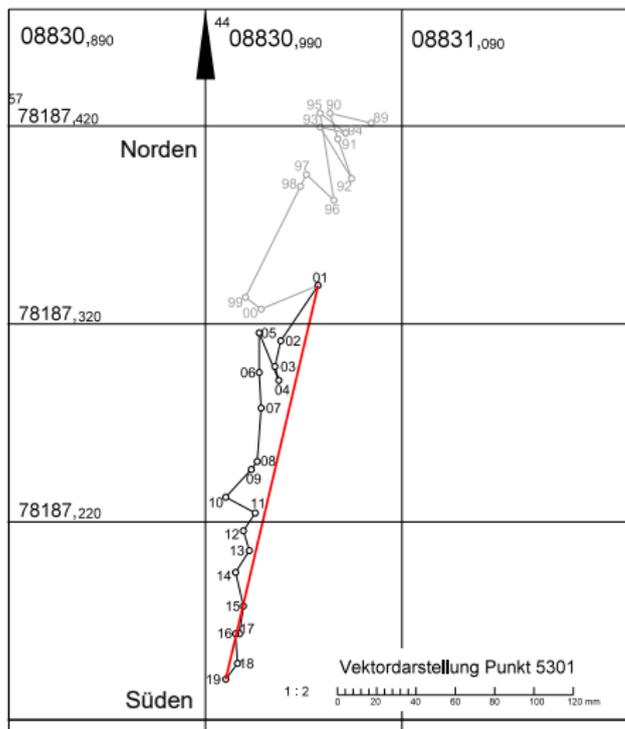
Inklinometermessungen – Bohrung 532015



- Inklinometermessungen seit 1997
- bis 25 m unstetige Hebungen und Senkungen (2 mm/a)
- ab 25 m Senkungen bis zum Bohrloch tiefsten mit maximal 510 mm (Senkungsrate₍₂₀₂₀₎ = 19 mm/a)

Verschiebungsvektor

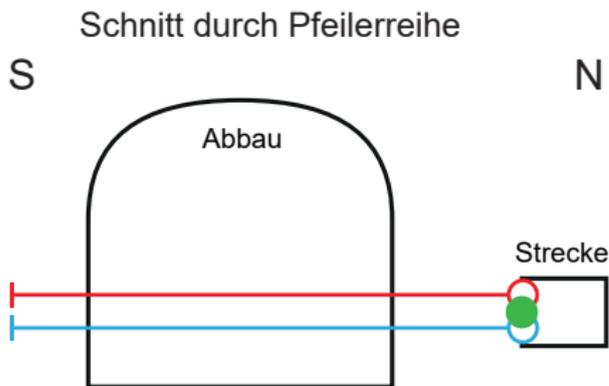
Ergebnisse der Lagemessungen des Extensometerkopfpunktes



- seit 2001 Verschiebung in Richtung Süd-Südwest
 - ca. 210 mm seit 2001
 - Höhenänderung ca. 82 mm
- ⇒ Messpunkt folgt der allgemeinen Bewegung auf die Abbaukante der Südflanke zu.

Verschiebungsvektor

Methodik zur Bestimmung der Ankerschiebung



- — Inclinometer
- — Extensometer
- — Extensometerkopfpunkt

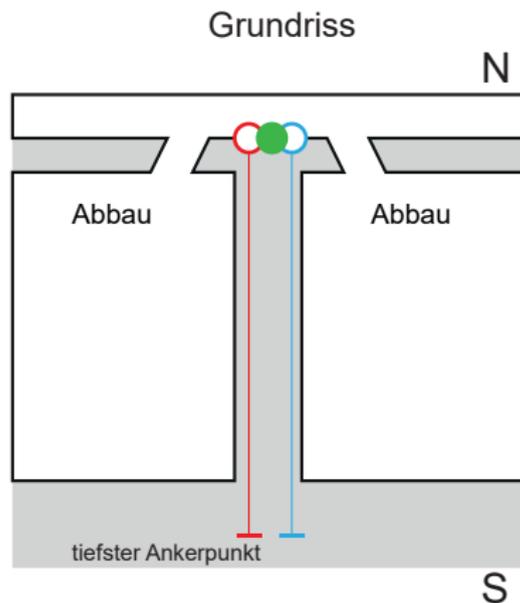
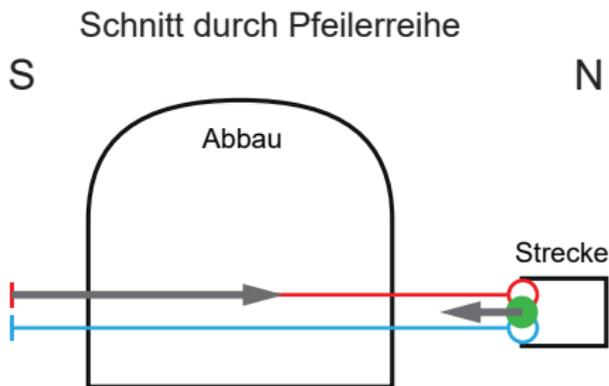


Abbildung nicht maßstabsgetreu

Verschiebungsvektor

Methodik zur Bestimmung der Ankerverschiebung



- gemessene Verschiebung
- Inklinometer
 - Extensometer
 - Extensometerkopfpunkt

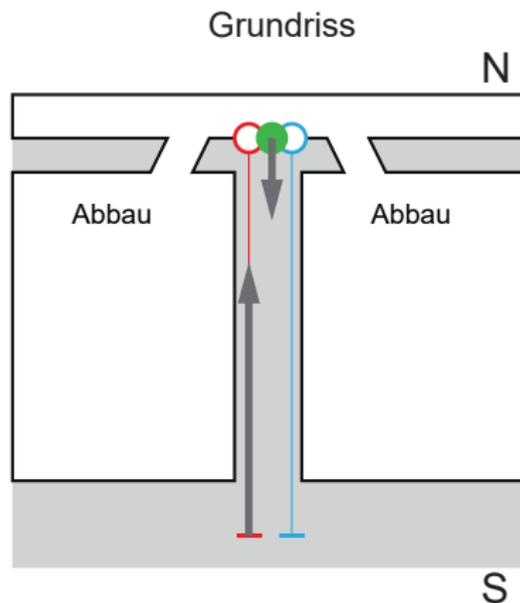


Abbildung nicht maßstabsgetreu

Verschiebungsvektor

Methodik zur Bestimmung der Ankerschiebung

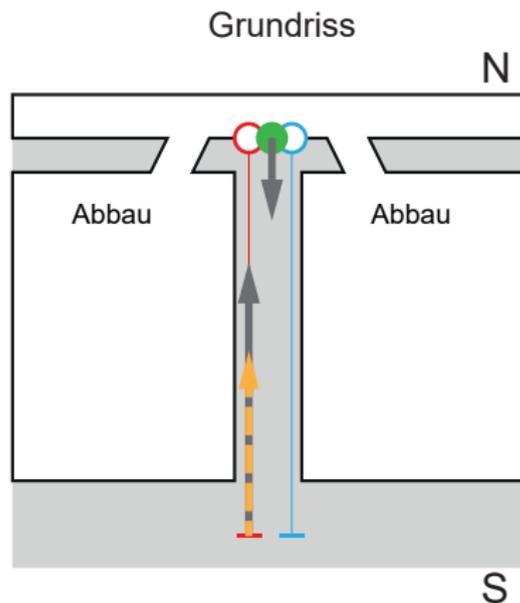
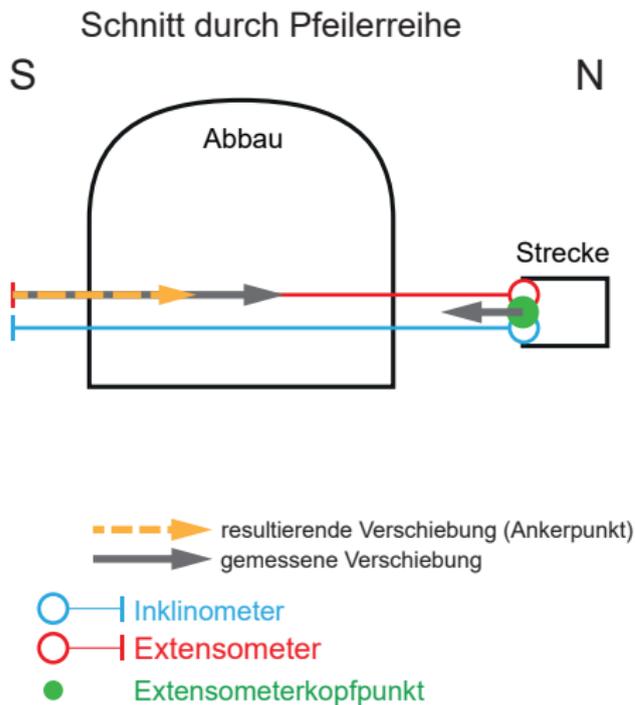


Abbildung nicht maßstabsgetreu

Verschiebungsvektor

Methodik zur Bestimmung der Ankerverschiebung

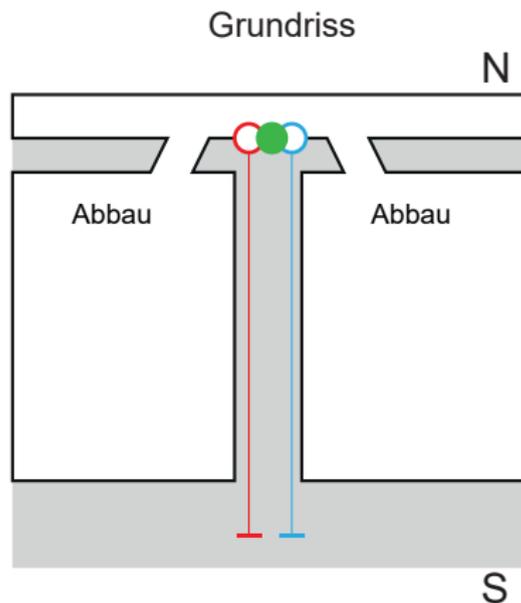
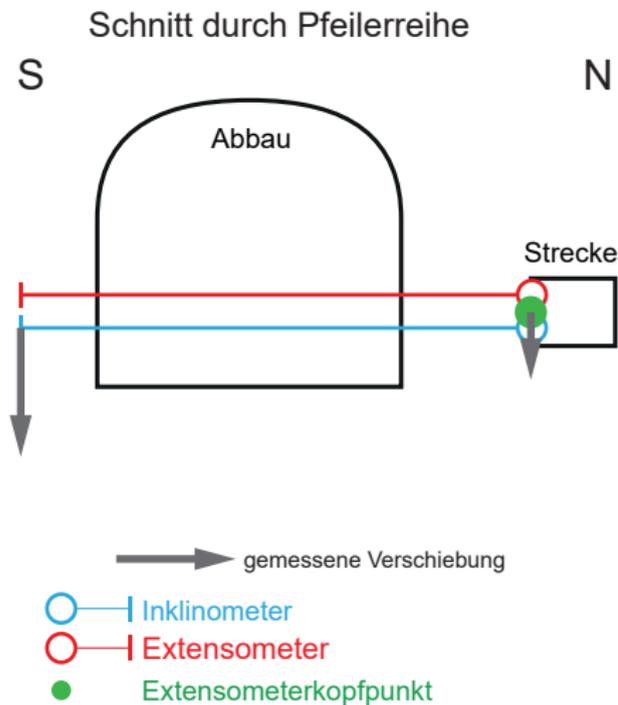


Abbildung nicht maßstabsgetreu

Verschiebungsvektor

Methodik zur Bestimmung der Ankerverschiebung

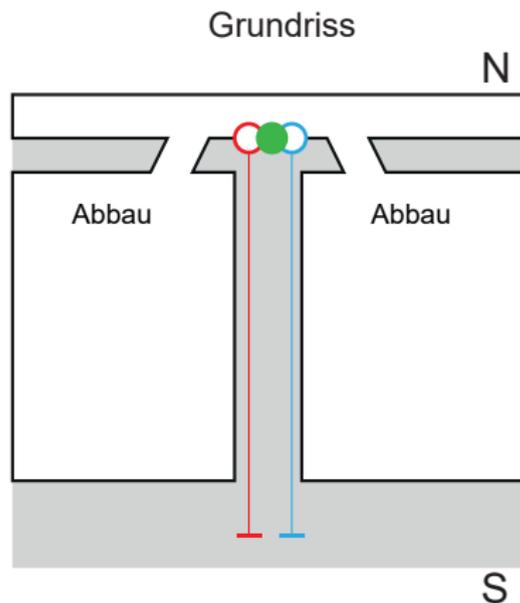
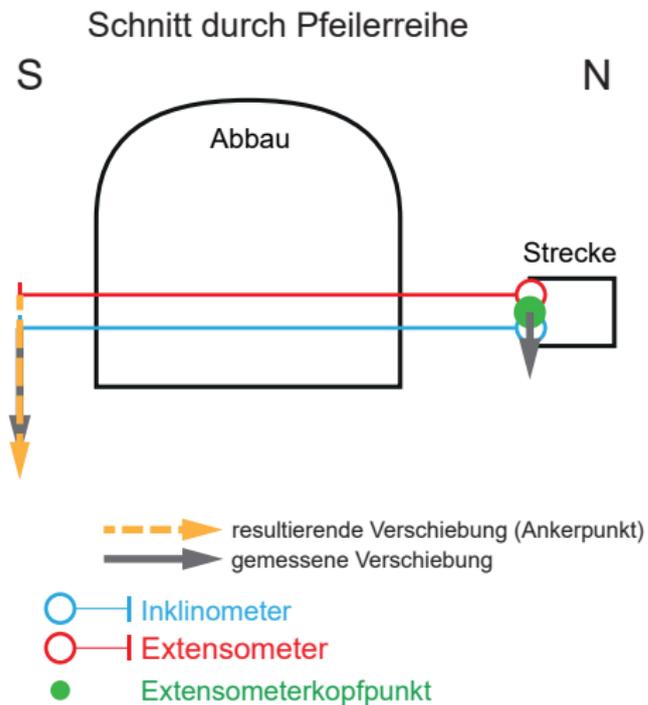


Abbildung nicht maßstabsgetreu

Verschiebungsvektor

Methodik zur Bestimmung der Ankerschiebung

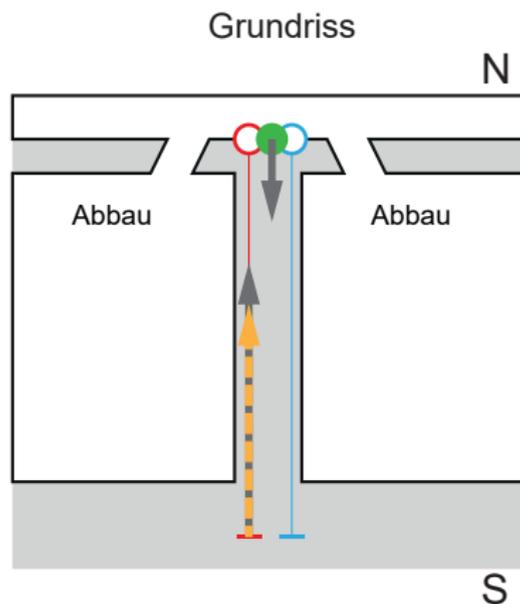
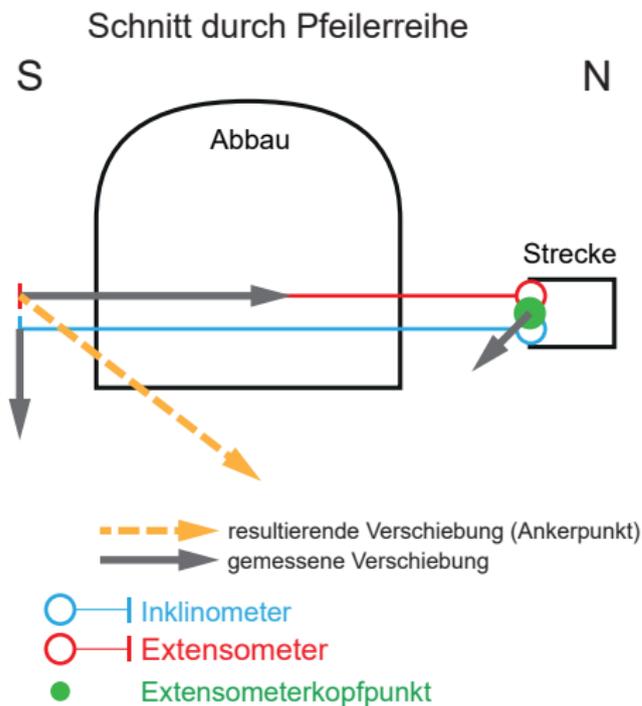
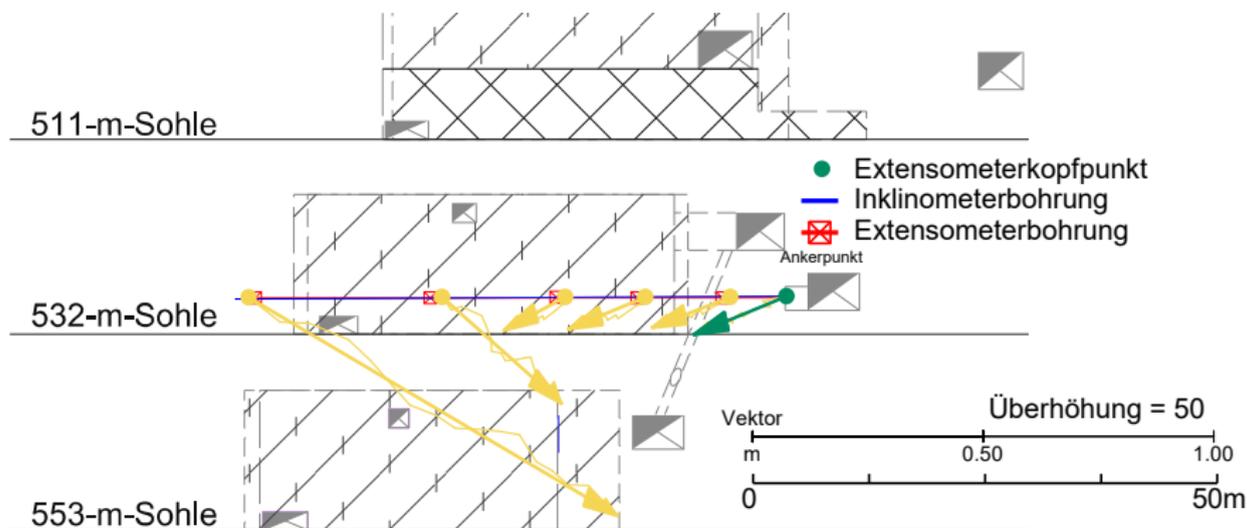


Abbildung nicht maßstabsgetreu

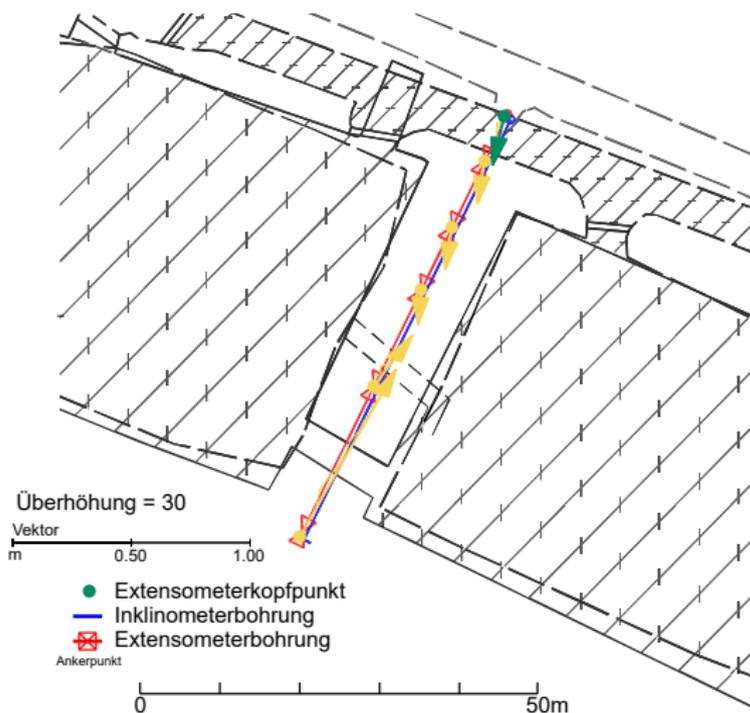
Verschiebungsvektor

Ergebnisse – Pfeilerreihe 2/3, 532-m-Sohle, Schnitt



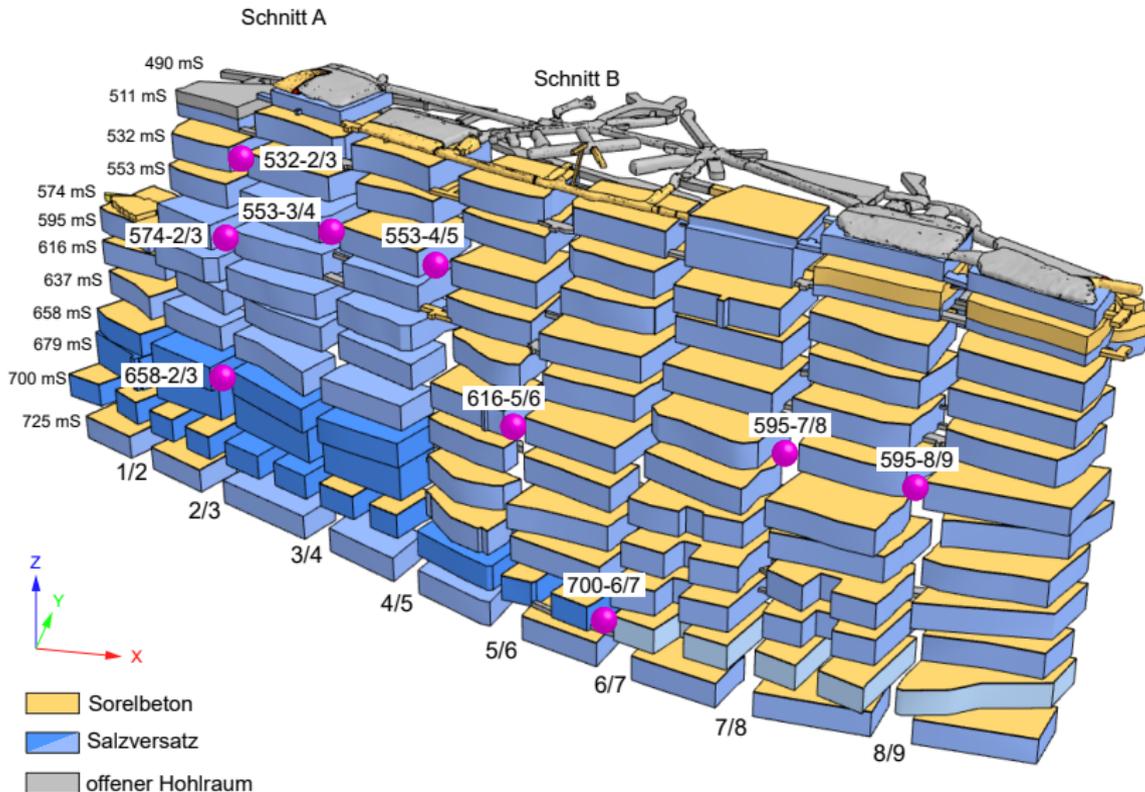
Verschiebungsvektor

Ergebnisse – Pfeilerreihe 2/3, 532-m-Sohle, Grundriss



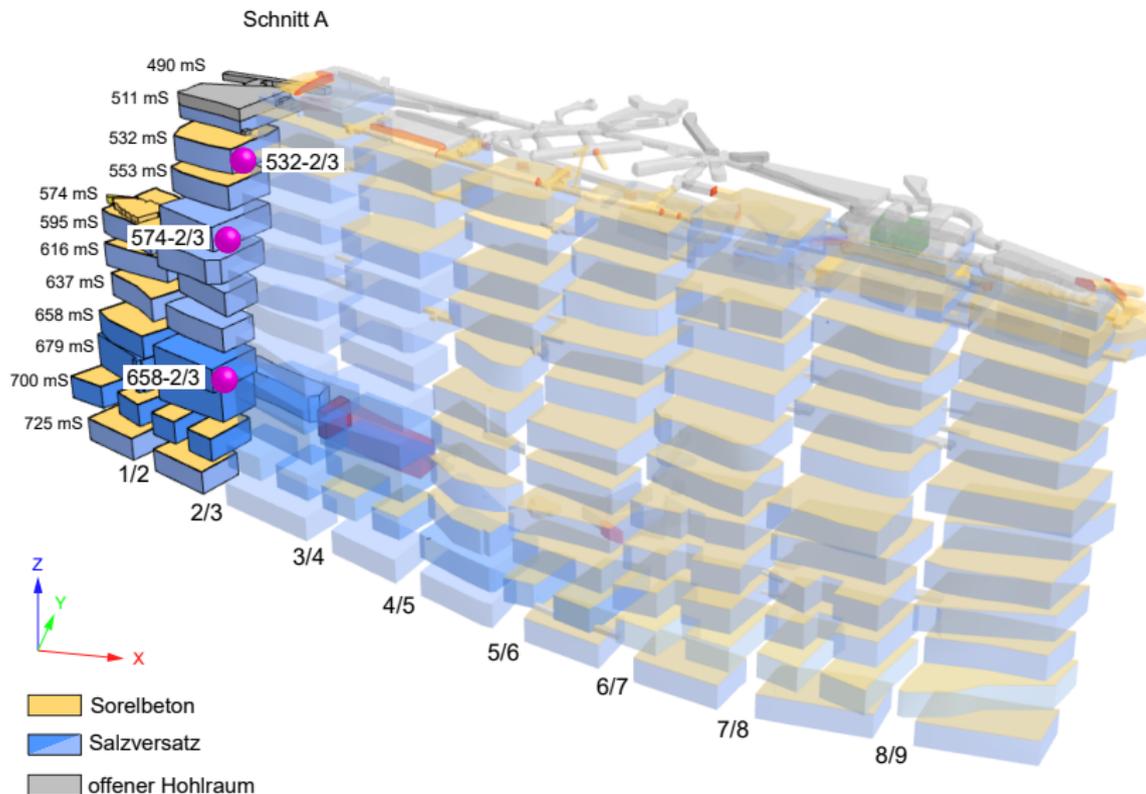
Verschiebungsvektor

Ergebnisse – 3D-Darstellung - Messstellen



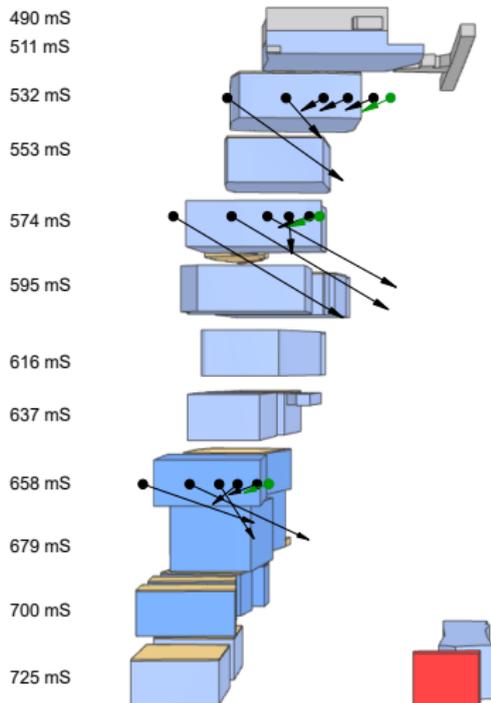
Verschiebungsvektor

Ergebnisse – Schnitt A durch Pfeilerreihe 2/3



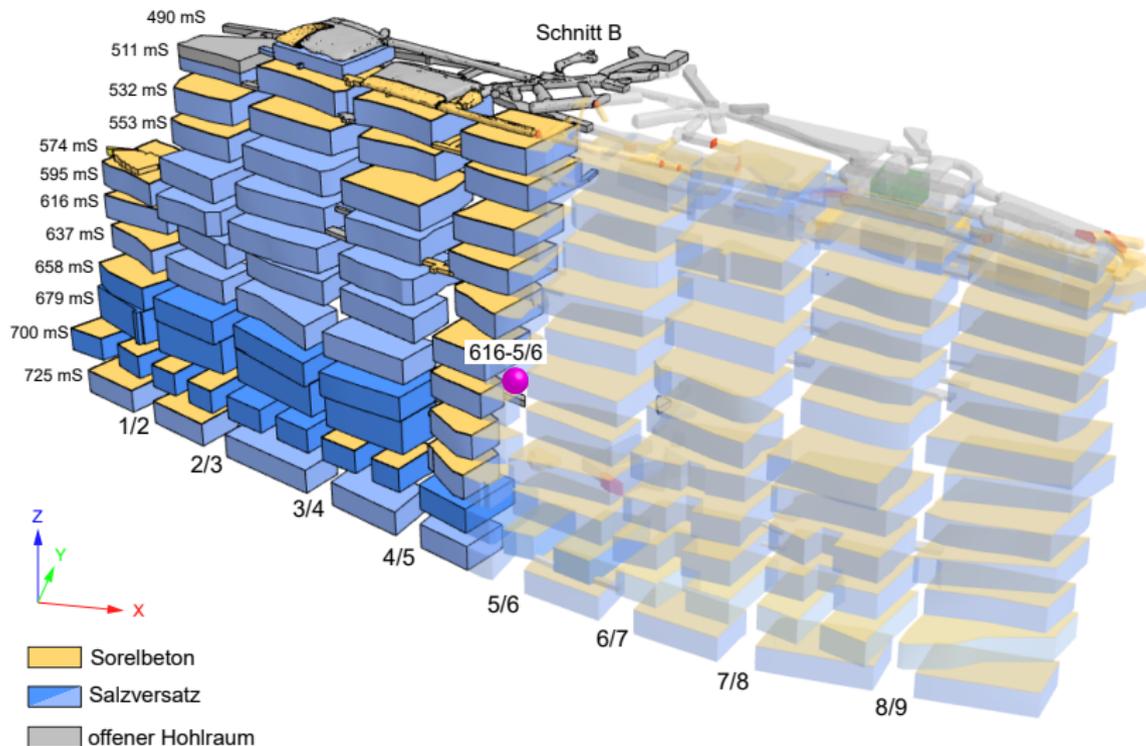
Verschiebungsvektor

Ergebnisse – Schnitt A durch Pfeilerreihe 2/3



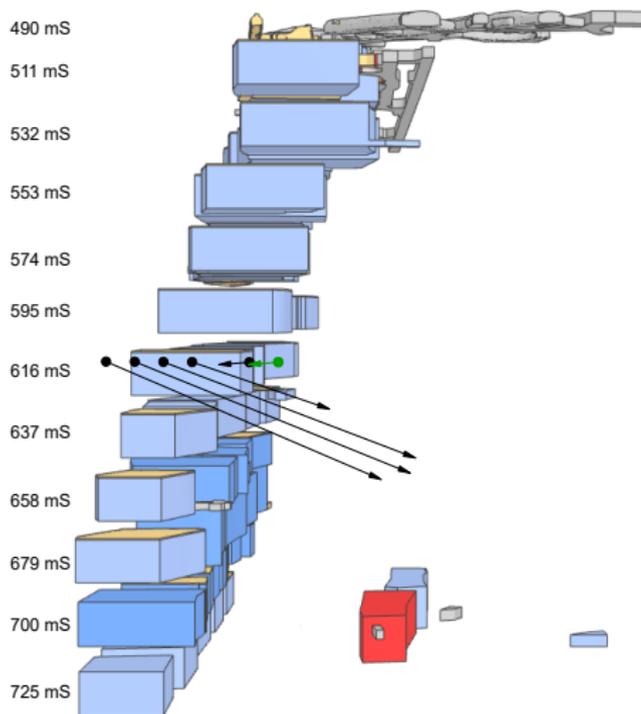
Verschiebungsvektor

Ergebnisse – Schnitt B durch Pfeilerreihe 5/6



Verschiebungsvektor

Ergebnisse – Schnitt B durch Pfeilerreihe 5/6



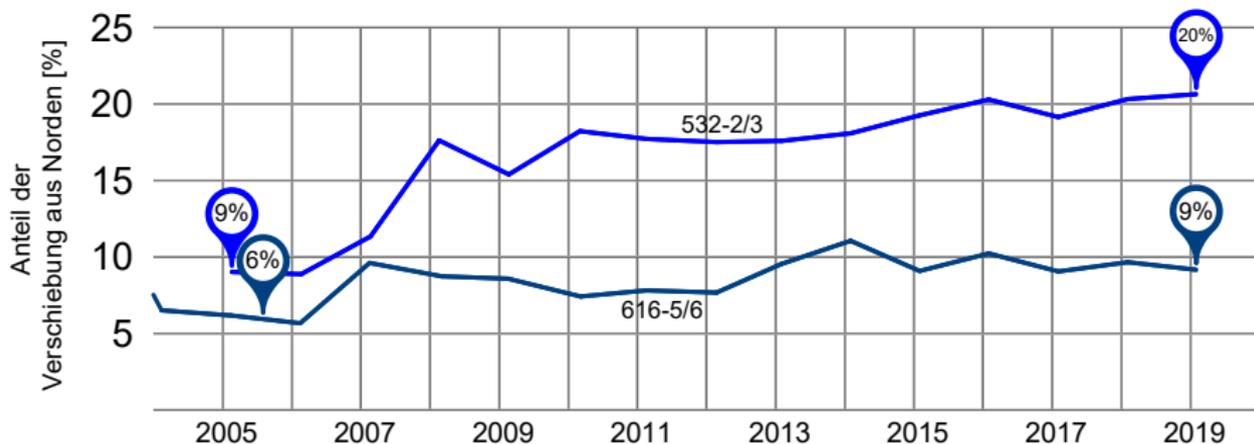
Verschiebungsvektor

Zusammenfassung

- an 9 Stellen in den Pfeiler konnte ein Verschiebungsvektor (Zeitraum 2001 bis 2019) für die Ankerpunkte und den Extensometerkopfpunkt abgeleitet werden
 - die südlichen Ankerpunkte zeigen Verschiebungen in Richtung Nord-Nordosten mit einem Einfallen von durchschnittlich ca. -34° an, diese Punkte zeigen die größte Verschiebung (ca. 0,67 m bis 1,80 m)
 - die nördlichen Punkte zeigen Verschiebungen in Richtung Süd-Südwesten mit einem Einfallen von durchschnittlich ca. -23° an
- ⇒ Haben sich die Verschiebungsanteile über die Zeit geändert?

Verschiebungsvektor

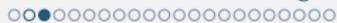
Verschiebungsanteile aus Norden



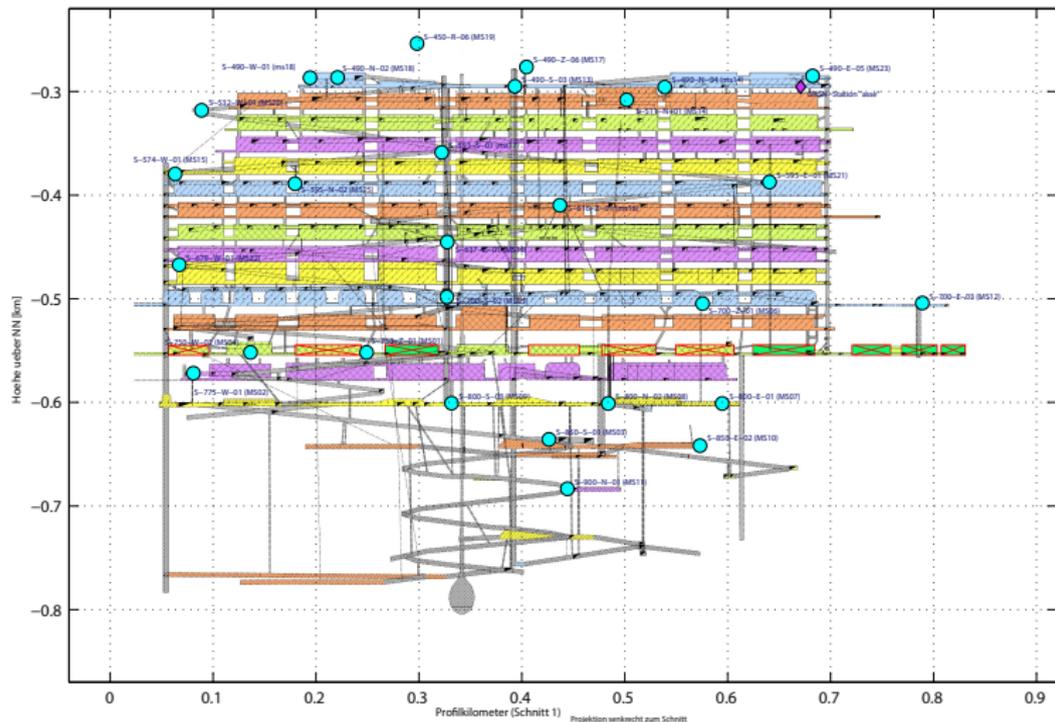
Übersicht Teil I

- 1 Einleitung
- 2 Beanspruchung des Tragsystems
- 3 Lage- und Höhenmessungen
- 4 Verformungsmessungen im Tragsystem
- 5 Ableitung des Verschiebungsvektors
- 6 Mikroseismische Überwachung**
- 7 Lokale Monitoringprogramme





Netzgeometrie: Lage der Mikroseismikstationen



hellblaue Kreise: 28 im Berichtszeitraum 2020 in Betrieb befindliche Mikroseismiksonden
 violette Raute: Breitbandstation im Deutschen Seismologischen Regionalnetz



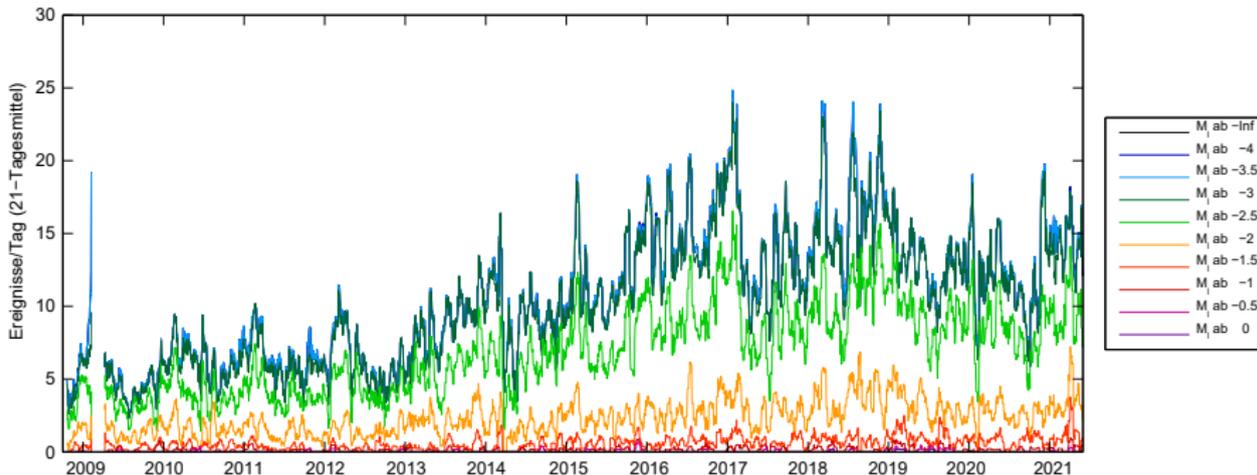
Übersicht

6 Mikroseismische Überwachung

- Mikroseismiknetz
- Zeitliche Entwicklung der Mikroseismizität (Überblick)
- Aktuelle Mikroseismizität
- Cluster bei der Einlagerungskammer 6/750
- Cluster bei der Einlagerungskammer 4/750
- Cluster im Bereich der 700- bis 775-m-Sohle
- Mikroseismische Aktivität östlich des Grubengebäudes bei R15-S1 Erkundungsbohrung
- Zusammenfassung

Ereignisrate im gesamten überwachten Bereich

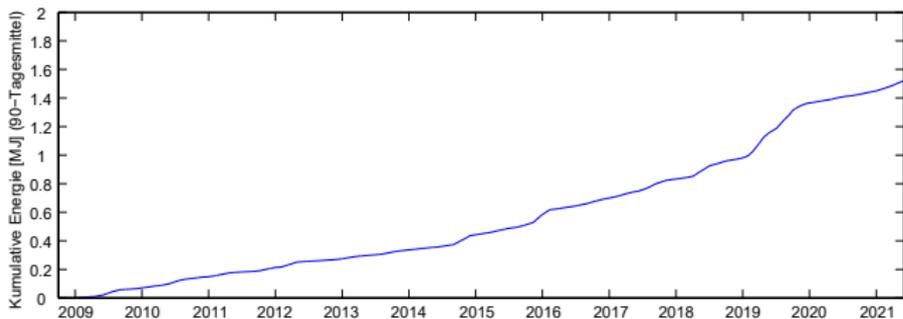
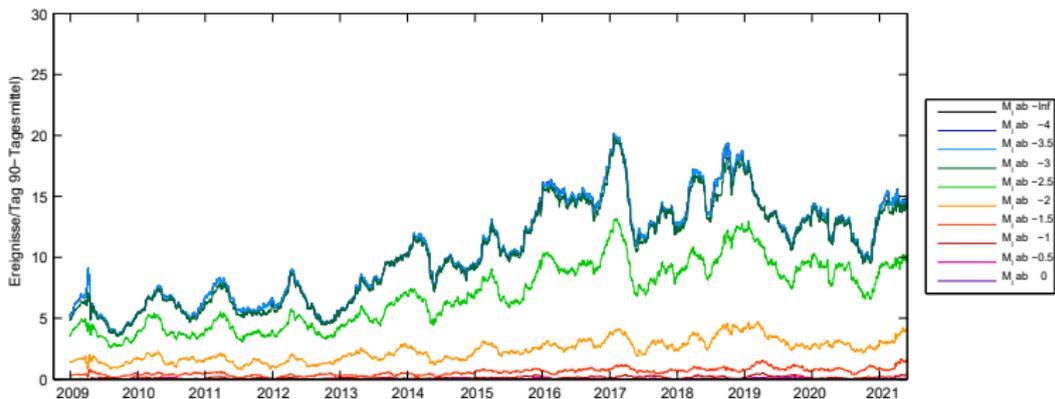
(Mittelung über drei Wochen, aus Betriebsruhephasen auf die Gesamtzeit hochgerechnet, Automatik, 01.10.2008 bis 31.05.2021)



- Die Gesamtereignisrate unterliegt deutlichen Schwankungen.
- Langfristig betrachtet ist die Ereignisrate seit 2009 stark angestiegen.
- Im Kalenderjahr 2020 ist sie im Vergleich zum Vorjahr im Mittel um ca. 13 % zurückgegangen.

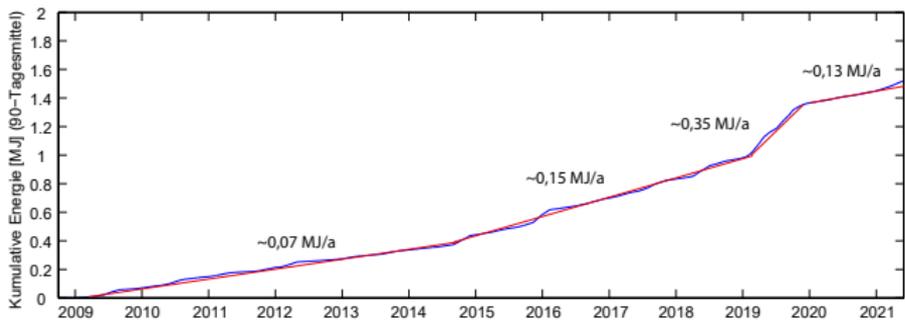
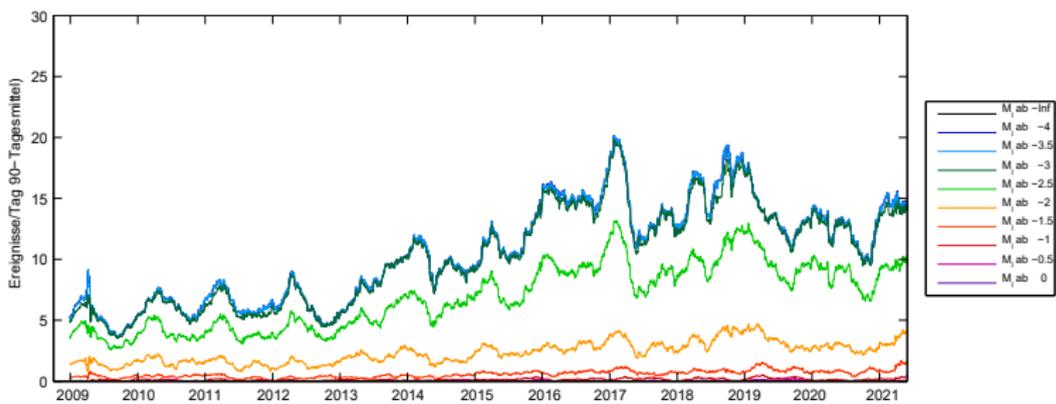
Ereignisrate und kumulative Energie im gesamten überwachten Bereich

(Mittelung über 90 Tage, aus Betriebsruhephasen auf die Gesamtzeit hochgerechnet, Automatik, 01.10.2008 bis 31.05.2021)



Ereignisrate und kumulative Energie im gesamten überwachten Bereich

(Mittelung über 90 Tage, aus Betriebsruhephasen auf die Gesamtzeit hochgerechnet, Automatik, 01.10.2008 bis 31.05.2021)



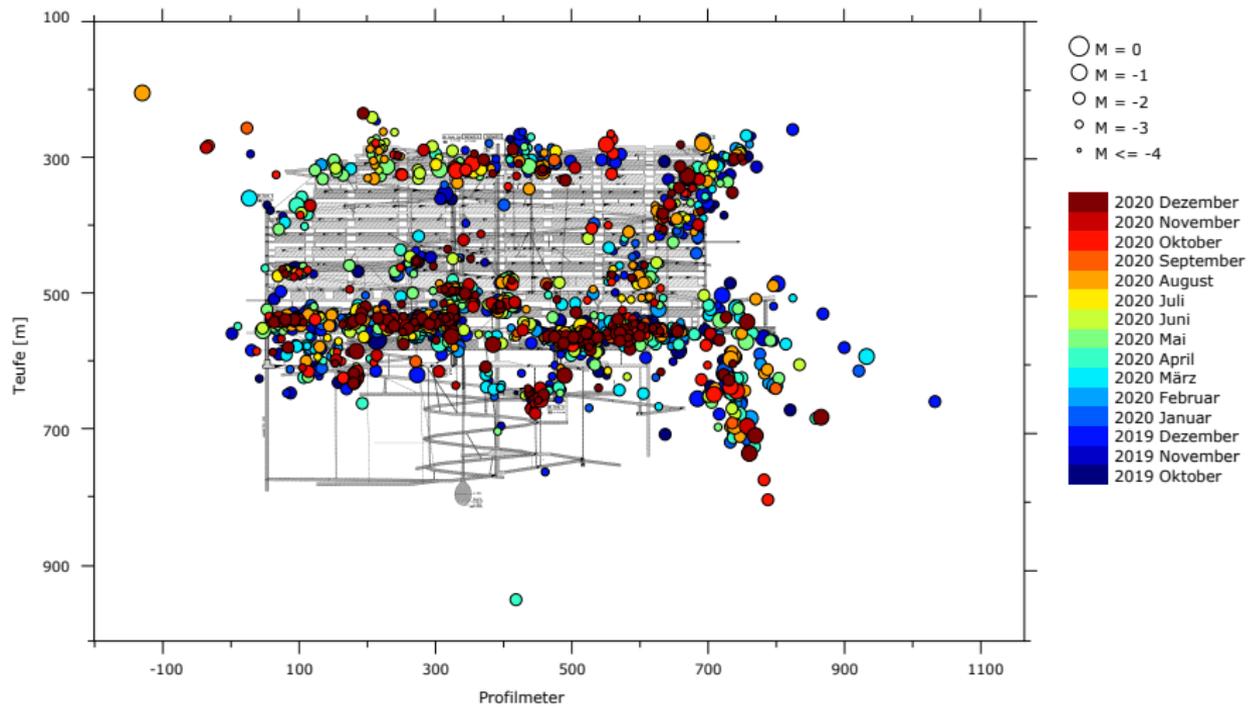
Übersicht

6 Mikroseismische Überwachung

- Mikroseismiknetz
- Zeitliche Entwicklung der Mikroseismizität (Überblick)
- **Aktuelle Mikroseismizität**
- Cluster bei der Einlagerungskammer 6/750
- Cluster bei der Einlagerungskammer 4/750
- Cluster im Bereich der 700- bis 775-m-Sohle
- Mikroseismische Aktivität östlich des Grubengebäudes bei R15-S1 Erkundungsbohrung
- Zusammenfassung

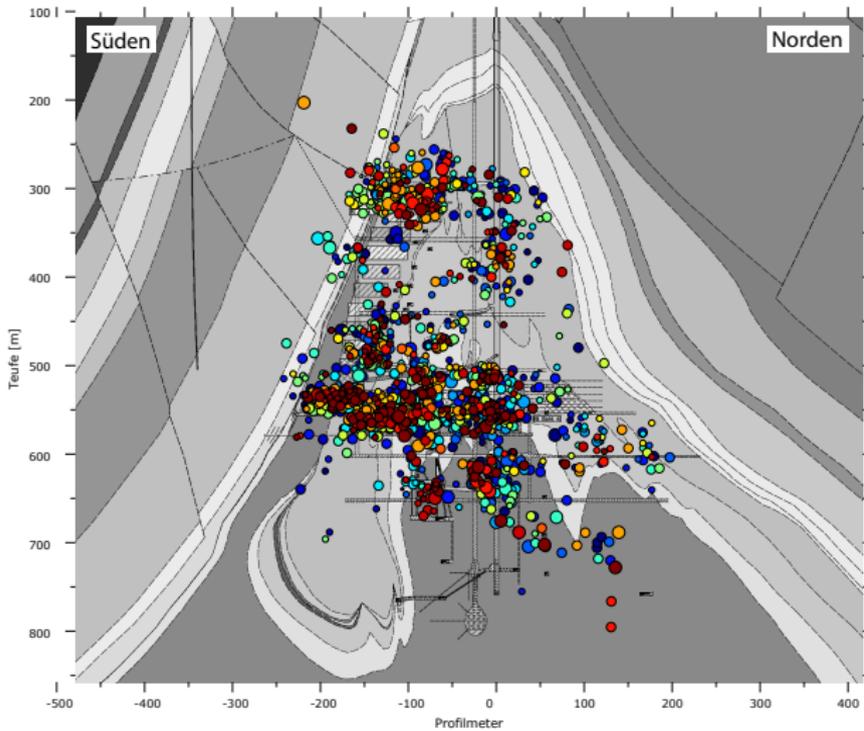
Mikroseismizität vom 1. Oktober 2019 bis 31. Dezember 2020

Manuelle Auswertung, Zeiträume ohne bergmännische Aktivitäten („Betriebsruhe“), Profilmeter (Schnitt 1)



Mikroseismizität vom 1. Oktober 2019 bis 31. Dezember 2020

Manuelle Auswertung, Zeiträume ohne bergmännische Aktivitäten („Betriebsruhe“), Profilmeter (Schnitt 2)



- M = 0
 - M = -1
 - M = -2
 - M = -3
 - M <= -4
-
- 2020 Dezember
 - 2020 November
 - 2020 Oktober
 - 2020 September
 - 2020 August
 - 2020 Juli
 - 2020 Juni
 - 2020 Mai
 - 2020 April
 - 2020 März
 - 2020 Februar
 - 2020 Januar
 - 2019 Dezember
 - 2019 November
 - 2019 Oktober



Übersicht

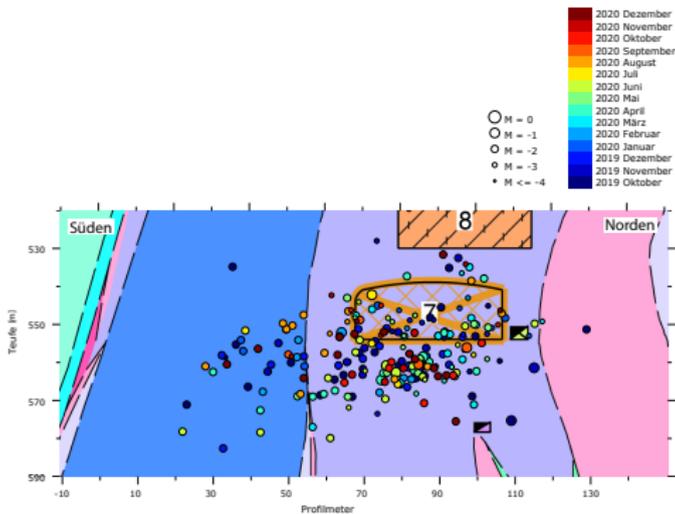
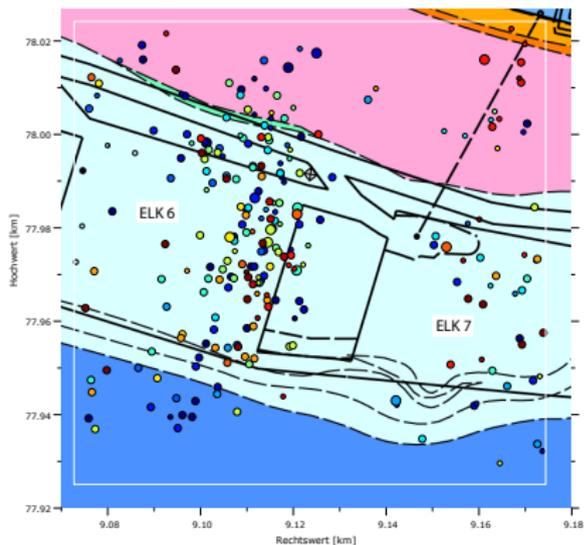
6 Mikroseismische Überwachung

- Mikroseismiknetz
- Zeitliche Entwicklung der Mikroseismizität (Überblick)
- Aktuelle Mikroseismizität
- **Cluster bei der Einlagerungskammer 6/750**
- Cluster bei der Einlagerungskammer 4/750
- Cluster im Bereich der 700- bis 775-m-Sohle
- Mikroseismische Aktivität östlich des Grubengebäudes bei R15-S1 Erkundungsbohrung
- Zusammenfassung

Cluster im Bereich der ELK 6/750 (Betriebsruhe, manuelle Auswertung, 01.10.2019 bis 31.12.2020)

Draufsicht auf die 750-m-Sohle

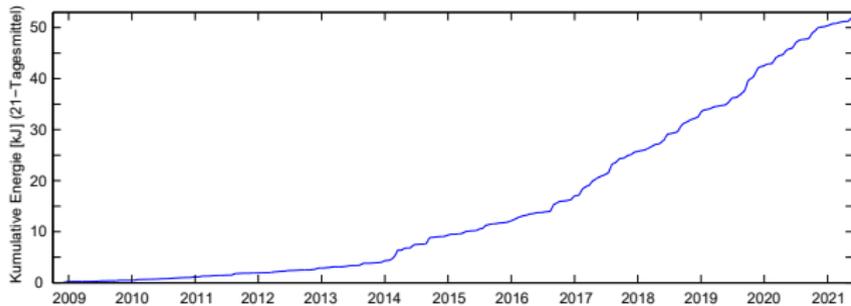
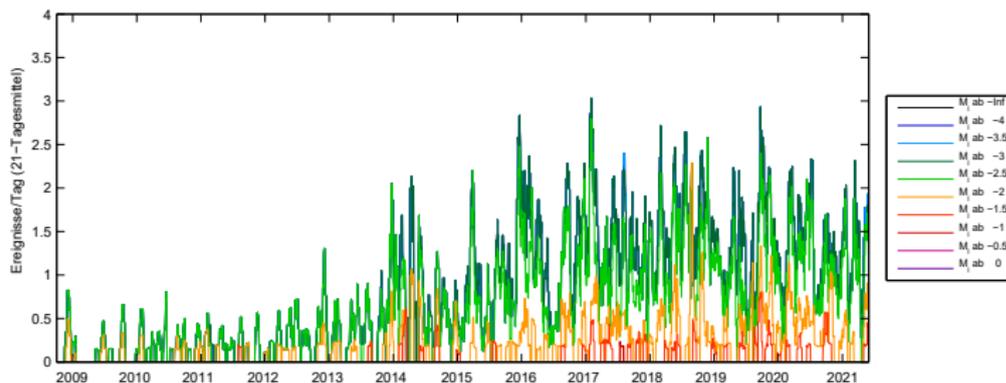
Schnitt 22 senkrecht zum Streichen durch Abbaureihe 8



Die Aktivität im Bereich der ELK 6/750 hat sich 2020 ähnlich dem Vorjahr fortgesetzt.

Ereignisrate und kumulative Energie bei der ELK 6/750

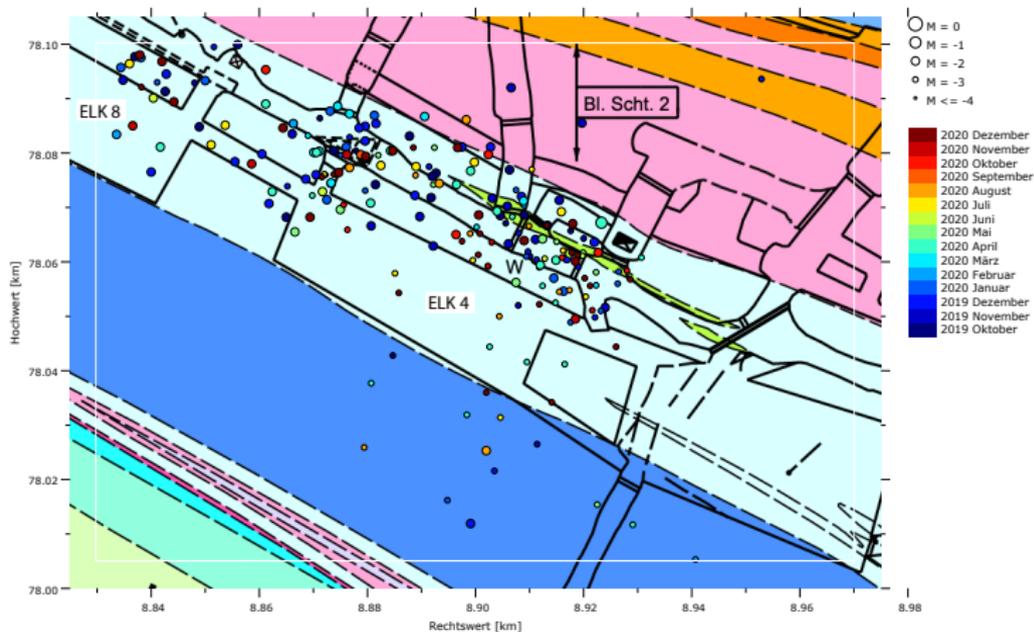
(Mittelung über drei Wochen, aus Betriebsruhephasen auf die Gesamtzeit hochgerechnet, Automatik, 01.10.2008 bis 31.05.2021)



6 Mikroseismische Überwachung

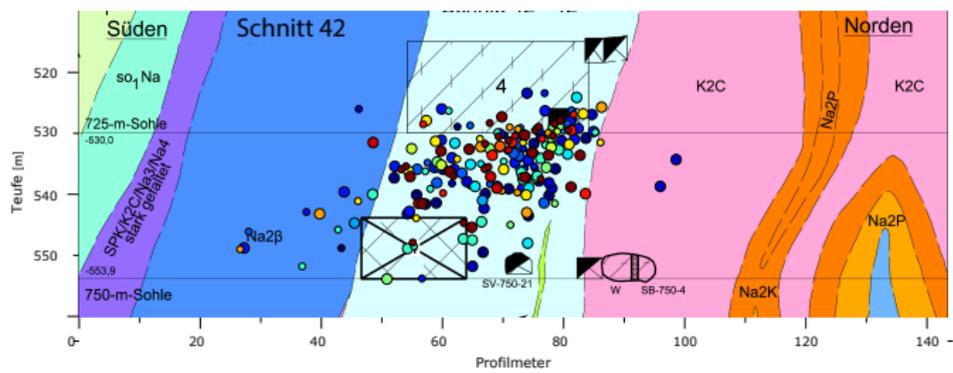
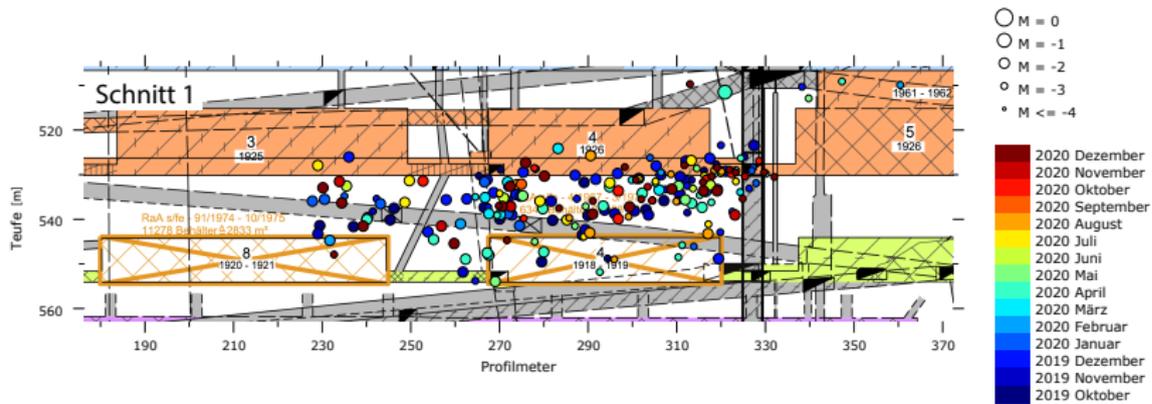
- Mikroseismiknetz
- Zeitliche Entwicklung der Mikroseismizität (Überblick)
- Aktuelle Mikroseismizität
- Cluster bei der Einlagerungskammer 6/750
- **Cluster bei der Einlagerungskammer 4/750**
- Cluster im Bereich der 700- bis 775-m-Sohle
- Mikroseismische Aktivität östlich des Grubengebäudes bei R15-S1 Erkundungsbohrung
- Zusammenfassung

Cluster bei der ELK 4/750 (Betriebsruhe, manuelle Auswertung, 01.10.2018 bis 31.12.2020)



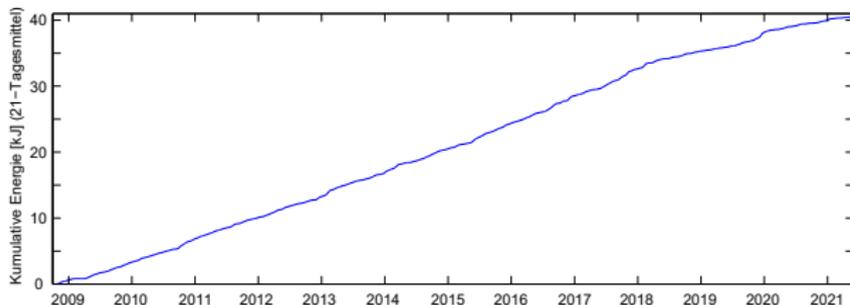
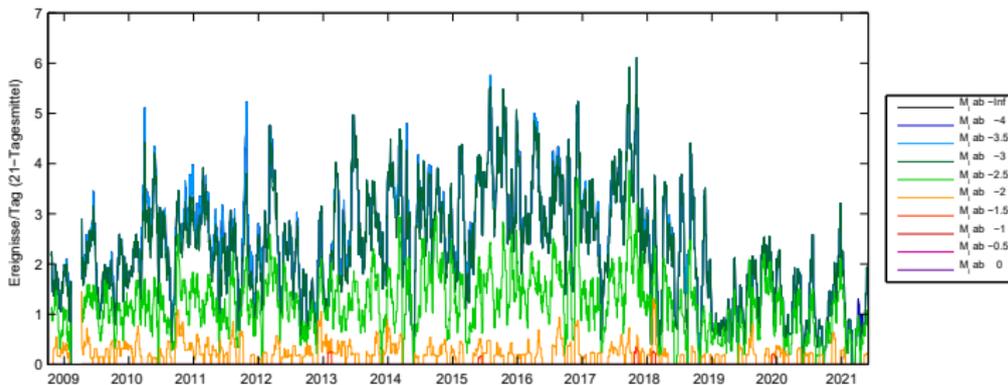
Der Schwerpunkt des Clusters liegt weiterhin nördlich der ELK 4/750 entlang der verfüllten 2. südlichen Richtstrecke nach Westen auf der 750-m-Sohle. Vermehrt Ereignisse westlich der ELK 4.

Cluster bei der ELK 4/750 (Betriebsruhe, manuelle Auswertung, 01.10.2018 bis 31.12.2020)



Ereignisrate und kumulative Energie bei der ELK 4/750

(Mittelung über drei Wochen, aus Betriebsruhephasen auf die Gesamtzeit hochgerechnet, Automatik, 01.10.2008 bis 31.05.2021)



Die Ereignisraten sind im Mittel seit ca. 2018 abnehmend.



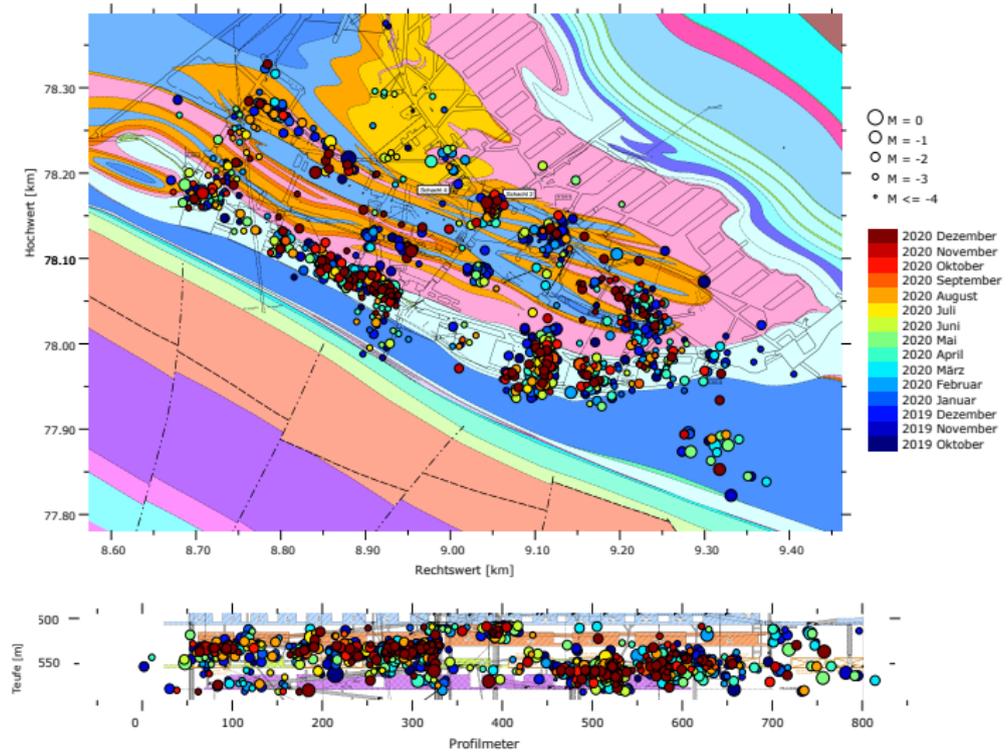
Übersicht

6 Mikroseismische Überwachung

- Mikroseismiknetz
- Zeitliche Entwicklung der Mikroseismizität (Überblick)
- Aktuelle Mikroseismizität
- Cluster bei der Einlagerungskammer 6/750
- Cluster bei der Einlagerungskammer 4/750
- **Cluster im Bereich der 700- bis 775-m-Sohle**
- Mikroseismische Aktivität östlich des Grubengebäudes bei R15-S1 Erkundungsbohrung
- Zusammenfassung

Betriebsruhe, manuelle Auswertung, 01.10.2019 bis 31.12.2020

insbesondere Cluster im Bereich der 1. südlichen Richtstrecke nach Westen und bei der Gabelung der nördlichen und 2. nördlichen Richtstrecke nach Osten auf der 750-m-Sohle sowie beim Füllort des Schachts 2 auf der 700-m-Sohle

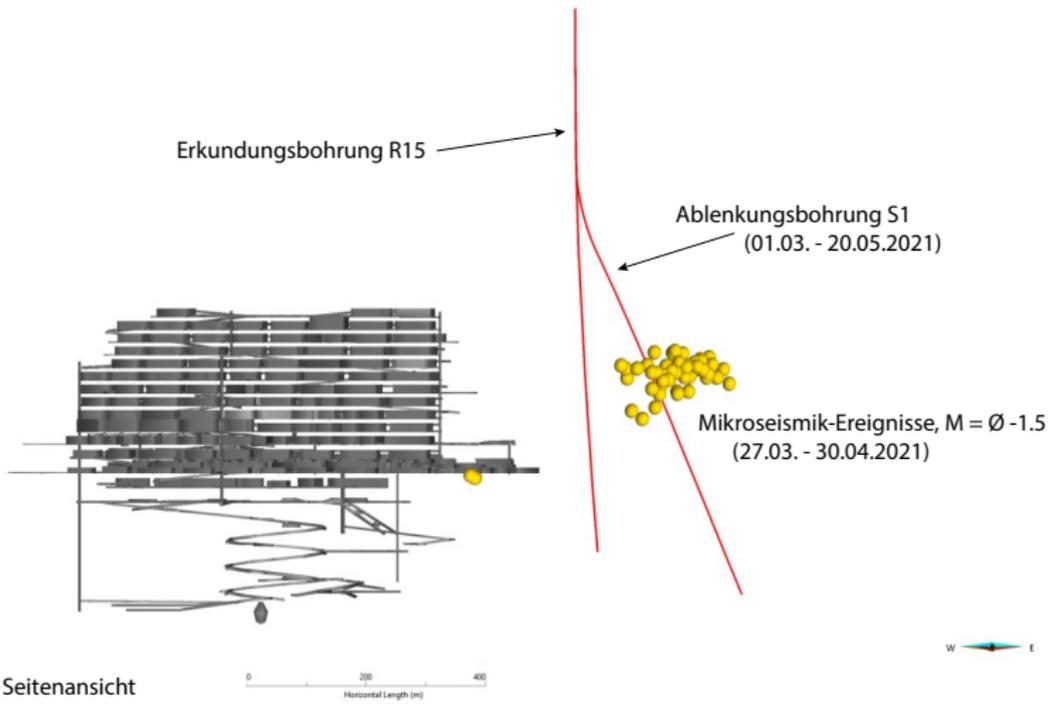


Übersicht

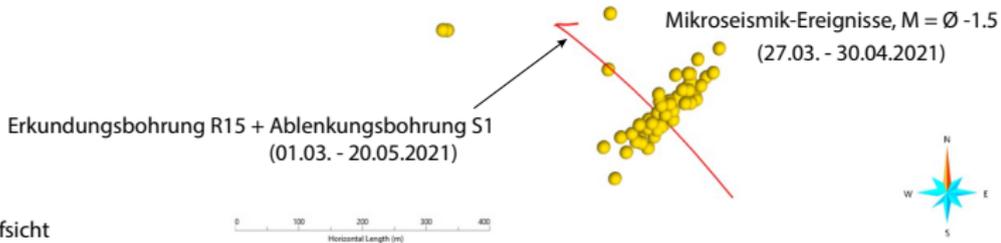
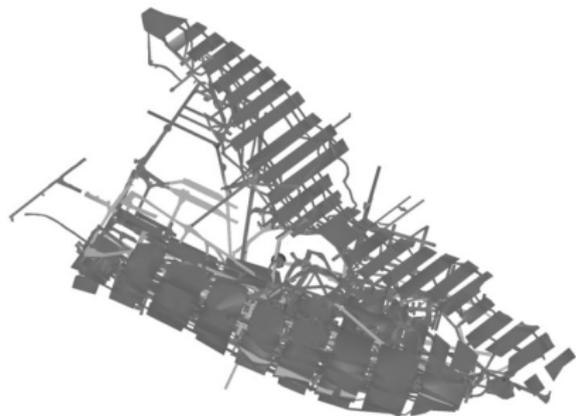
6 Mikroseismische Überwachung

- Mikroseismiknetz
- Zeitliche Entwicklung der Mikroseismizität (Überblick)
- Aktuelle Mikroseismizität
- Cluster bei der Einlagerungskammer 6/750
- Cluster bei der Einlagerungskammer 4/750
- Cluster im Bereich der 700- bis 775-m-Sohle
- Mikroseismische Aktivität östlich des Grubengebäudes bei R15-S1 Erkundungsbohrung
- Zusammenfassung

Mikroseismische Aktivität östlich des Grubengebäudes (Manuelle Auswertung, 01.03.2021 bis 31.05.2021)



Mikroseismische Aktivität östlich des Grubengebäudes (Manuelle Auswertung, 01.03.2021 bis 31.05.2021)



Draufsicht



6 Mikroseismische Überwachung

- Mikroseismiknetz
- Zeitliche Entwicklung der Mikroseismizität (Überblick)
- Aktuelle Mikroseismizität
- Cluster bei der Einlagerungskammer 6/750
- Cluster bei der Einlagerungskammer 4/750
- Cluster im Bereich der 700- bis 775-m-Sohle
- Mikroseismische Aktivität östlich des Grubengebäudes bei R15-S1 Erkundungsbohrung
- Zusammenfassung

Zusammenfassung (Mikroseismizität und Stabilisierung)

Die mikroseismische Aktivität liegt insgesamt weiter auf hohem Niveau.

Ursachen der Mikroseismizität sind

- Vorschädigungen,
- geologisch vorgeprägte Trennflächen,
- hohe Beanspruchung,
- ungünstige Geometrie,
- hoher Durchbauungsgrad,
- lange Standzeit

bzw. deren Zusammenspiel.

- Bohrtätigkeiten insbesondere im Deckgebirge

Stabilisierungsmaßnahmen sind notwendig, um weitere Schädigungsprozesse zu begrenzen.

Ausreichende Stabilisierungsmaßnahmen führen auf lange Sicht zum Rückgang der Mikroseismizität.

Zusammenfassung (Mikroseismizität)

- Die Aktivität des Cluster bei der ELK 4/750 ist nach Stabilisierungen in der Umgebung ab etwa April 2018 signifikant zurückgegangen.
- Auf Grundlage der Ereignisrate ist die Mikroseismizität insgesamt um circa 13% zurückgegangen.
- Die Steigung der kumulativen Energie ist wieder auf das übliche Mittel zurückgegangen.

Oberer Baufeldrand

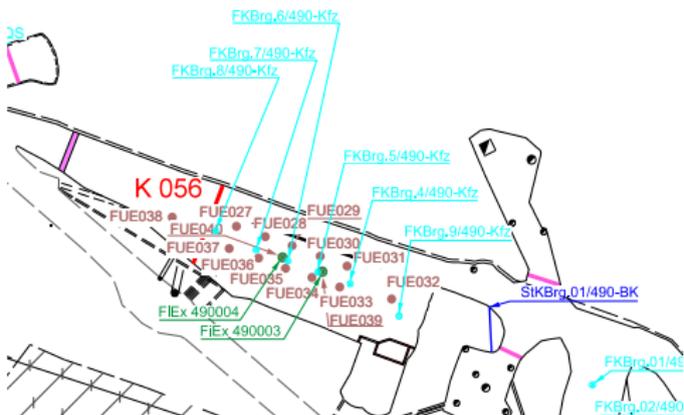
Kfz-Werkstatt - Übersicht



Blick in die Kfz-Werkstatt nach Westen, 17.06.2021

Oberer Baufeldrand

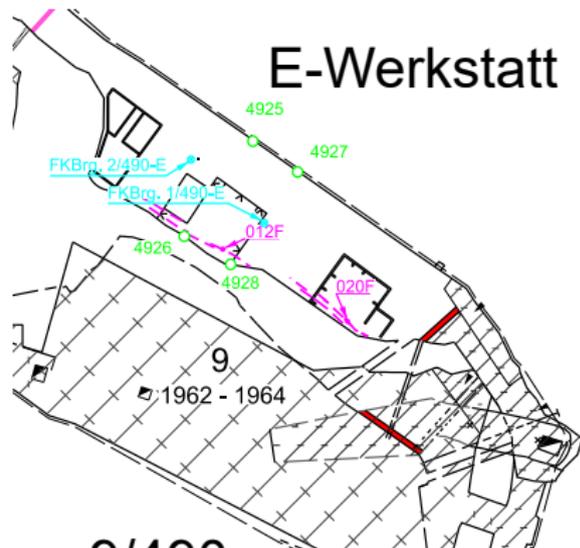
Kfz-Werkstatt - Neuinstrumentierung



- Ergebnisse zeigen keine signifikanten gebirgsmechanischen Bewegungen
 - horizontale Verformungsrate beträgt $0,2\text{‰}/a$
 - Firstüberwachungspunkte, Kontrollbohrungen und Firsttextensometer zeigen keine Auflockerungen im Firstbereich
- ⇒ Ergebnisse zeigen keine relevanten Firstbewegungen in diesem Bereich

Oberer Baufeldrand

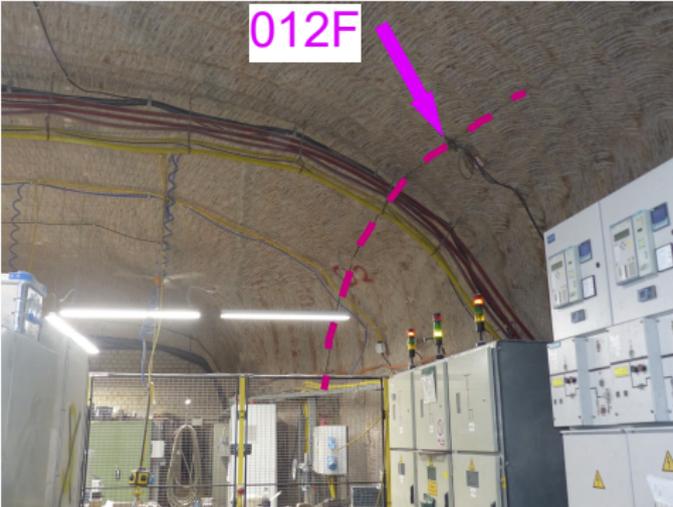
E-Werkstatt - Übersicht



Blick in die E-Werkstatt nach Osten

Oberer Baufeldrand

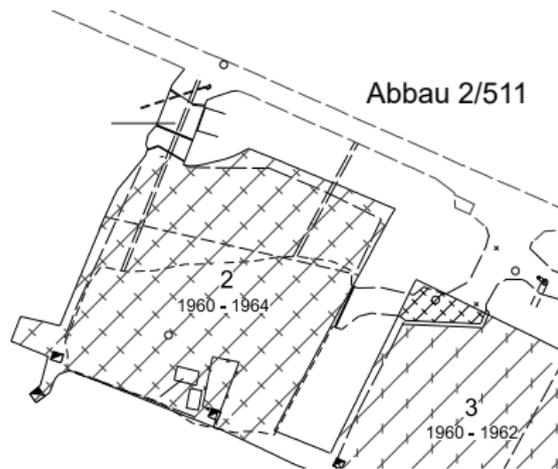
E-Werkstatt - Rissentwicklung



- Risse zeigen weiterhin Verlängerungen der Risslängen
- Verschiebungsgeschwindigkeiten sind im Jahr 2020 konstant
- je nach weiterer Entwicklung sind ggf. Stabilisierungsmaßnahmen erforderlich

Oberer Baufeldrand

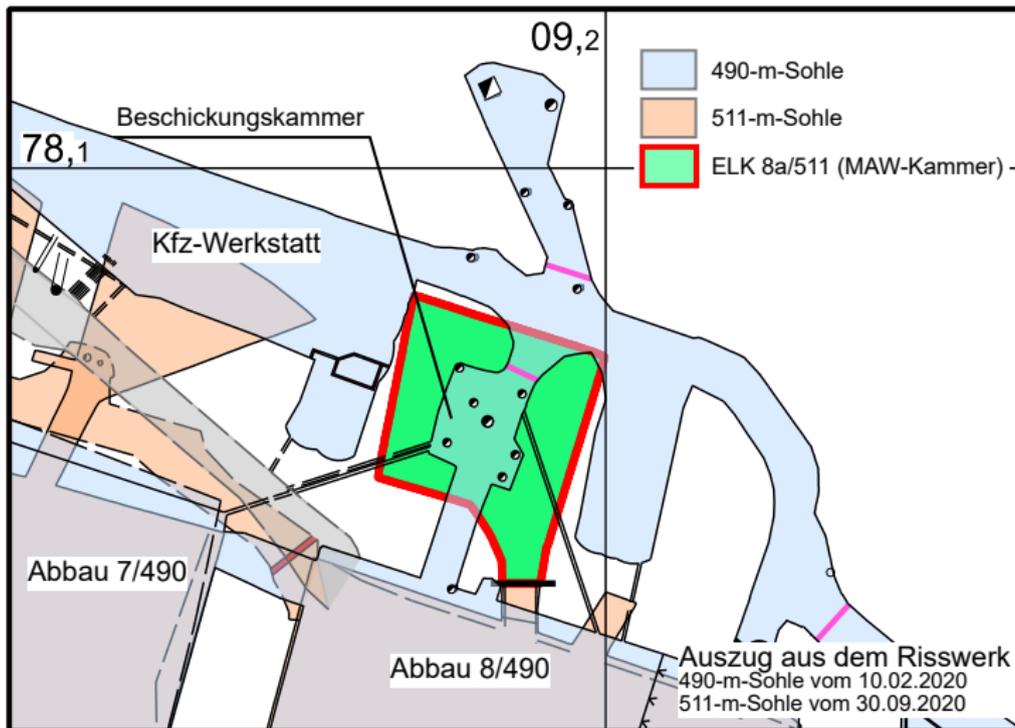
Abbau 2/511



Blick in den Abbau 2/511

Oberer Baufeldrand

Beschickungskammer/MAW-Kammer - Übersicht



Oberer Baufeldrand

Beschickungskammer/MAW-Kammer - Übersicht



Blick in die Beschickungskammer vom 06.01.2021

Oberer Baufeldrand

Zusammenfassung & Fazit

Abbau 3/490

- Konvergenzraten zeigen 2020 einen leichten Anstieg
- mikroakustische Aktivität insbesondere im südlichen angrenzenden Übergangsbereich Salz-Deckgebirge im Vergleich zu 2019 leicht erhöht
- mikroakustische Aktivität in der Firste 2020 auf einem vergleichbaren Niveau. Anfang 2021 sehr starker Anstieg
- Anzeichen für eine kontinuierliche Auflockerung und fortschreitende Schädigung (Ankerplatte)
- nach Inbetriebnahme der neuen Lösungsspeicherbecken ist der Rückzug und eine vollständige Verfüllung des Abbaues vorgesehen

Oberer Baufeldrand *(Forts.)*

Zusammenfassung & Fazit

Zentraler Bereich der 490-m-Sohle

- Sanierungsmaßnahmen so gut wie abgeschlossen

Kfz-Werkstatt

- keine gebirgsmechanisch relevante Firstbewegung und Verformungen zu beobachten

Oberer Baufeldrand *(Forts.)*

Zusammenfassung & Fazit

E-Werkstatt

- Risse zeigen weiterhin Verlängerungen der Risslängen
- je nach weiterer Entwicklung sind ggf. Stabilisierungsmaßnahmen im südlichen Bereich erforderlich

Abbaue 8/490, 9/490 und 2/511

- keine gebirgsmechanisch relevanten Änderungen
- Abbau 8/490 und 2/511 wurden teilweise saniert

Oberer Baufeldrand (Forts.)

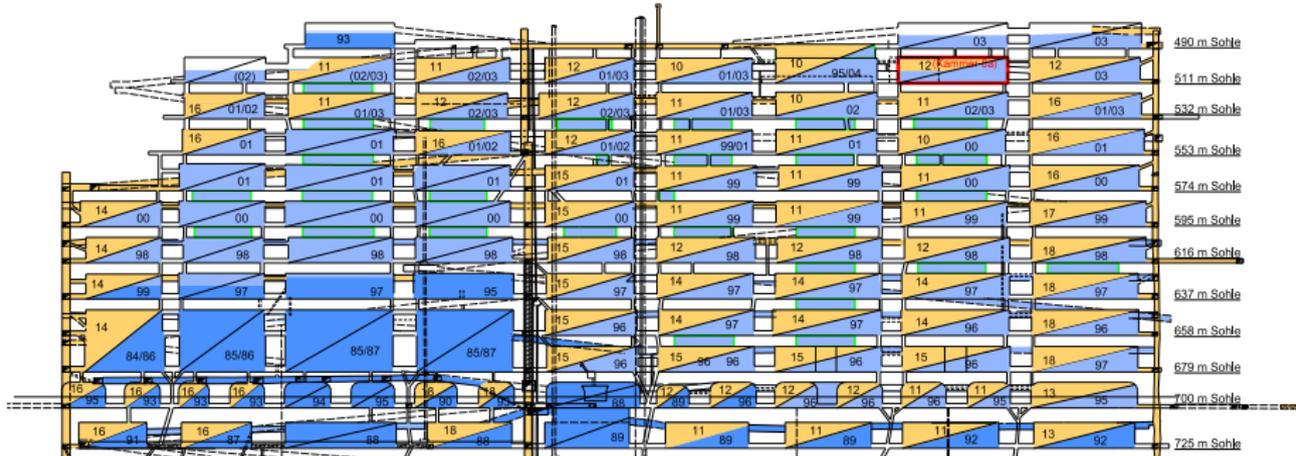
Zusammenfassung & Fazit

Beschickungskammer/MAW-Kammer

- Gebrauchstauglichkeit ist derzeit gegeben
 - Firstspalt unterhalb der Schwebelinie der MAW-Kammer und die Resthohlräume im Nahbereich auf der 532-m-Sohle verfüllt
 - Pfeilerstauchungsraten in diesem Bereich im Jahr 2021 nicht wie erhofft rückläufig
- ⇒ Für eine Beurteilung der Schwebelinie zwischen der Beschickungskammer 8a/490 und der ELK 8a/511 („MAW-Kammer“) sind visuelle Begutachtungen der vorhandenen Bohrungen und eine Inspektion des Firstbereiches in der ELK 8a/511 weiterhin dringend zu empfehlen.

Westflügel des Baufeldes an der Südflanke

Firstspaltverfüllung im Schnitt 1 (Stand 05/2021)

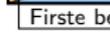


 Eigenversatz

 Ronnenbergversatz

 Sorelbeton

 Schwebendurchbruch

Schema
 Abbau verfüllt
 Firste betoniert

Westflügel des Baufeldes an der Südflanke

Gebirgsmechanische Situation

- Die Abbaureihen 2 und 4 zwischen der 574-m- und 616-m-Sohle sind durch mehrere Schwebenbrüche gekennzeichnet
- Ergebnisse der Spannungsmessungen deuten auf hochbeanspruchte und überwiegend entfestigte, aber im Bereich der Schweben noch intakte, Pfeilerkerne oberhalb der 658-m-Sohle hin
- Pfeilerstauchungsmaximum im Bereich der Abbaureihen 3 bis 5 der 553-m- bis 574-m-Sohle
- aktuell betragen die Pfeilerstauchungsraten in diesem Bereich ca. 66 mm/a
- die visuelle Begutachtung von Bohrungen zeigten insbesondere im Pfeiler 2/3 vertikale Risse mit Öffnungsweiten im dm-Bereich

Übersicht

7 Lokale Monitoringprogramme

- Infrastrukturbereiche am oberen Baufeldrand (490-m-Sohle und Abbau 2/511) und die MAW-Kammer
- Westflügel des Baufeldes an der Südflanke
- **Wendelstrecke im Bereich der 616- bis zur 775-m-Sohle**
- Monitoring 700-m-Sohle
- 725-m-Sohle (Gleitbogenausbaustrecke)
- 750-m-Sohle: östlicher Bereich und Füllort Schacht 2

Wendelstrecke 616-m-Sohle Bereich Pfeilerreihe 4/5

Überblick

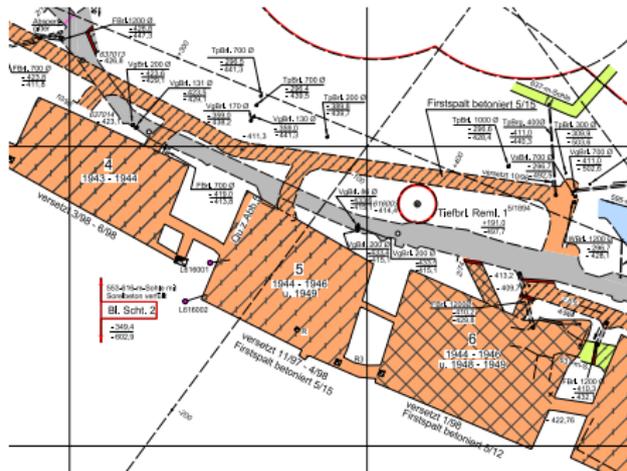
- 2019: Am Süd- und Nordstoß wurden Rissbildungen in ca. 2 m Abständen festgestellt.
 - ⇒ Georadaruntersuchung durchgeführt
 - ⇒ konturnahe Reflektoren an den Stößen und Firste
 - ⇒ und im Bereich der versetzten Abbauzugänge im Firstniveau (Abstand zur Firste der Wendelstrecke: 2–10 m)

- 2020: Erkundungsbohrungen in die verfüllte unterliegende Wendelstrecke und versetzte Firststrecke erstellt:
 - Firstspalte im Zenti-/Dezimeterbereich detektiert.
 - Empfehlungen:
 - ⇒ Nachverfüllung
 - ⇒ Monitoring und bei Bedarf Stützbauwerke am Stoß

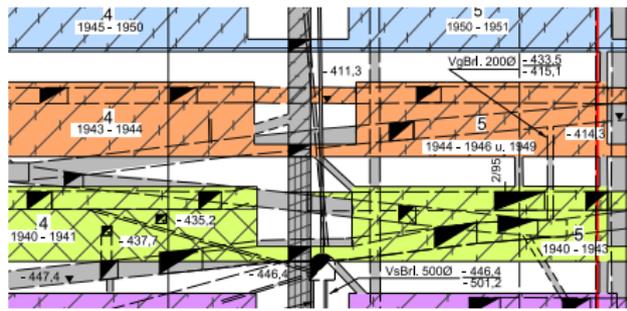
Wendelstrecke 616-m-Sohle Bereich Pfeilerreihe 4/5

Übersicht des Monitoringbereiches

Sohlenriss

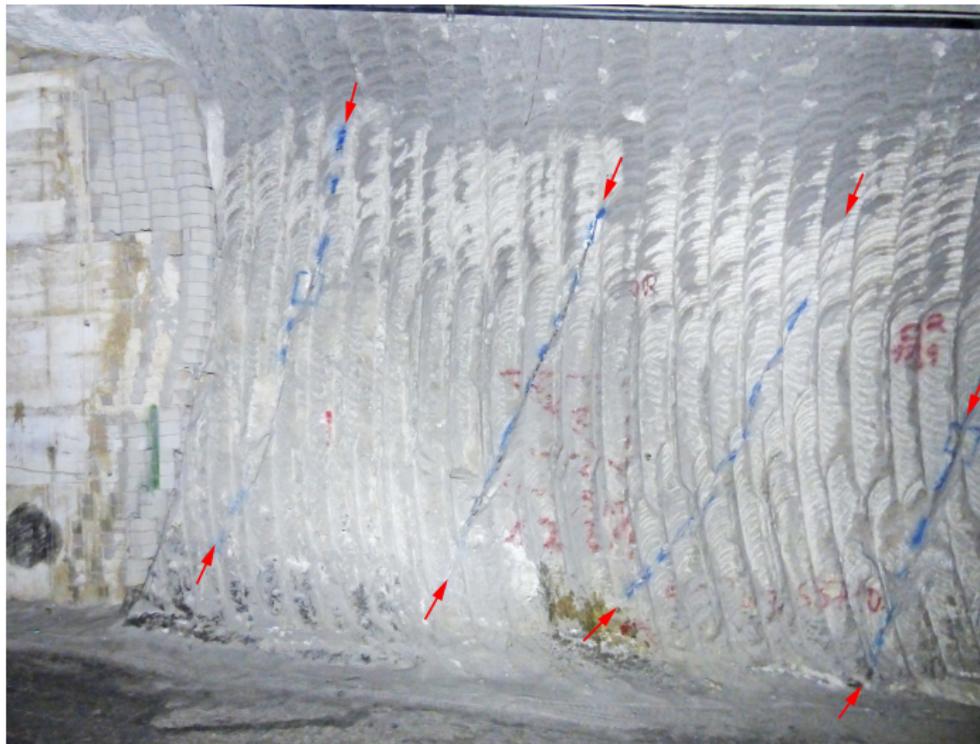


Schnitt



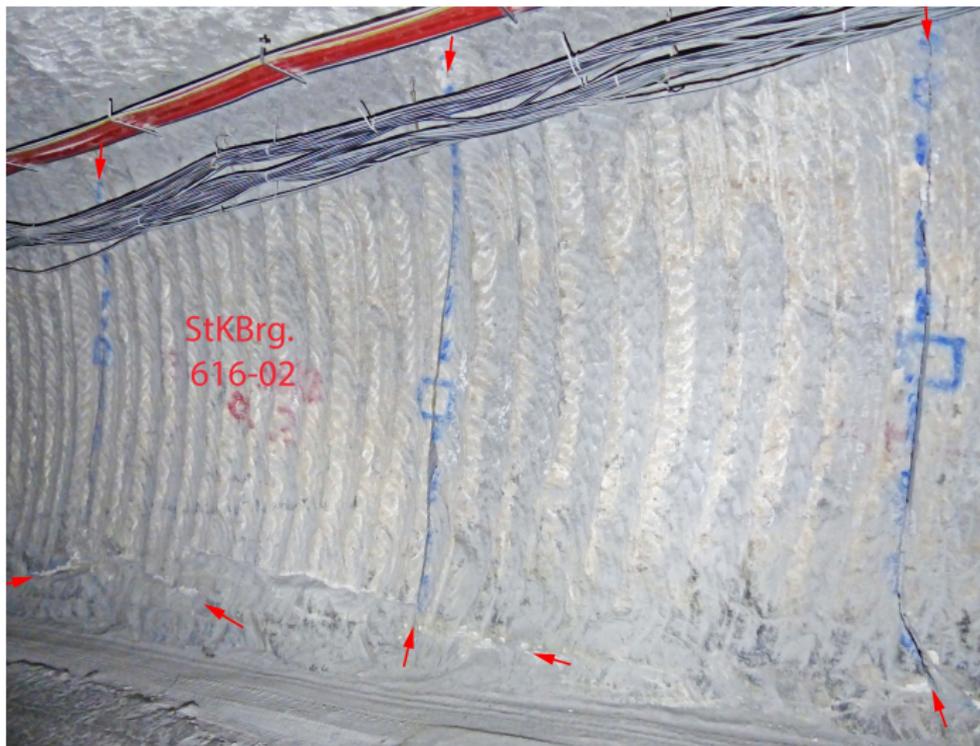
Wendelstrecke 616-m-Sohle Bereich Pfeilerreihe 4/5

Fotodokumentation, Südstoß; Aufnahme vom 09.06.2020



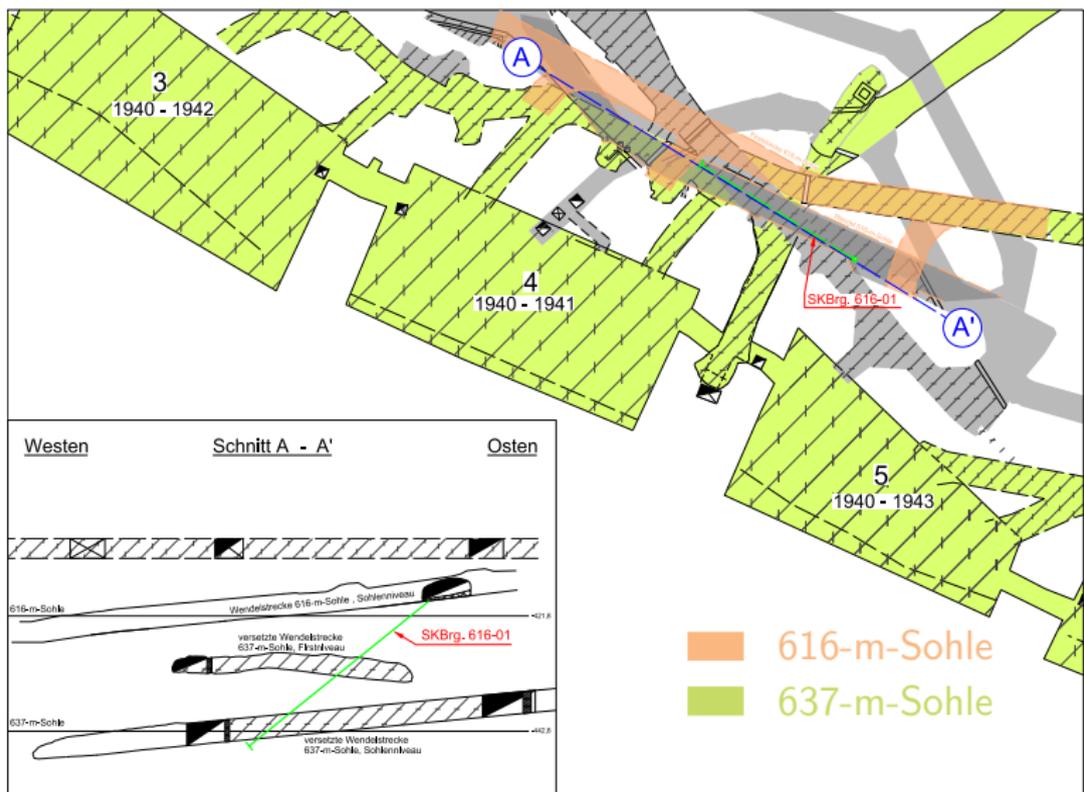
Wendelstrecke 616-m-Sohle Bereich Pfeilerreihe 4/5

Fotodokumentation, Nordstoß; Aufnahme vom 09.06.2020



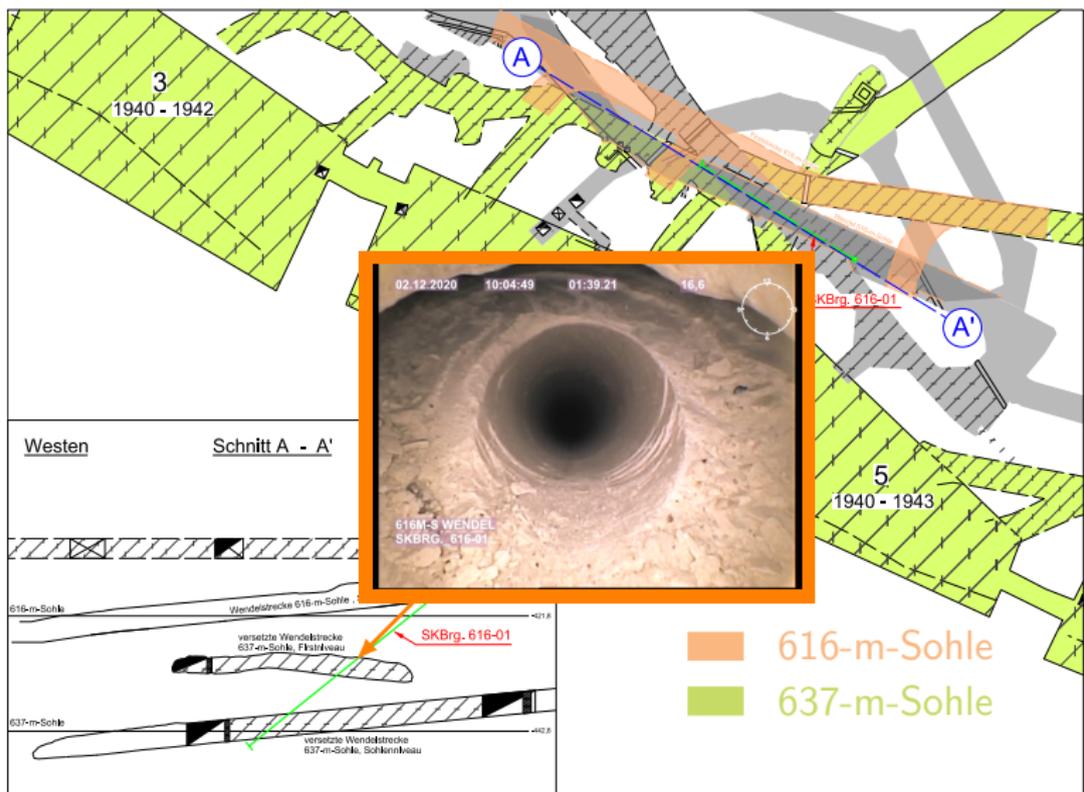
Wendelstrecke 616-m-Sohle Bereich Pfeilerreihe 4/5

Erkundungsbohrungen, Lage der Bohrungen unterhalb der Wendel



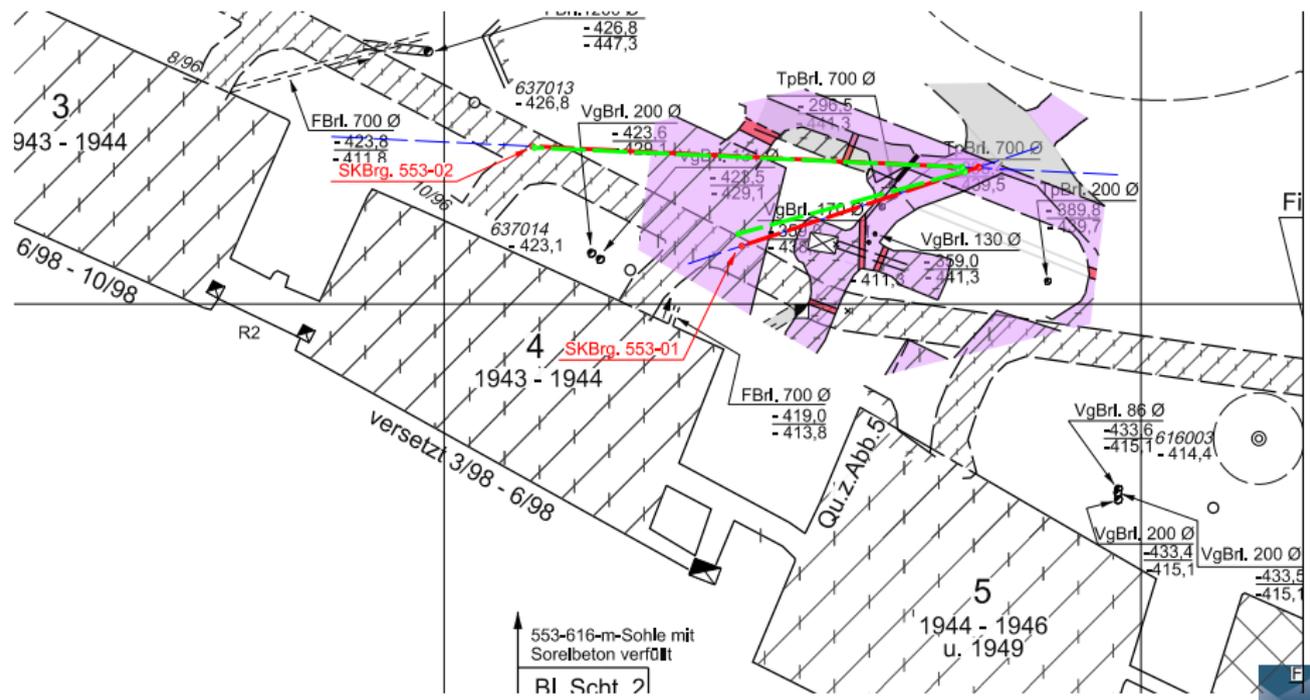
Wendelstrecke 616-m-Sohle Bereich Pfeilerreihe 4/5

Erkundungsbohrungen, Ergebnisse der Bohrlochinspektion unterhalb der Wendel



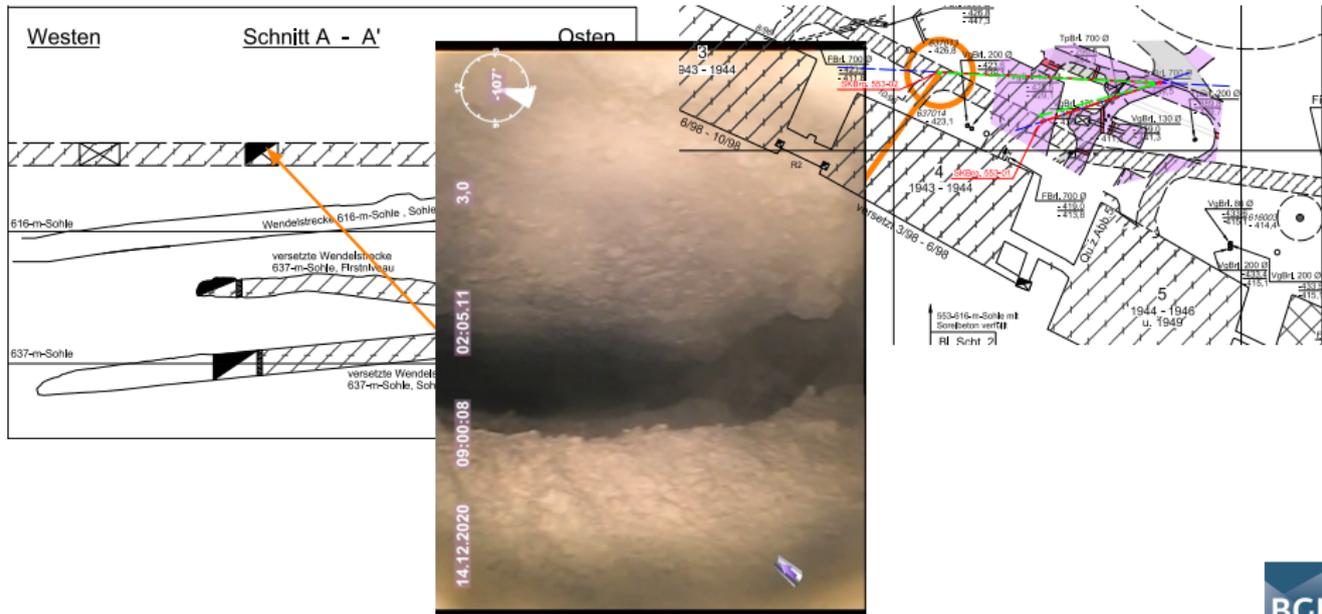
Wendelstrecke 616-m-Sohle Bereich Pfeilerreihe 4/5

Erkundungsbohrungen, Lage der Bohrungen – Endpunkt Firststrecke



Wendelstrecke 616-m-Sohle Bereich Pfeilerreihe 4/5

Erkundungsbohrungen, Ergebnisse der Bohrlochinspektion – Endpunkt Firststrecke

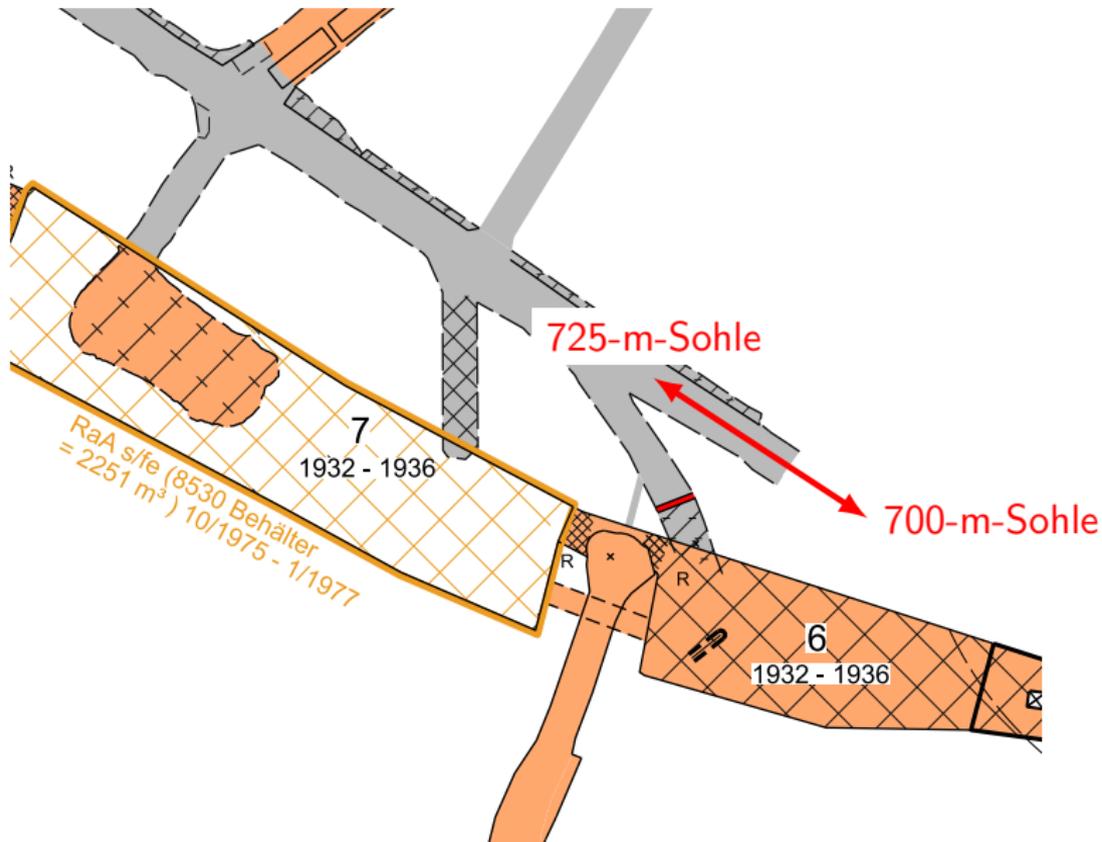


Wendelstrecke 700–725, Zugang Abbau 6/725 (Na2)

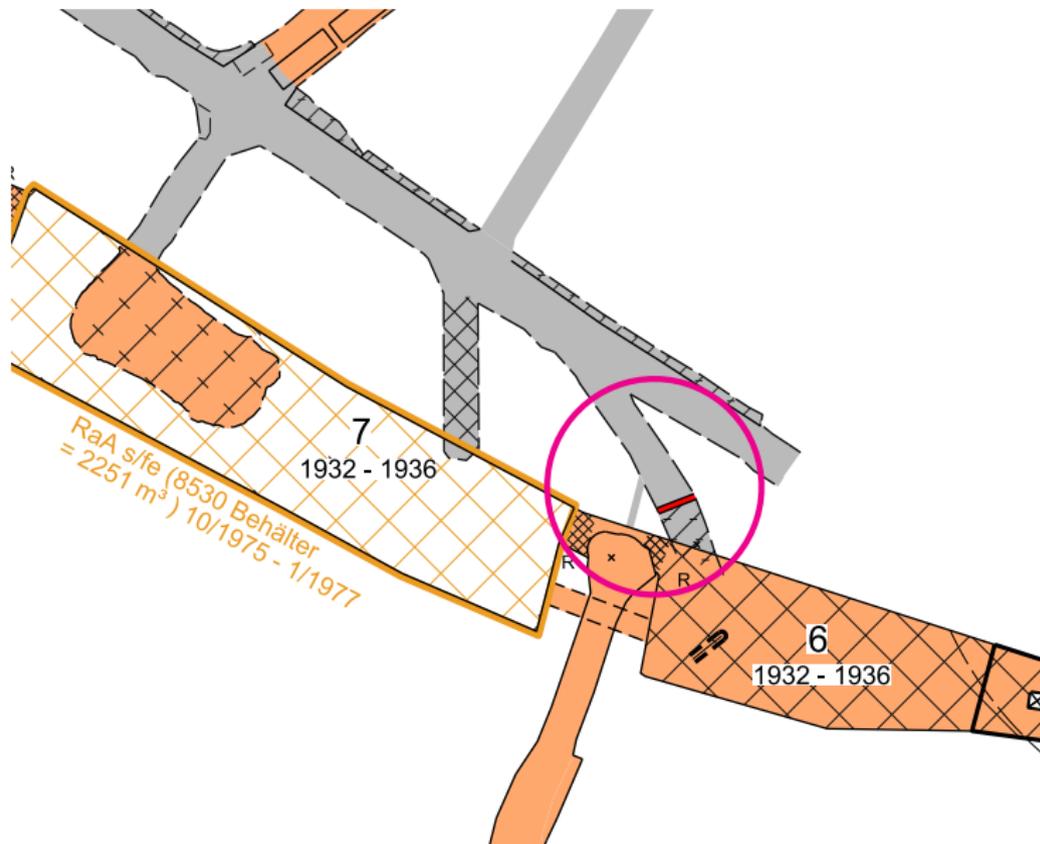
Ist-Stand

- oberer Bereich des Abbaus 6/725 (Na2) mit 2.670 m³ Sorelbeton verfüllt.
- Unverfüllter Bereich vom abgemauerten Zugang zum Abbau 6/725 (Na2) bis zur Einbindung in die Wendelstrecke:
 - ⇒ Flucht- und Wetterbohrung zur 725-m-Sohle
 - ⇒ Umstellung der Bewetterung (Radonbohrung 1)
- umfangreiche Sanierung im Anschluss erforderlich

Wendelstrecke 700–725: Übersicht



Wendelstrecke 700–725: Übersicht



Wendelstrecke 700–725: Fotos

Blick in Richtung 700-m-Sohle Zufahrt zur Baustoffanlage, Aufnahme vom 09.06.2021



Nordstoß
Wendelstrecke

Zufahrt ↗
Abb. 6/725 (Na2)



Wendelstrecke 725–750: Chronologie

- Nachschnitt 2015: Stützbauwerke im oberen Bereich erstellt
- im unteren Bereich wurden keine Stützbauwerke an den Stößen erstellt
- Fortschreitende Aufblätterung/Abschalung in den nachgeschnittenen Bereichen
- Radarmessungen Ende 2019
- Empfehlungen für 1 m mächtiges Stützbauwerk am Nordstoß in Umsetzung (ca. 50 m fertiggestellt)

Wendelstrecke 725–750: östlicher Abschnitt (unterer Teil)

Festgestellte Schädigungen



Wendelstrecke 725–750: östlicher Abschnitt (unterer Teil)

Sanierungsmaßnahmen; Aufnahme vom 09.06.2021



Wendelstrecke 725–750: östlicher Abschnitt (unterer Teil)

Sanierungsmaßnahmen; Aufnahme vom 09.06.2021



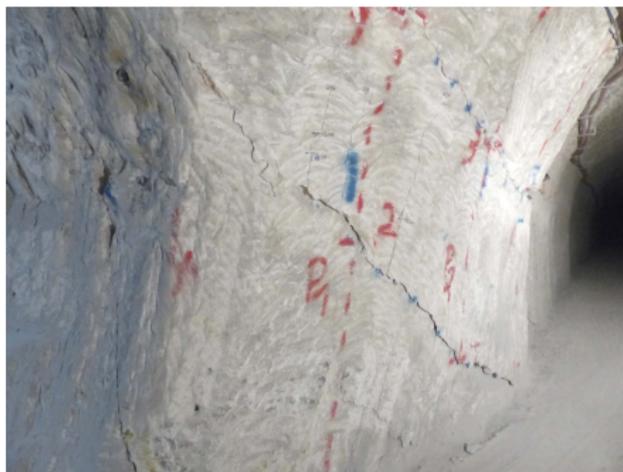
Wendelstrecke 750–775: Chronologie

- Ende 2014 erfolgte südlich der ehemaligen Strecke eine Neuauffahrung.
- Bereits im Rahmen der Vorerkundung (Kernbohrungen) wurden gebirgsmechanisch vorgeschädigte Bereiche festgestellt.
- Ungefähr 6 Monate nach der Auffahrung wurden Rissbildungen an beiden Stößen im östlichen (oberen) Drittel der Neuauffahrung detektiert

Wendelstrecke 750–775: 2014 aufgefahrener Abschnitt

Festgestellte Schädigungen – Oberer Abschnitt

Aufnahme vom 14.06.2018



Aufnahme vom 26.08.2020



Wendelstrecke 750–775: 2014 aufgefahrener Abschnitt

Sanierung – Oberer Abschnitt; 09.06.2021



Übersicht

7 Lokale Monitoringprogramme

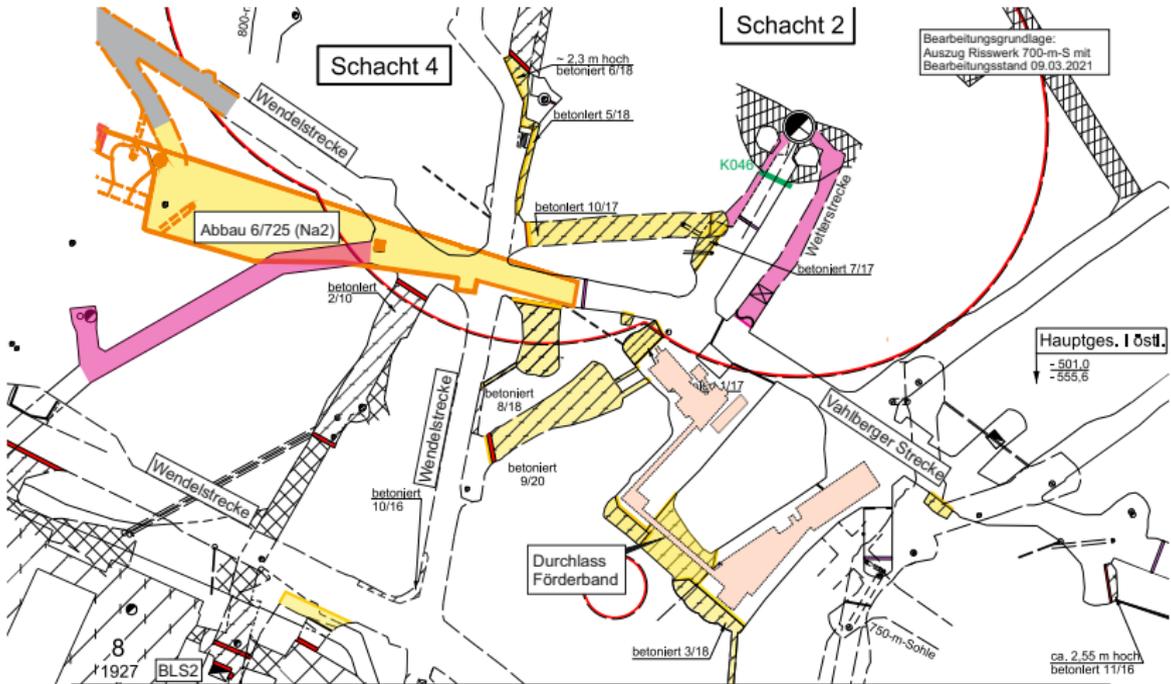
- Infrastrukturbereiche am oberen Baufeldrand (490-m-Sohle und Abbau 2/511) und die MAW-Kammer
- Westflügel des Baufeldes an der Südflanke
- Wendelstrecke im Bereich der 616- bis zur 775-m-Sohle
- **Monitoring 700-m-Sohle**
- 725-m-Sohle (Gleitbogenausbaustrecke)
- 750-m-Sohle: östlicher Bereich und Füllort Schacht 2

Allgemeines

- Maßnahmen auf der 700-m-Sohle weitgehend abgeschlossen
- Aufwältigung des Querschlags in Richtung Abbau 7/700 hat begonnen, um das Kipploch zur 1. südl. Richtstrecke nach Westen auf der 750-m-Sohle zu verfüllen und später eine Strömungsbarriere zu errichten.
- Aufwältigung und Verfüllung der ehem. Wetterstrecke zum Schacht 2 offen
- Jährliche Inspektion der 8 m hohen Firste im Bereich der Baustoffanlage

⇒ Fortschreitende Entfestigungen

Grundriss der 700-m-Sohle



Bearbeitungsgrundlage:
Auszug Risswerk 700-m-S mit
Bearbeitungsstand 09.03.2021

verfüllt

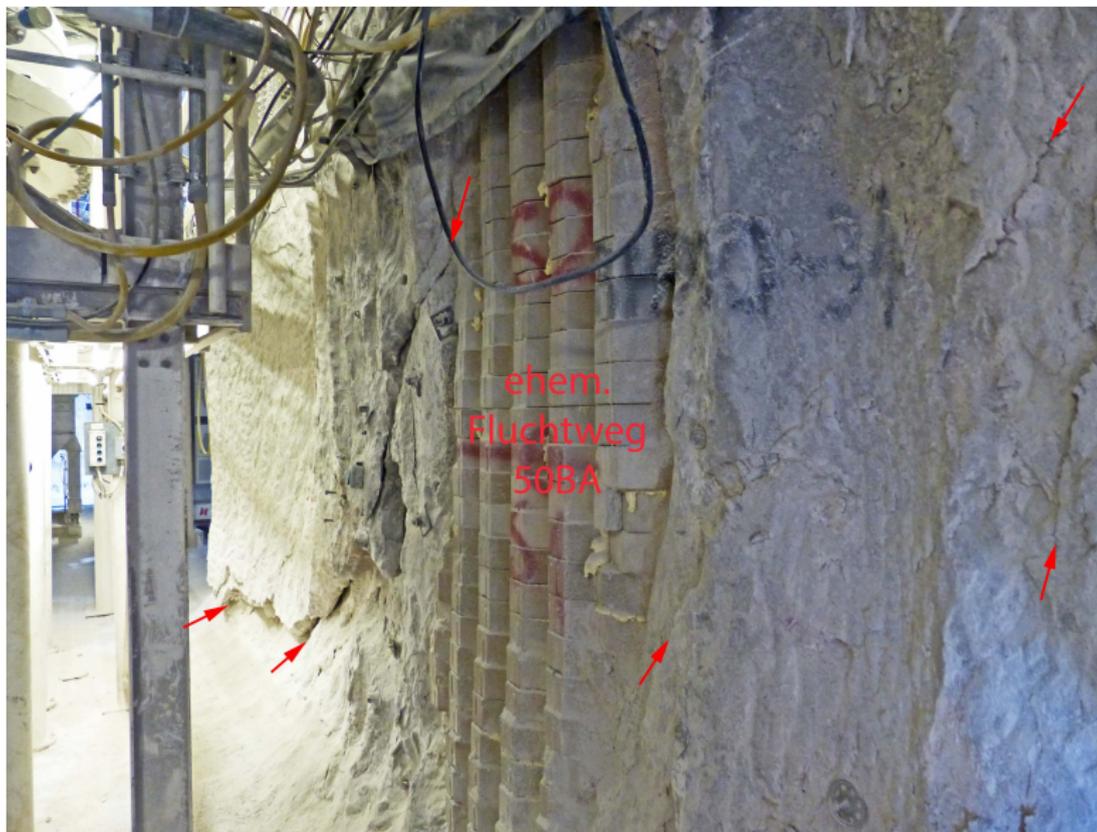
Vorbereitung

20 BA

725-m-S



Fotos



Fotos



Fotos



Übersicht

7 Lokale Monitoringprogramme

- Infrastrukturbereiche am oberen Baufeldrand (490-m-Sohle und Abbau 2/511) und die MAW-Kammer
- Westflügel des Baufeldes an der Südflanke
- Wendelstrecke im Bereich der 616- bis zur 775-m-Sohle
- Monitoring 700-m-Sohle
- 725-m-Sohle (Gleitbogenausbaustrecke)
- 750-m-Sohle: östlicher Bereich und Füllort Schacht 2

Allgemeines

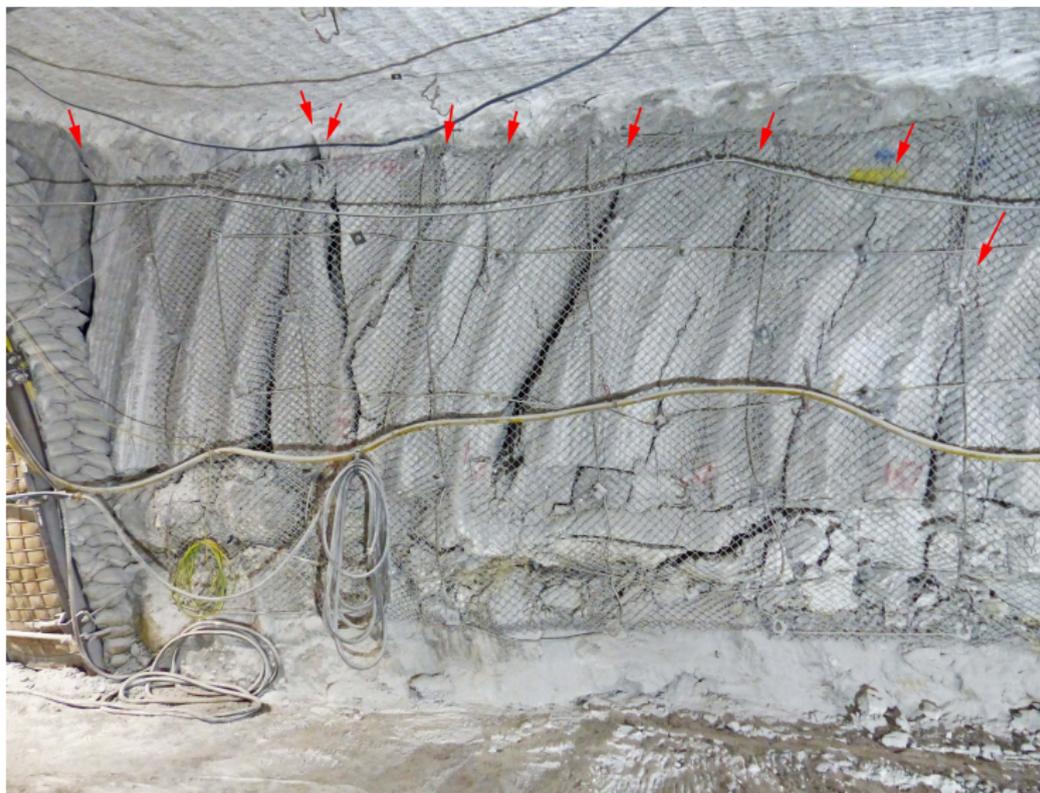
- Auffahrung einer Strecke im nördlichen Bereich der Abbaue 1 bis 4 und Sicherung durch einen Gleitbogensausbau 2003 bis 2005
- Sichtbare Entfestigungserscheinungen
- Sanierungskonzept:
 - Sammelrinnen für Lösungstransport zur Bohrung
 - Fassung der Lösung in Bezug zur Abbaureihe 2, 3 oder 4
 - Erstellung von drei Bewirtschaftungsbohrungen aus der Wendel 679–700

725: Blick nach Osten

vom Pfeiler 3/4 in Richtung Pfeiler 4/5

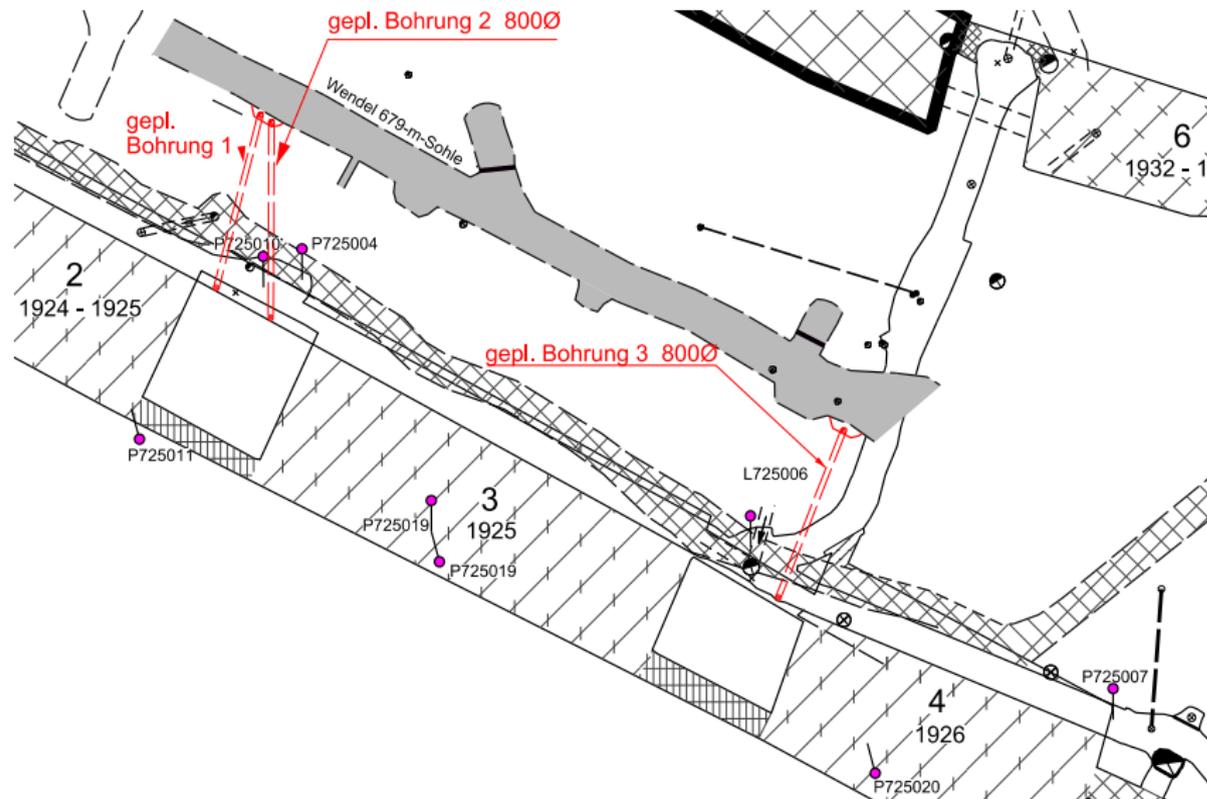


Pfeiler 3/4, 725-m-Sohle



Sanierungskonzept

Lage der Bewirtschaftungsbohrungen



Übersicht

7 Lokale Monitoringprogramme

- Infrastrukturbereiche am oberen Baufeldrand (490-m-Sohle und Abbau 2/511) und die MAW-Kammer
- Westflügel des Baufeldes an der Südflanke
- Wendelstrecke im Bereich der 616- bis zur 775-m-Sohle
- Monitoring 700-m-Sohle
- 725-m-Sohle (Gleitbogenausbaustrecke)
- 750-m-Sohle: östlicher Bereich und Füllort Schacht 2

750-m-Sohle

Status

- Maßnahmen zum Erhalt einer temporären Weiternutzung des Füllorts Schacht 2 fast beendet;

- Sanierungsmaßnahmen im Bereich der Richtstrecke nach Osten und Abbau 5/750 (Na2) fast beendet

- Umfangreiche Verfüll- und Abdichtmaßnahmen im Osten der 750- bzw. 725-m-Sohle mit Abschluss der Faktenerhebung notwendig



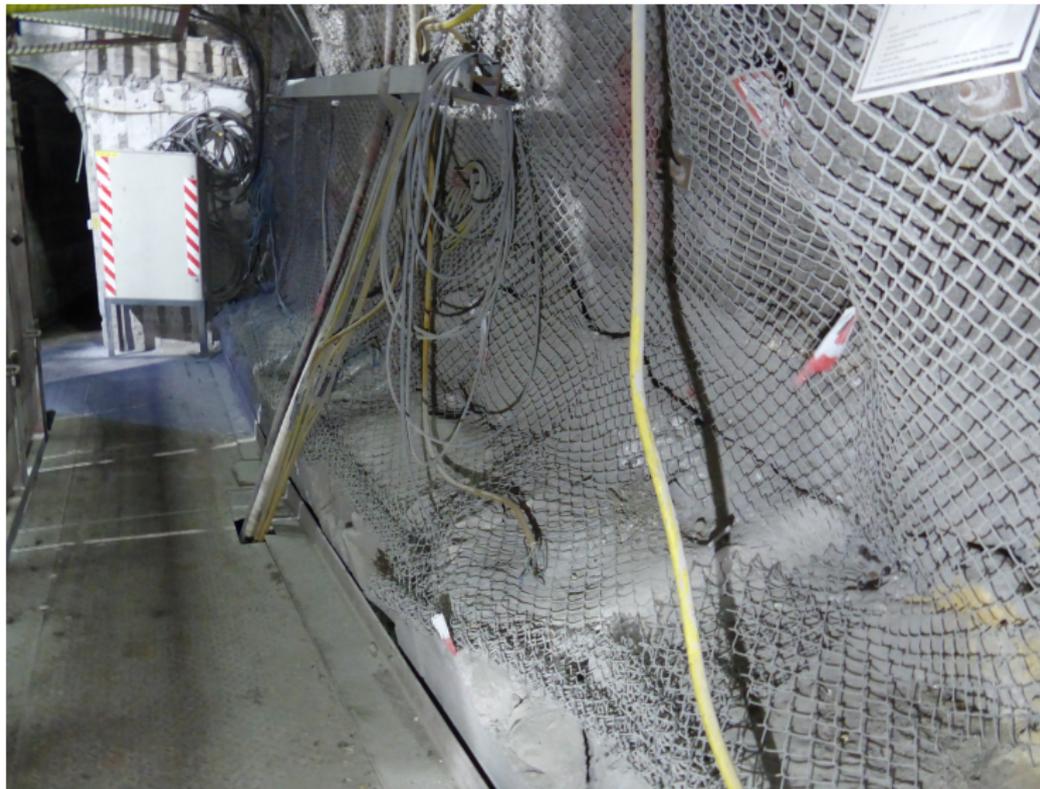
750: Füllort Schacht 2

Stand: 09.06.2021



750: Füllort Schacht 2

Stand: 09.06.2021



750: Fotos der erfolgten Sanierungen

Nördliche Richtstrecke nach Osten



750: Fotos der erfolgten Sanierungen

Nördliche Richtstrecke nach Osten; Aufnahme vom 09.06.2020



750: Fotos vor der Sanierung

Nördliche Richtstrecke nach Osten; Aufnahme vom 19.07.2018



750: Fotos der erfolgten Sanierungen

Nördliche Richtstrecke nach Osten; Aufnahme vom 09.06.2020



750: Fotos der erfolgten Sanierungen

Nördliche Richtstrecke nach Osten / Zugang Abbau 5/750 (Na2); Aufnahme vom 09.06.2020



Teil II

IfG: Bewertung des Tragsystems auf Grundlage der In-situ-Messdaten und der numerischen Modellierung

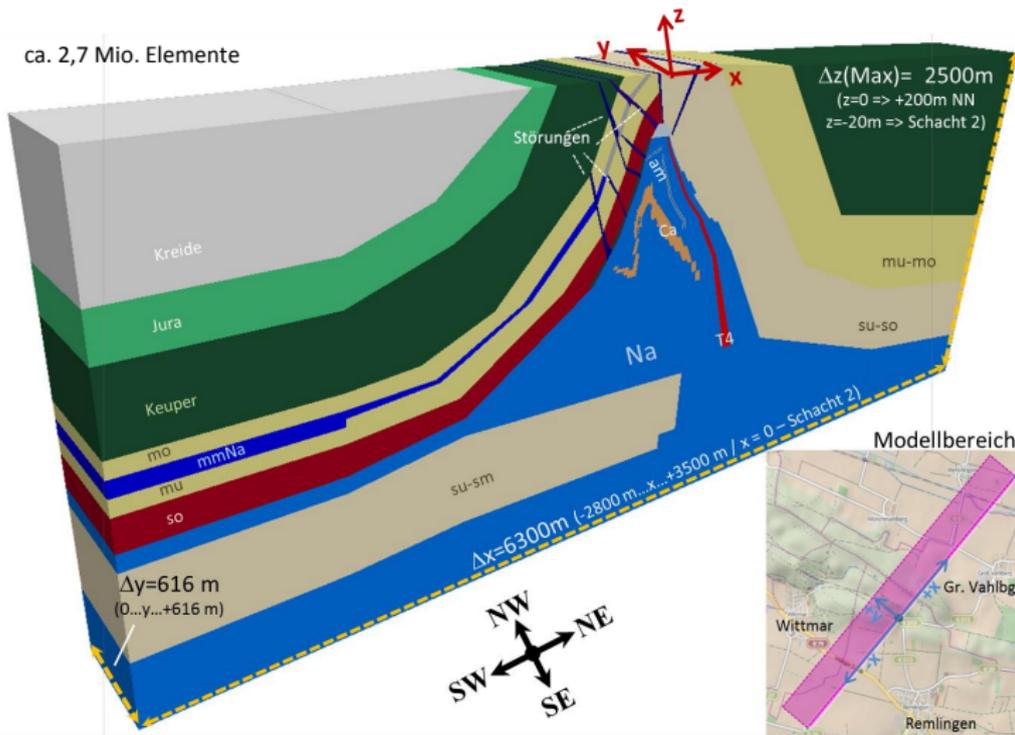
Übersicht Teil II

- 1 Bewertung und Prognose in der Zustandsanalyse 2016
- 2 Aktuelle Bewertung des Systemverhaltens
- 3 Fazit und Empfehlungen

Übersicht Teil II

- 1 Bewertung und Prognose in der Zustandsanalyse 2016
- 2 Aktuelle Bewertung des Systemverhaltens
- 3 Fazit und Empfehlungen

Gebirgsmechanisches Berechnungsmodell und geografische Zuordnung des modellierten Gebirgsausschnittes



Steinsalzabbaufeld an der Südflanke im gebirgsmechanischen Modell

Schweben:

ab 700-m-Sohle $D = 6$ m
 725/700-m-Sohle $D = 9$ m
 750/725-m-Sohle $D = 14$ m

Pfeiler:

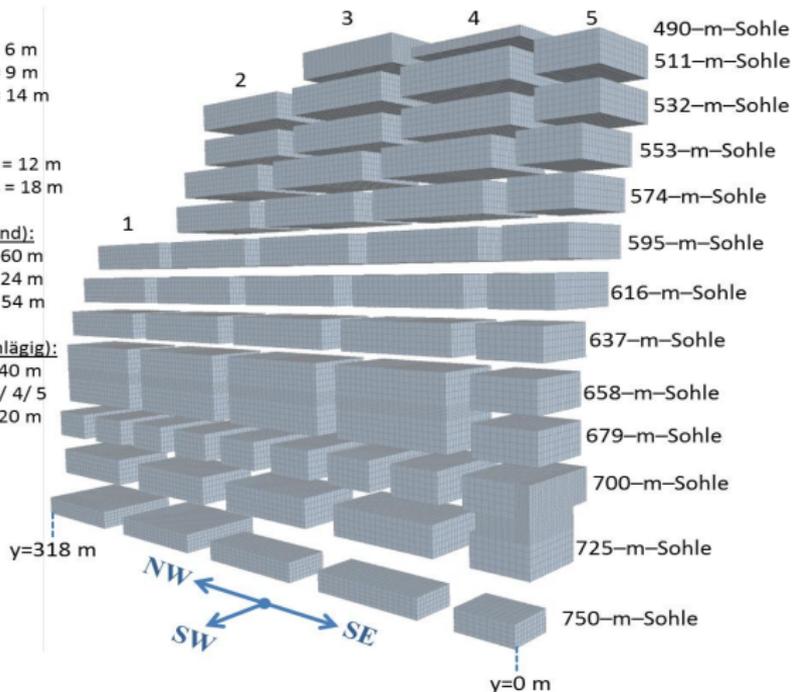
ab 700-m-Sohle $B = 12$ m
 unter 700-m-Sohle $B = 18$ m

Abbaulänge (streichend):

ab 679-m-Sohle $L = 60$ m
 700-m-Sohle $L = 24$ m
 725/750-m-Sohle $L = 54$ m

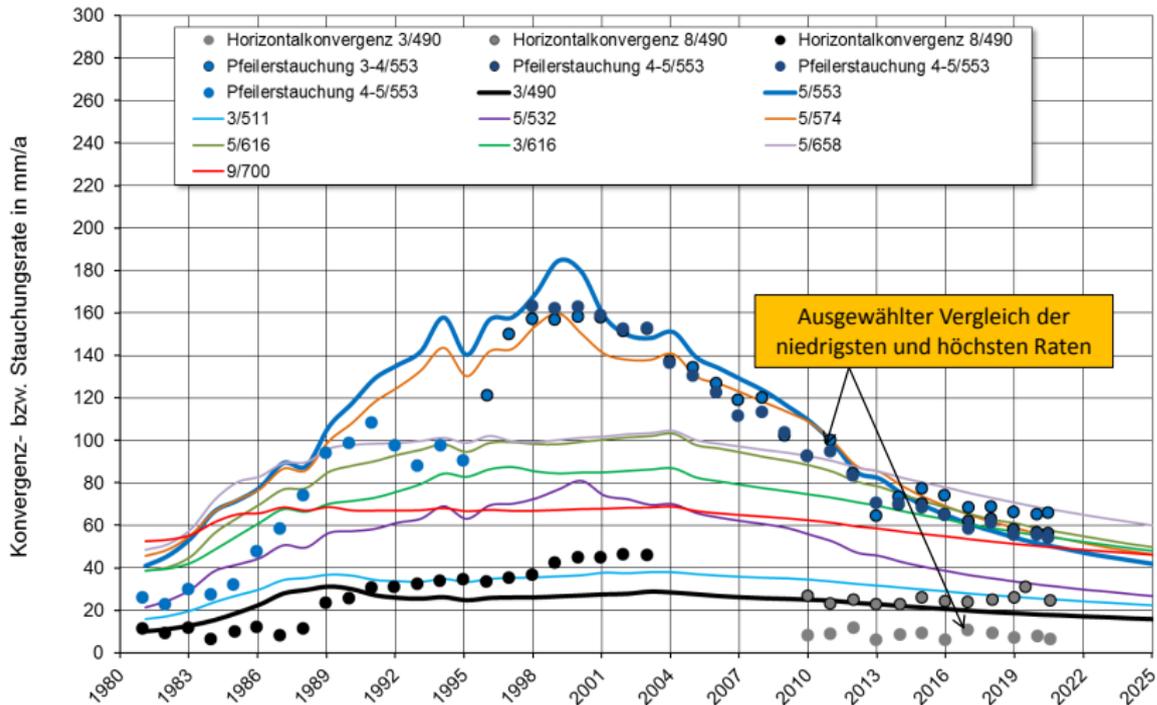
Abbaubreite (querschlägig):

Gesamtmodell $B = 40$ m
 außer Abbaureihen 3/ 4/ 5
 auf 750 m $B = 20$ m



Berechnete Stauchungsraten (TFA 2016)

für unterschiedliche Lokationen inkl. Prognose und Vergleich mit gemessenen Konvergenzen und Pfeilerstauchungen



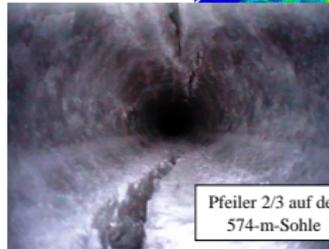
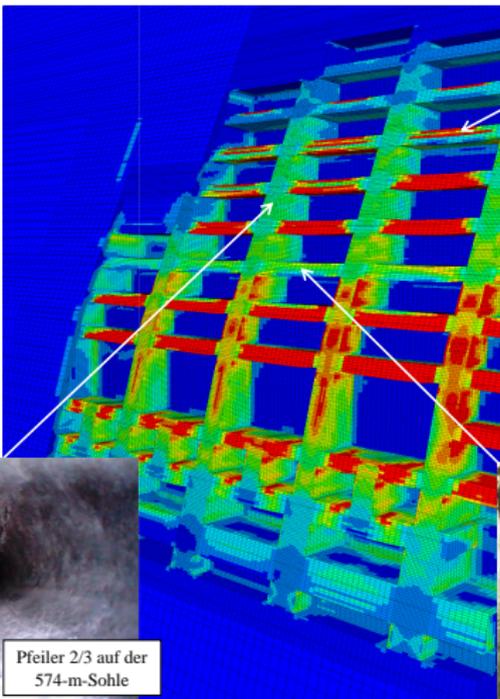
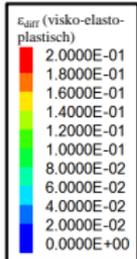
Gültigkeit der Prognose und der Systembewertung

- Der Versatzdruckaufbau (durch Firstspaltverfüllung unterstützt) wirkt den Bruchprozessen entgegen und hat zu einer deutlichen Verringerung der Deckgebirgsverschiebungsraten geführt.
 - Es liegt eine Vorausberechnung der Verschiebungsraten bis 2026 vor. Sie ist gebunden an einen weiteren Versatzdruckaufbau unter dem Vorbehalt, dass es zu keinen plötzlichen Scherbewegungen im südlichen Deckgebirge und gebirgsmechanisch relevanten Lösungseinflüssen kommt.
 - Eine darüber hinaus gehende Prognose ist abhängig von der weiteren Standortentwicklung. Nur mit einer umfassenden Stabilisierung können
 - Systembedingungen für eine längerfristige Vorhersage und
 - die Voraussetzungen für die Rückholunggeschaffen werden.
- ⇒ **Die gemessenen Pfeilerstauchungsraten bewegen sich innerhalb der prognostizierten Bandbreite und die grundsätzliche Systemeinschätzung hat sich nicht verändert.**
- ⇒ **Damit haben die in der Zustandsanalyse 2016 getroffenen Aussagen weiterhin Bestand!**

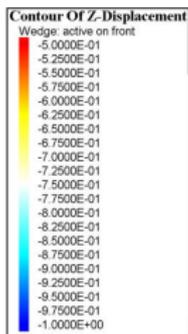
Übersicht Teil II

- 1 Bewertung und Prognose in der Zustandsanalyse 2016
- 2 Aktuelle Bewertung des Systemverhaltens**
- 3 Fazit und Empfehlungen

Berechnete visko-elasto-plastische Deformation in den Pfeilern und Schweben der Südflanke, Vergleich mit In-situ-Befunden

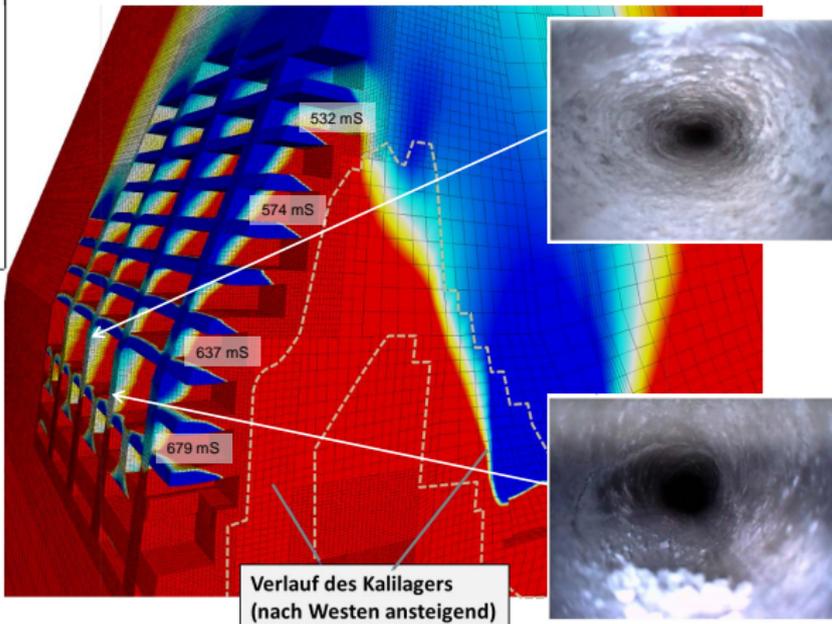


Westlicher Teil des Bergwerkes: Berechnete Vertikalverschiebungen (Beträge kleiner als -1 m und größer als $-0,5\text{ m}$ abgeschnitten) und Fotos aus Inklinometerbohrungen

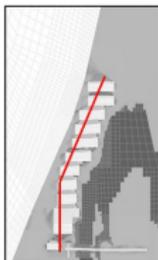


3-dimensionale Modellierung : Zeit 2014

Vertikalverschiebungen im Bereich von $-1,0\text{ m} < z < -0,5\text{ m}$

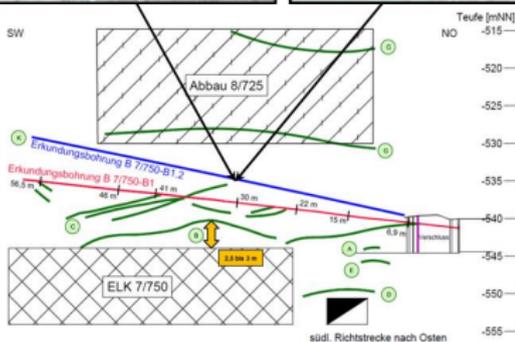
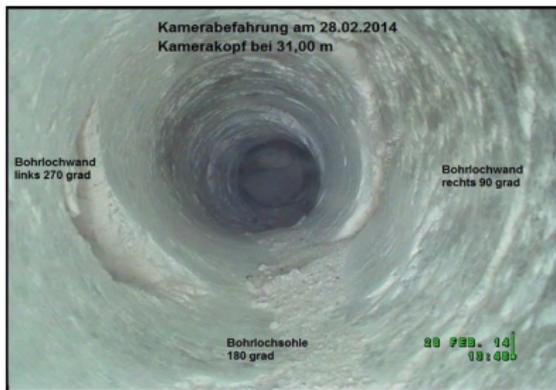


Schnittverlauf
=> südl. DG abgedeckt



Faktenerhebung ELK 7 auf der 750-m-Sohle

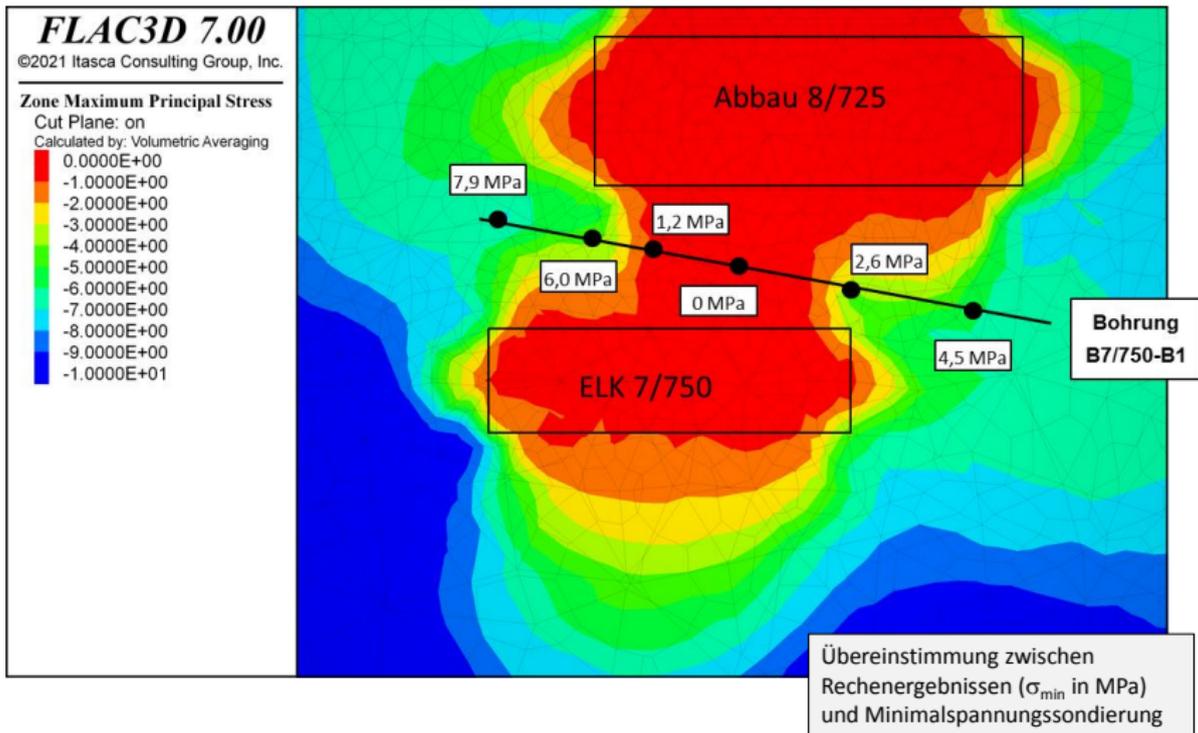
Kamerabefahrung in Bohrlöchern



Fotos aus der Bohrung B1.2:
Klaffende Risse und gebrochener
Schwebenbereich bei
Bohrlochteufe 30 m bis 32 m

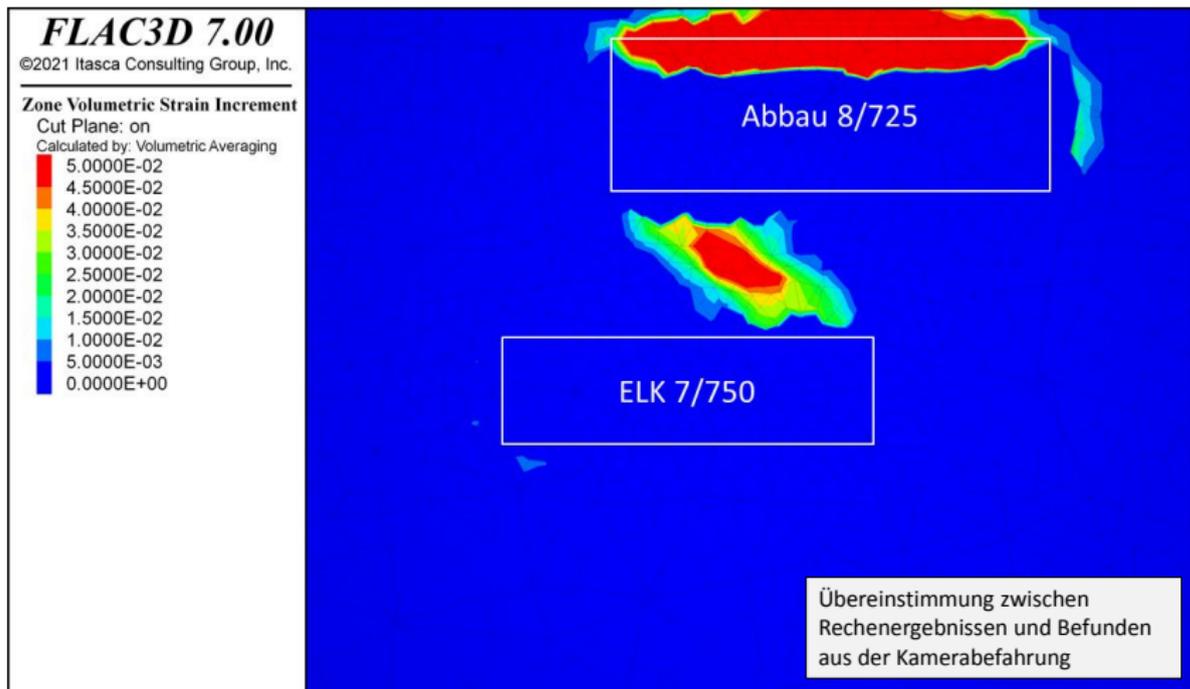
Faktenerhebung ELK 7 auf der 750-m-Sohle

Vergleich von Rechenergebnissen mit In-situ-Spannungssondierungen



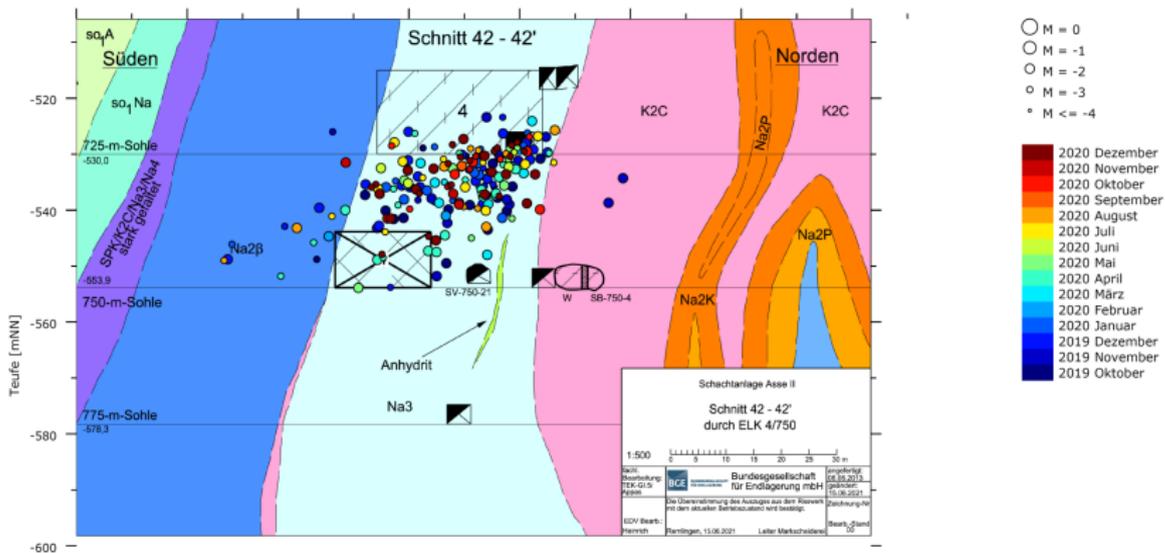
Faktenerhebung ELK 7 auf der 750-m-Sohle

Berechnete volumetrische Auflockerungen



Mikroseismische Ereignisse ELK 4/750

Abbildung von BGE für Zeitraum Jahresbericht 2020



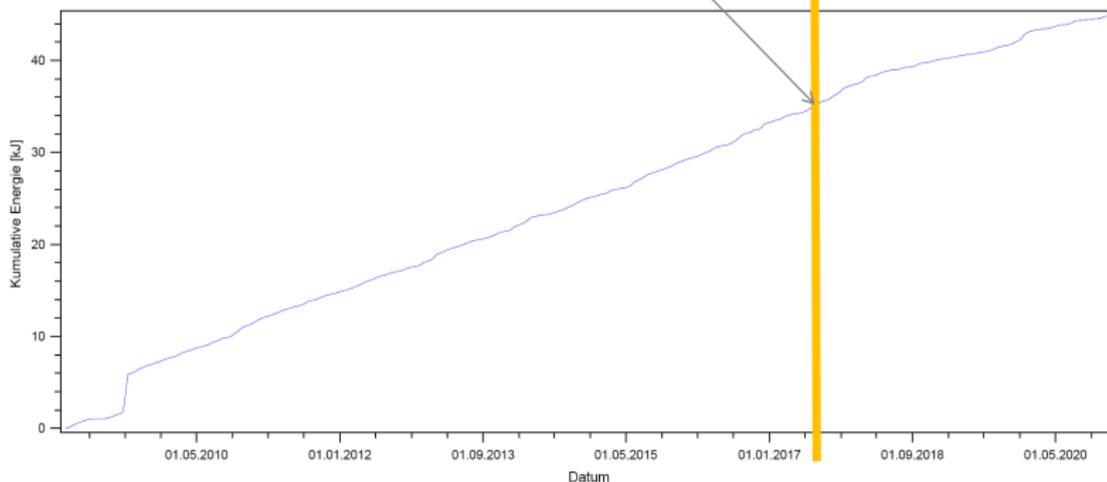
Mikroseismische Ereignisse bei der ELK 4/750 in den Betriebsruhezeiten 10/2019 bis 12/2020 (Manuelle Auswertung),
 Projektion auf einen querschlägig verlaufenden Vertikalschnitt durch die Abbaureihe 4



Kumulative Energie ELK 4/750

Abbildung von BGE für Zeitraum Jahresbericht 2020

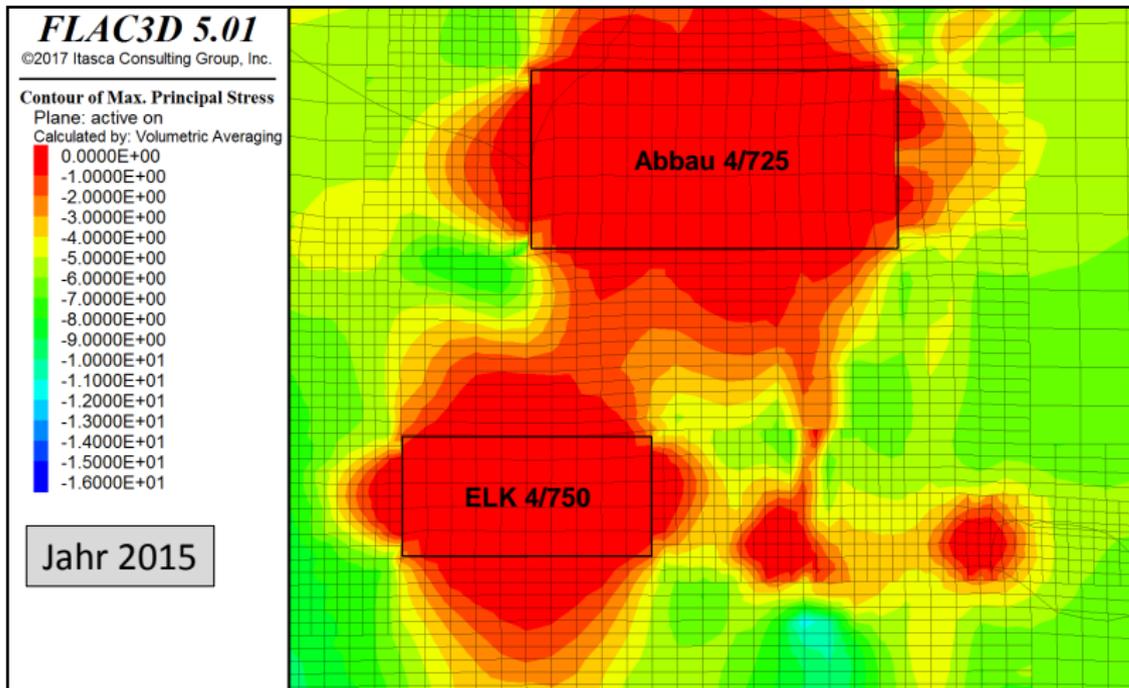
Sorelbetonverfüllung der 2. südl. Richtstrecke nach Westen im April 2017



Aus der über drei Wochen gemittelten seismischen Leistung berechnete kumulative Energie von 10/2008 bis 12/2020 des Clusters bei der ELK 4/750 (in kJ, Automatik)

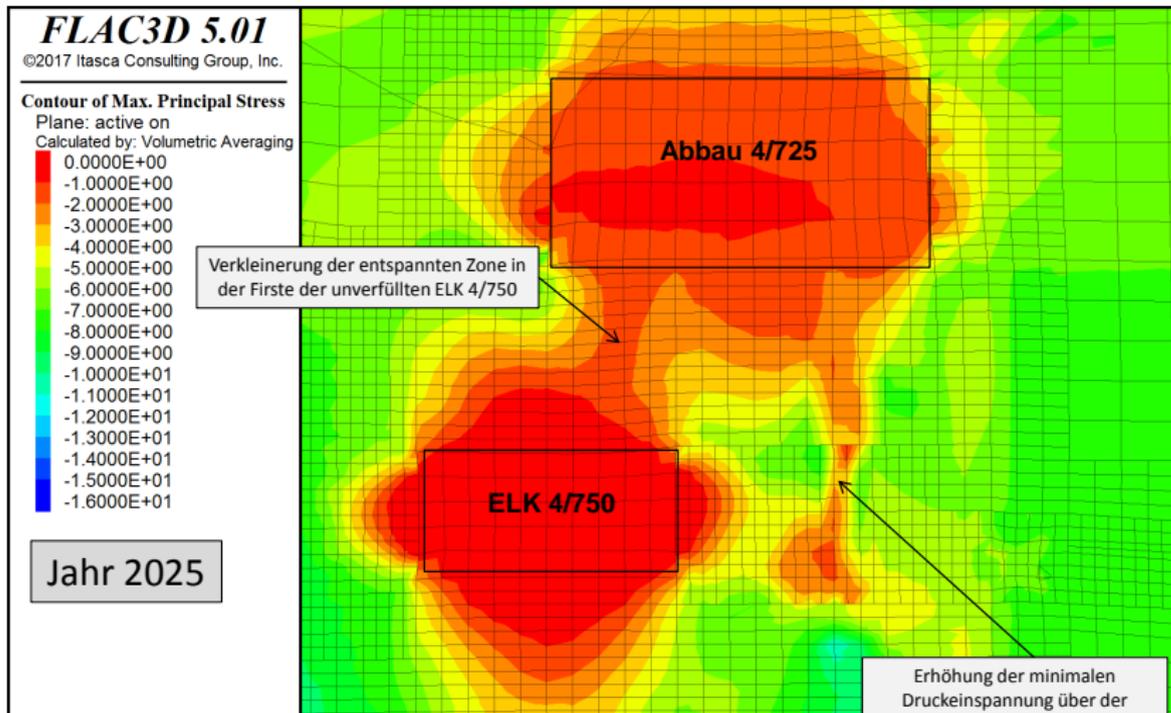
Minimale Druckeinspannung in MPa

im querschlägigen Vertikalschnitt durch das 3D-Modell bei $Y = 72$ m (Mitte der Abbaureihe 4)



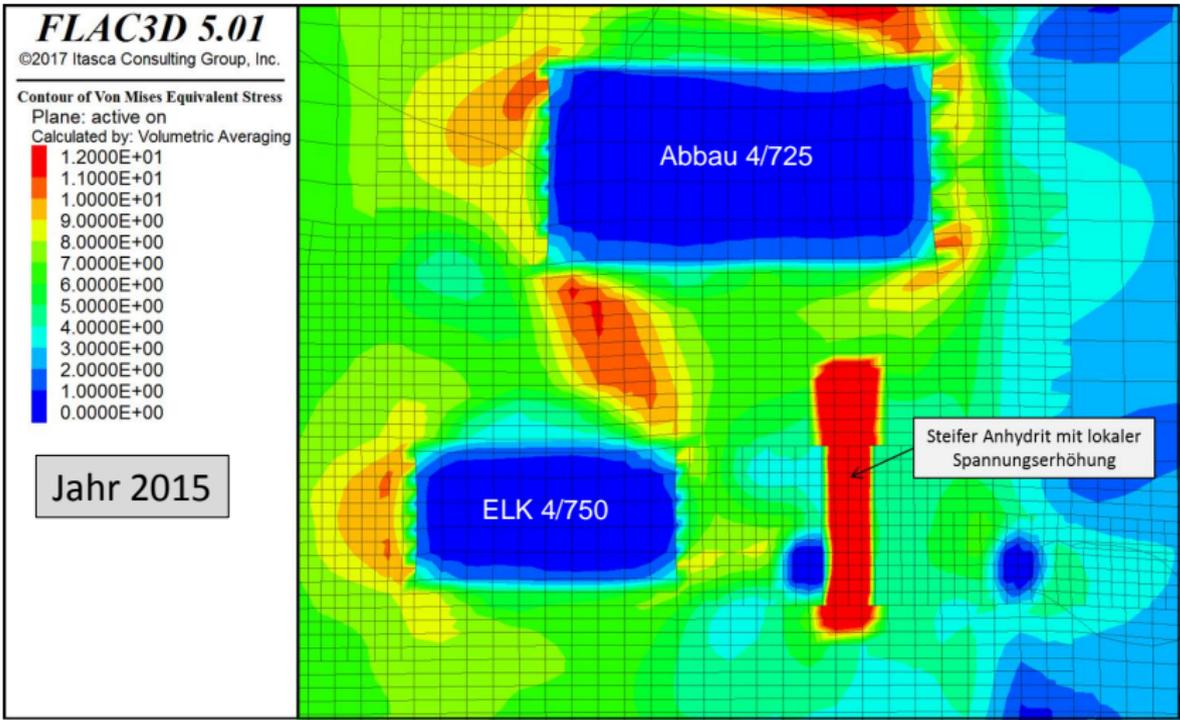
Minimale Druckeinspannung in MPa

im querschlägigen Vertikalschnitt durch das 3D-Modell bei $Y = 72$ m (Mitte der Abbaureihe 4)



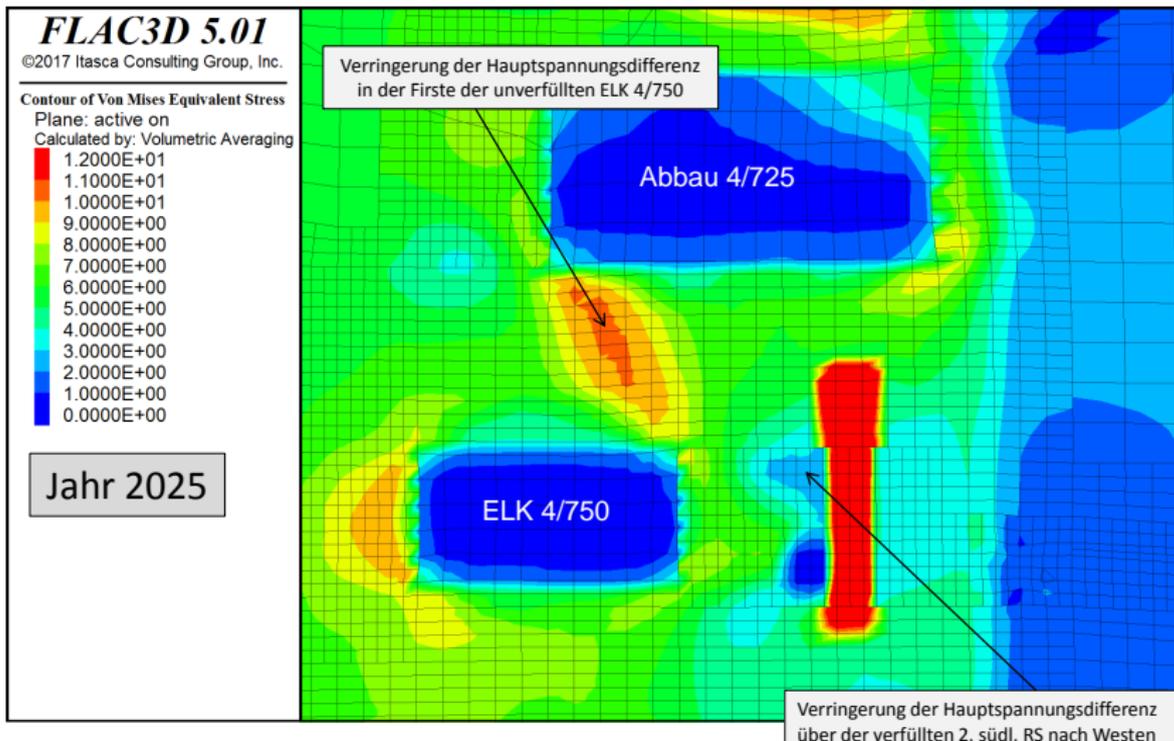
Hauptspannungsdifferenz in MPa

im querschlägigen Vertikalschnitt durch das 3D-Modell bei $Y = 72$ m (Mitte der Abbaureihe 4)



Hauptspannungsdifferenz in MPa

im querschlägigen Vertikalschnitt durch das 3D-Modell bei $Y = 72$ m (Mitte der Abbaureihe 4)



Übersicht Teil II

- 1 Bewertung und Prognose in der Zustandsanalyse 2016
- 2 Aktuelle Bewertung des Systemverhaltens
- 3 Fazit und Empfehlungen**

- Das Tragsystem an der Südflanke war für eine Mineralgewinnung und nicht für eine langfristige Standsicherheit dimensioniert. Das nachgiebige System reagierte mit Kriechdeformationen, Pfeilerentfestigungen und Schwebenbrüchen auf die wirkenden Gebirgslasten.
- Es kam zu Spannungsumlagerungen auf das südliche Deckgebirge, welches infolge der tektonischen Strukturierung gleichfalls mit Bruchprozessen reagiert (Interaktion) und sich auf die Südflanke zubewegt.
- Die in der Gebirgsmechanik üblichen Kriterien für Stabilitäts- und Integritätsbewertungen sind überschritten.
- Der resultierenden Pfeilerstauchung kann nur mit einem sich aufbauenden Versatzdruck entgegnet werden, der die Resttragfähigkeit erhält. Mit der Abbaukonvergenz erhöht sich der Versatzstützdruck, was mit einer zügigen Firstspaltverfüllung (insbesondere in den Abbaureihen 2 und 4) unterstützt werden muss.

- Bei dem Tragsystem im Grenzzustand kann, bedingt durch bruchhafte und konvergenzbedingte Lastumlagerungen, aber ein erneuter Anstieg der Pfeilerstauchungsraten nicht ausgeschlossen werden.
- Erhöhte Pfeilerstauchungsraten könnten Veränderungen des Lösungszutrittes nach sich ziehen, direkte Korrelationen ließen sich aber bisher nicht belegen.
- Aufgrund der langen Standzeit und des daraus resultierenden teilweise hohen Schädigungsgrades sind Verfüllungen abgeworfener Grubenbaue mit Sorelbeton im gesamten Bergwerk wichtig. Die konvergenzbedingte Stützung wirkt dem großräumigen Schädigungsprozess zwar grundsätzlich entgegen, entwickelt ihre Wirksamkeit aber erst mit zeitlicher Verzögerung.
- Die Überwachung der First- und Stoßsicherheit mittels Monitoring und lokale Stützmaßnahmen sind für den Erhalt der Bergbausicherheit unverzichtbar.
- Die Fortführung der Stabilisierung und die weitere Umsetzung der Notfallplanung sind grundlegende Voraussetzungen für die Rückholung. Diese kann nur in einem gesicherten Bestandsbergwerk mit prognostizierbaren Randbedingungen erfolgen.

Teil III

Salzlösungsmonitoring

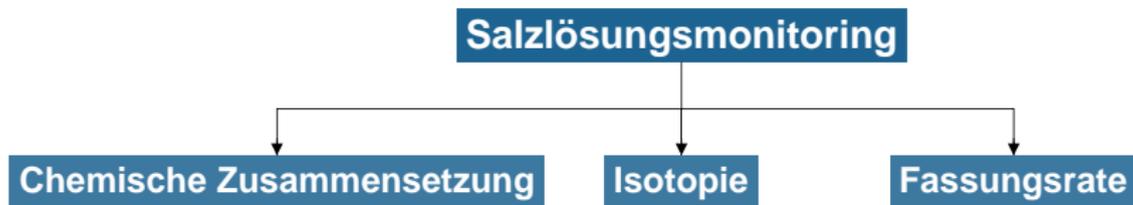
Übersicht Teil III

- 1 Grundlagen
- 2 Baufeld an der Südflanke
- 3 Carnallititbaufeld (Nordflanke)
- 4 Tiefenaufschluss
- 5 Zusammenfassung – Salzlösungsmonitoring

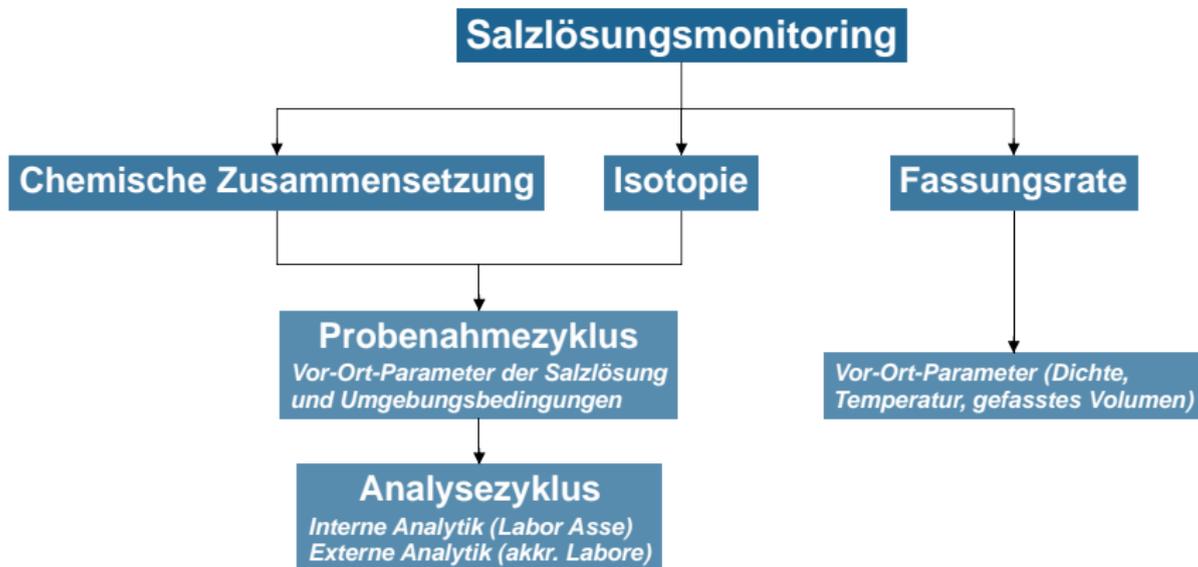
Übersicht Teil III

- 1 Grundlagen
- 2 Baufeld an der Südflanke
- 3 Carnallititbaufeld (Nordflanke)
- 4 Tiefenaufschluss
- 5 Zusammenfassung – Salzlösungsmonitoring

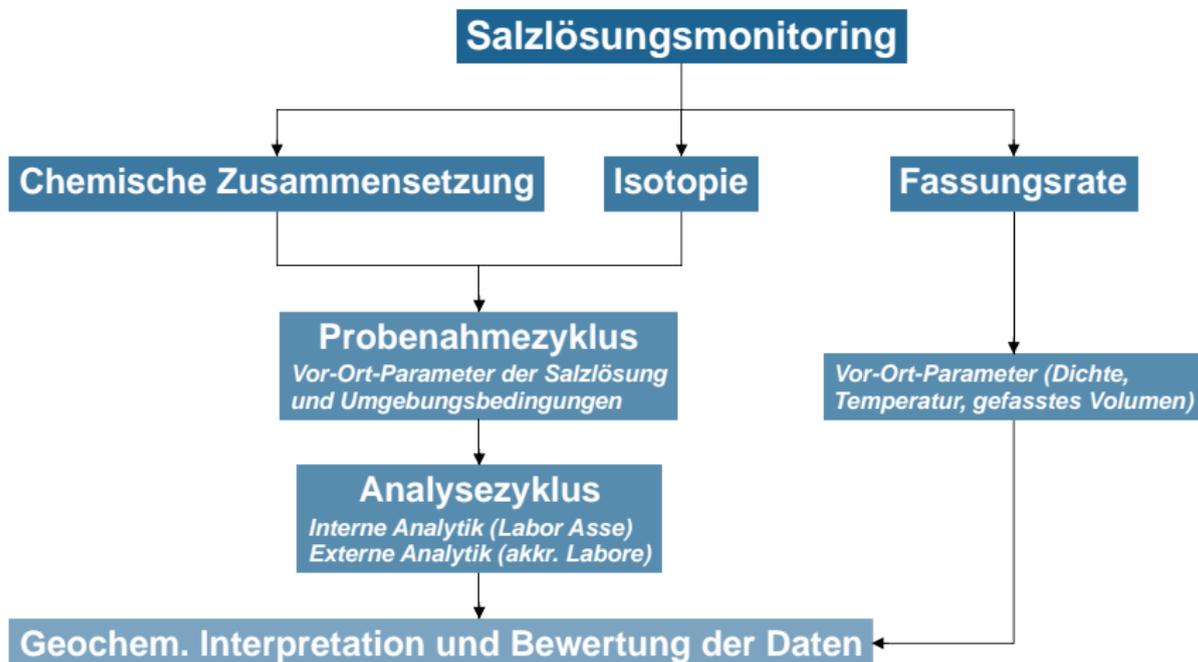
Salzlösungsmonitoring – Schachtanlage Asse II



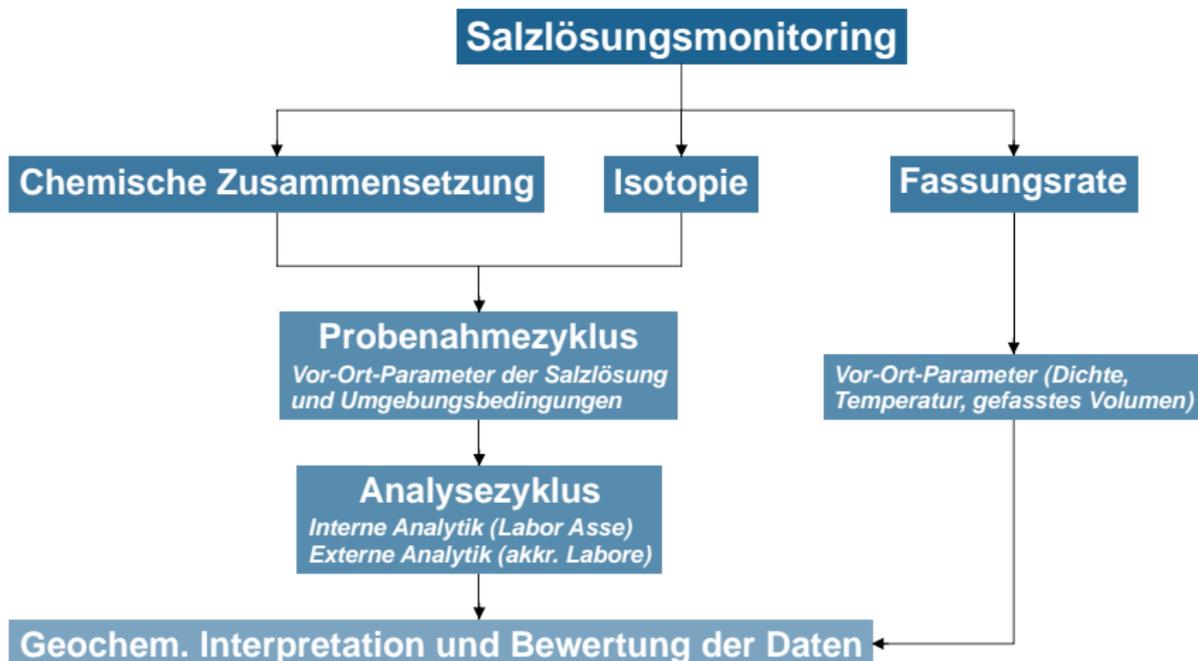
Salzlösungsmonitoring – Schachtanlage Asse II



Salzlösungsmonitoring – Schachtanlage Asse II

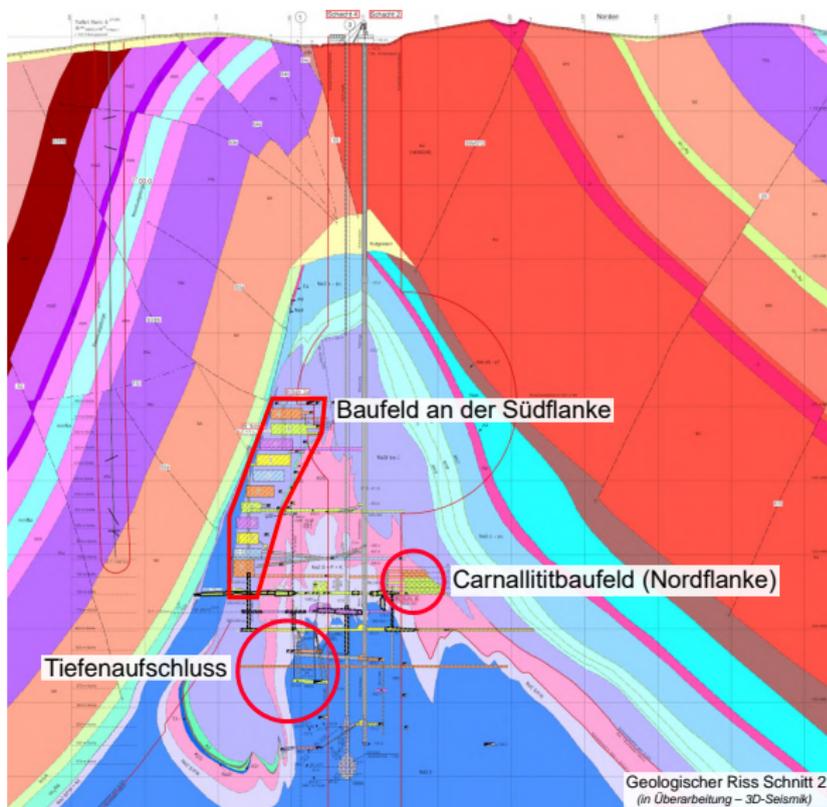


Salzlösungsmonitoring – Schachtanlage Asse II

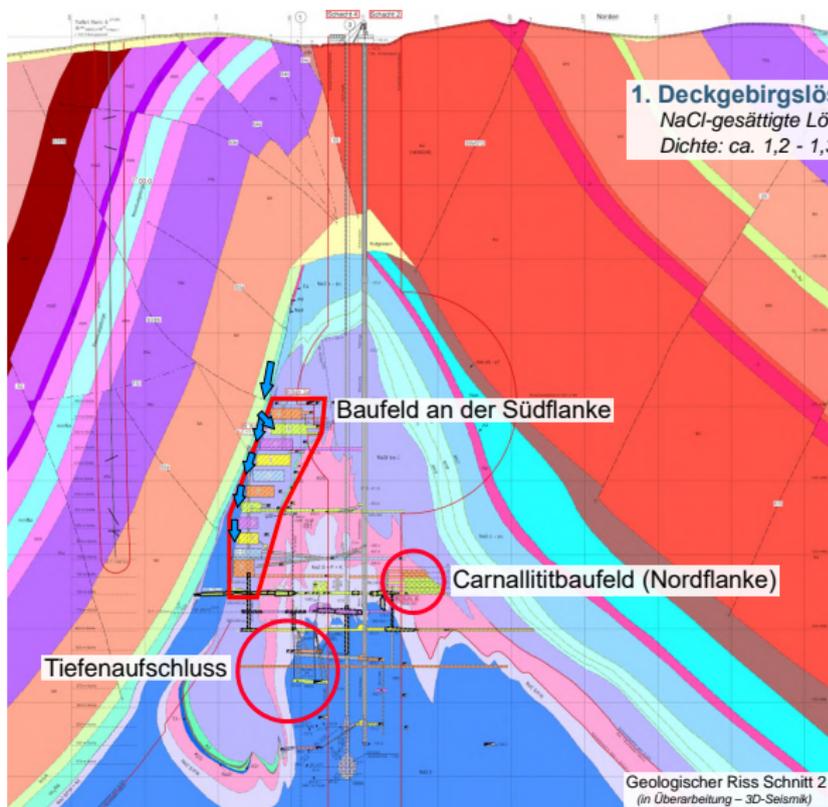


Gesamt (2020): 51 Lösungsaustrittsstellen beprobt, hiervon 17 im vertieften Monitoring
Analysen von 359 Proben
insgesamt 4757 m³ Salzlösung gefasst

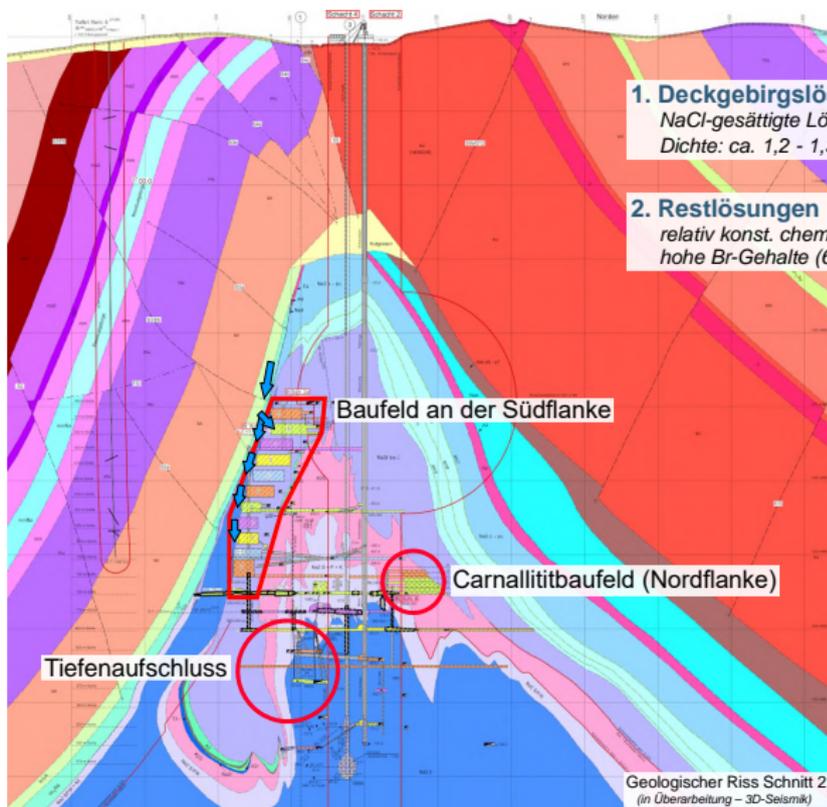
Austrittslösungen im Grubengebäude



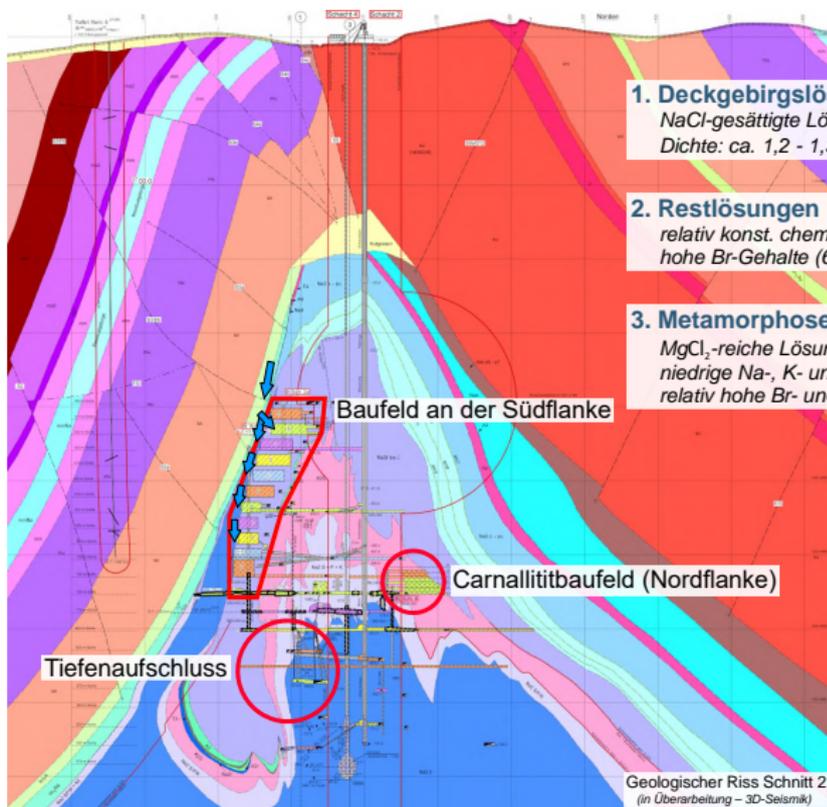
Austrittslösungen im Grubengebäude



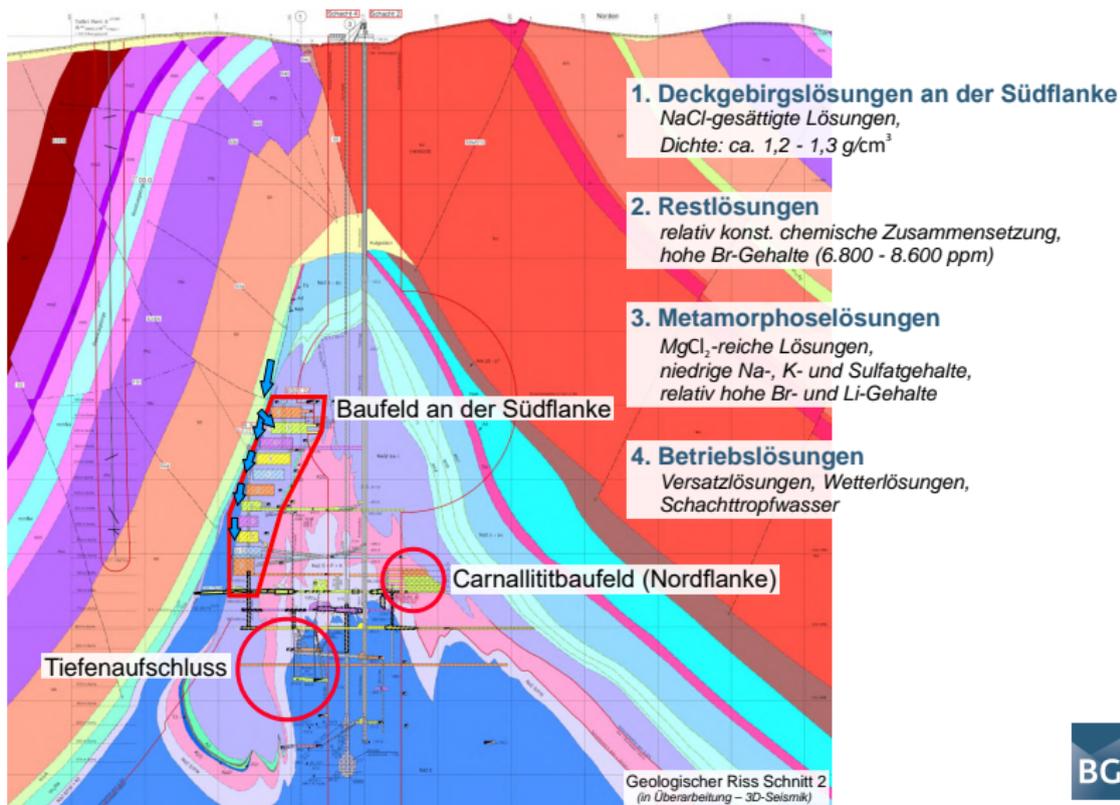
Austrittslösungen im Grubengebäude



Austrittslösungen im Grubengebäude

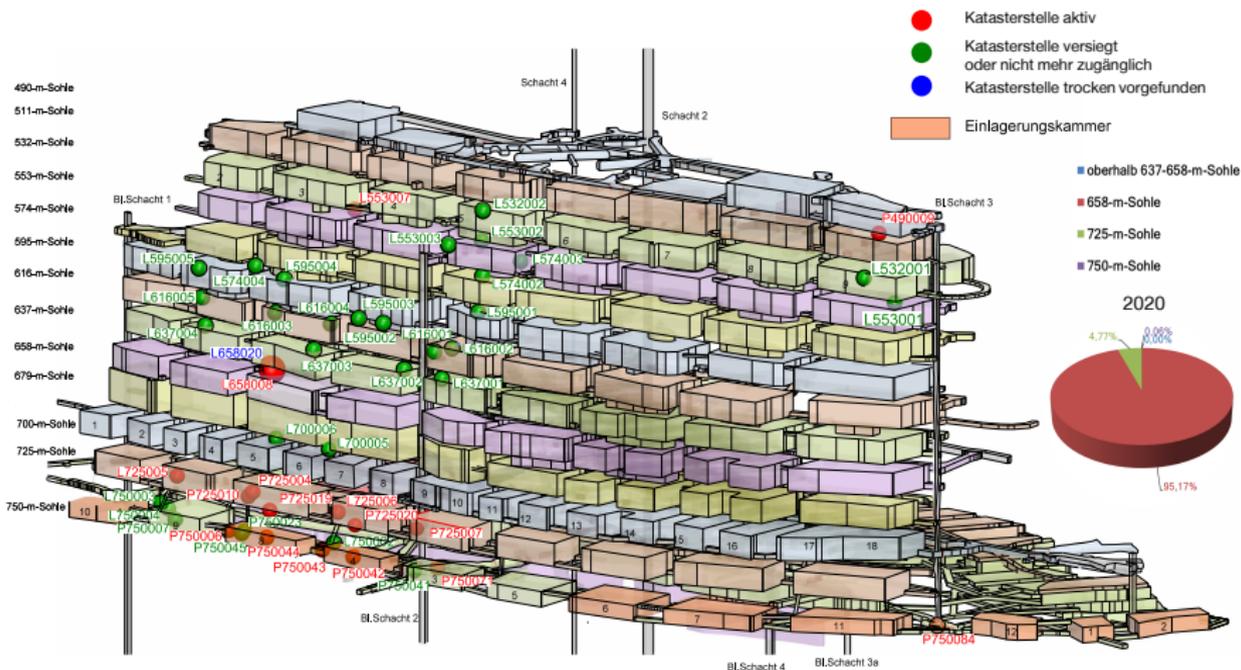


Austrittslösungen im Grubengebäude



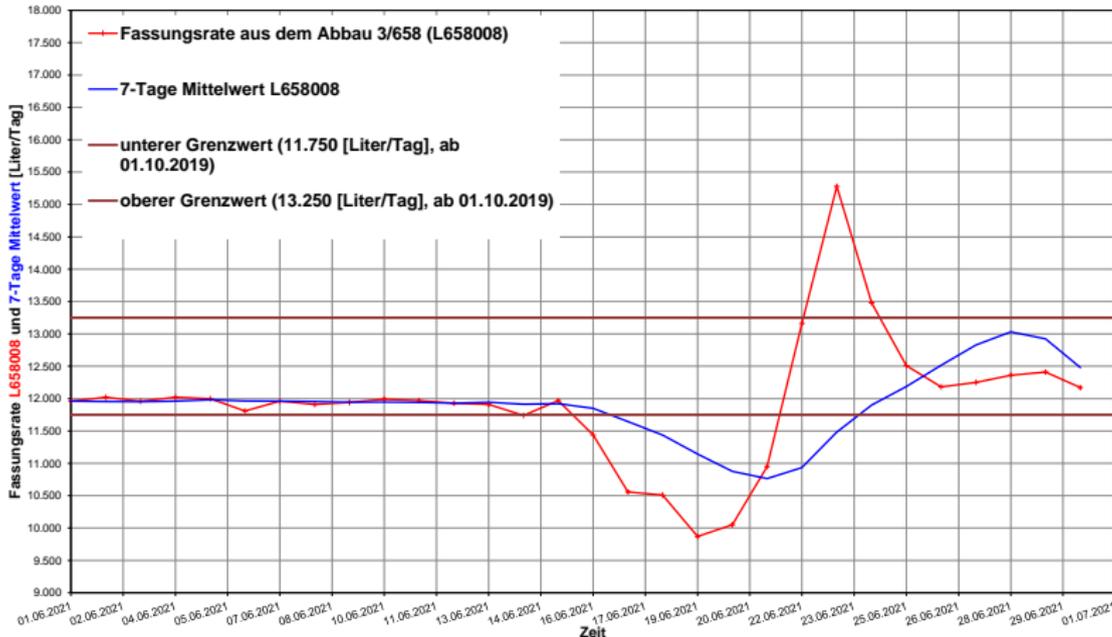


Salzlösungsmonitoring: 3D-Darstellung der Katasterstellen im Baufeld an der Südflanke



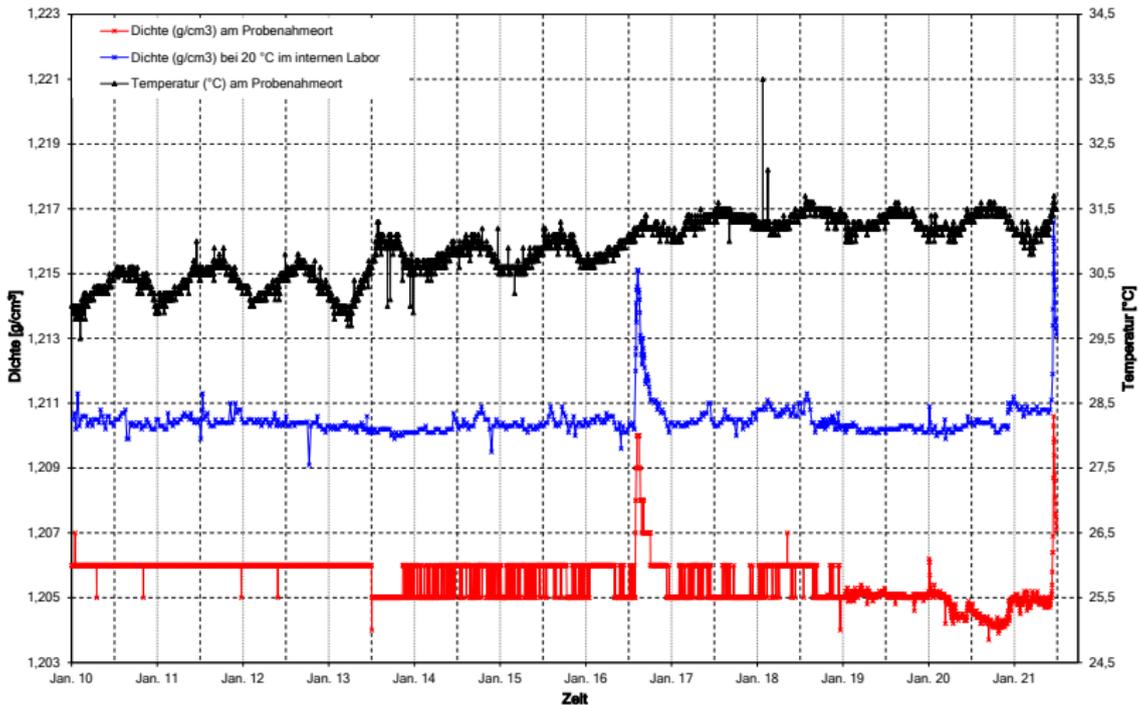
Salzlösungsmonitoring: 658-m-Sohle – Fassungsraten

Abbau 3/658 (L658008), Zeitraum: 01.06.2021 bis 30.06.2021



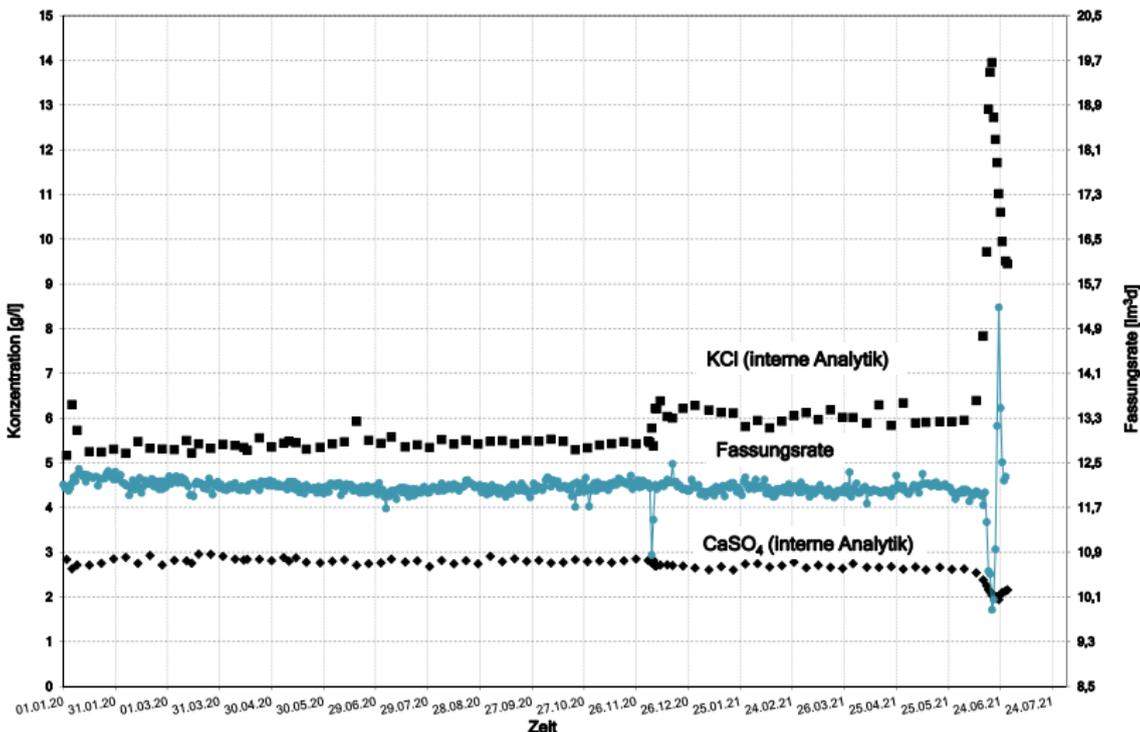
Salzlösungsmonitoring: 658-m-Sohle – Chemismus

Abbau 3/658 (L658008), tägliche Dichte- und Temperaturmessungen, Zeitraum: 01.01.2010 bis 30.06.2021



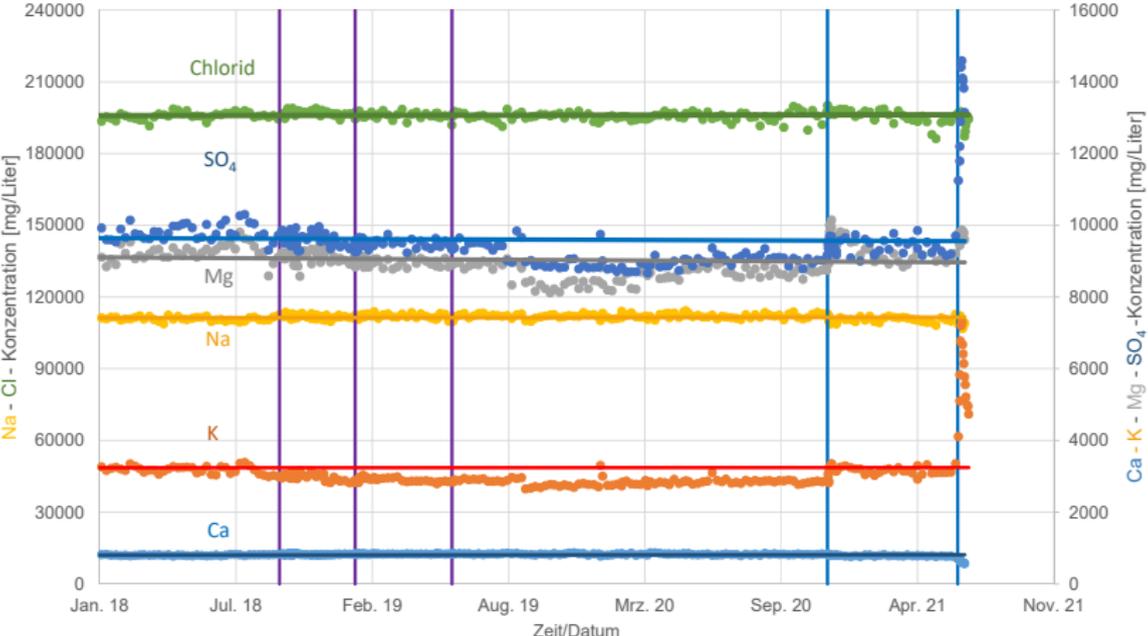
Salzlösungsmonitoring: 658-m-Sohle – Chemismus

fiktive Komponenten (L658008): KCl und CaSO_4 , Zeitraum: 03.01.2020 bis 28.06.2021



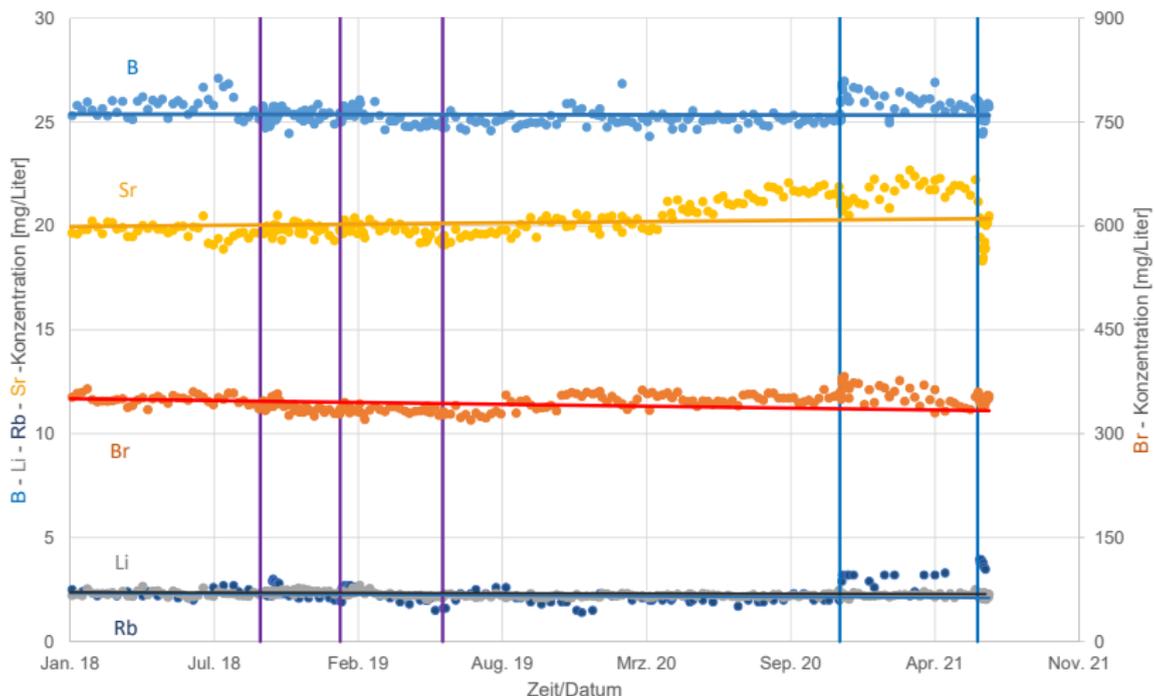
Salzlösungsmonitoring: 658-m-Sohle – Chemismus

Hauptkomponenten (L658008), Zeitraum: 04.01.2018 bis 28.06.2021



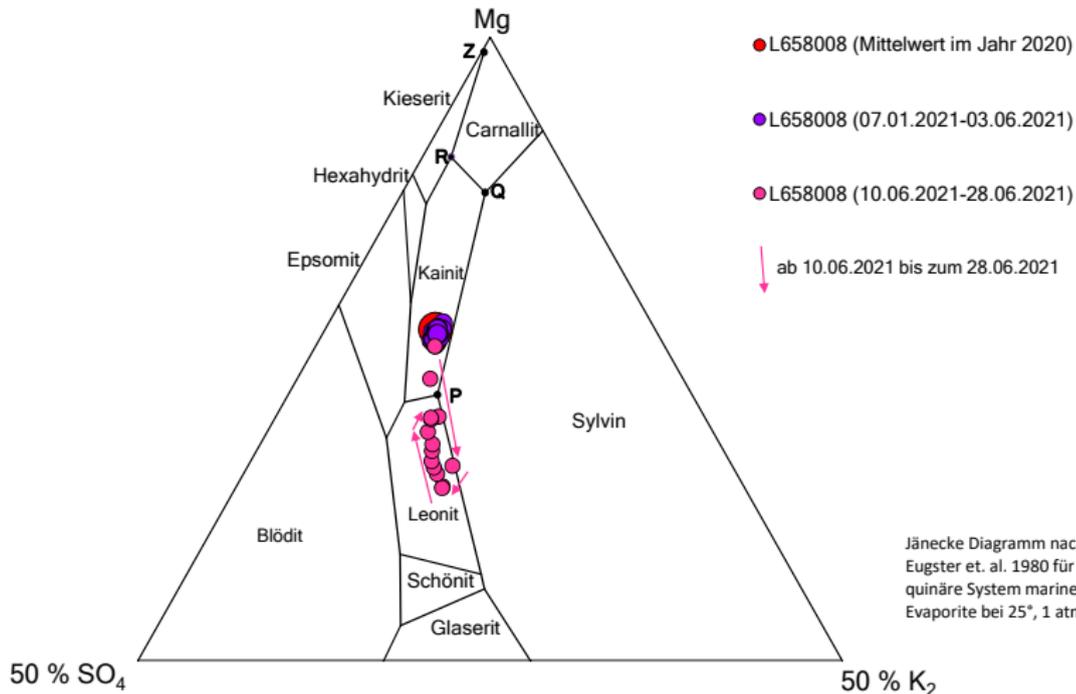
Salzlösungsmonitoring: 658-m-Sohle – Chemismus

Nebenkomponenten (L658008), Zeitraum: 04.01.2018 bis 28.06.2021



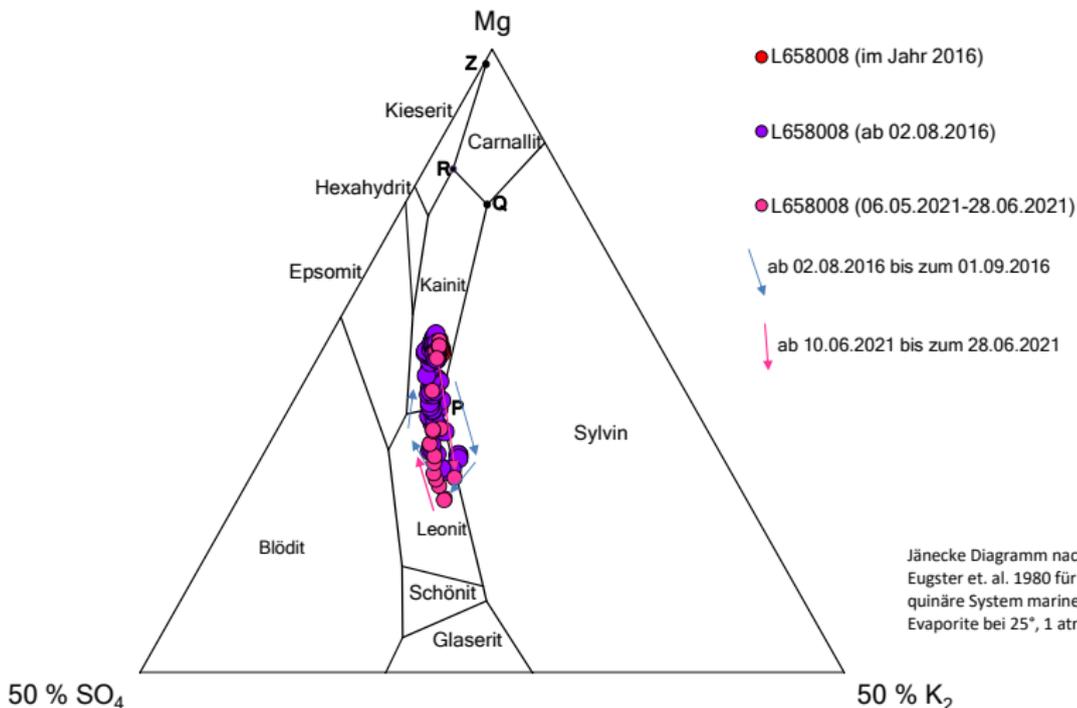
Salzlösungsmonitoring: 658-m-Sohle

Chemismus der Salzlösungen (Jänecke-Diagramm) – aktuelle Entwicklung



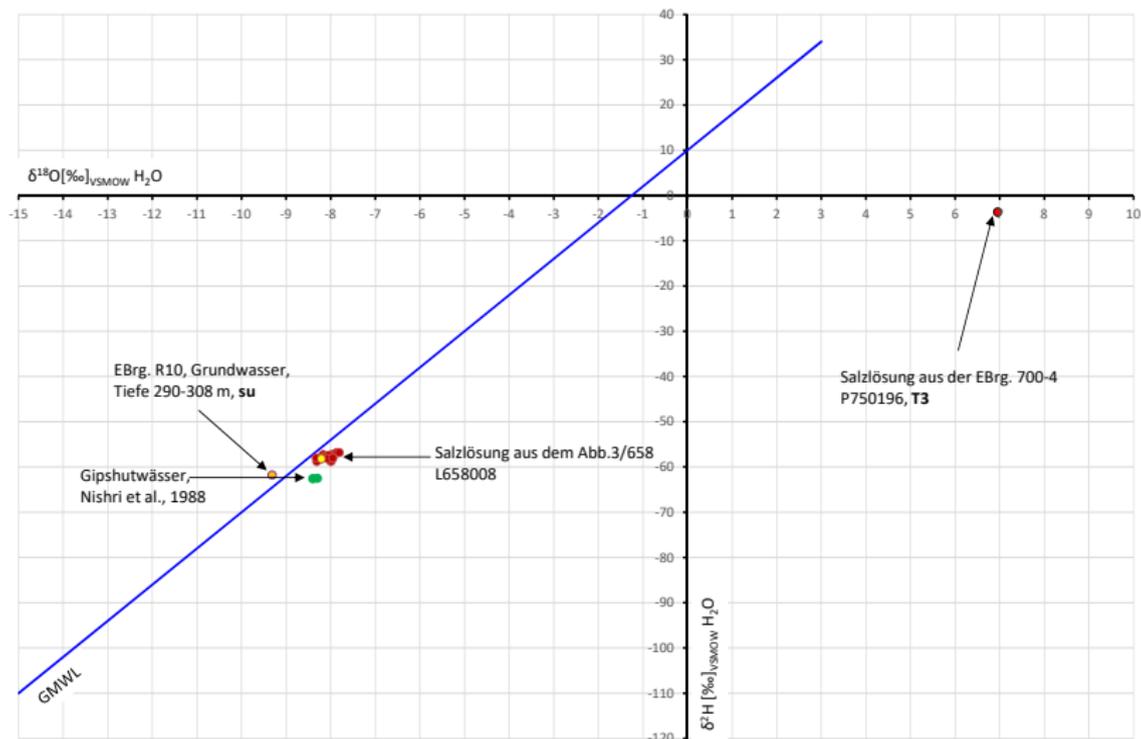
Salzlösungsmonitoring: 658-m-Sohle

Chemismus der Salzlösungen (Jänecke-Diagramm) – aktuelle Entwicklung



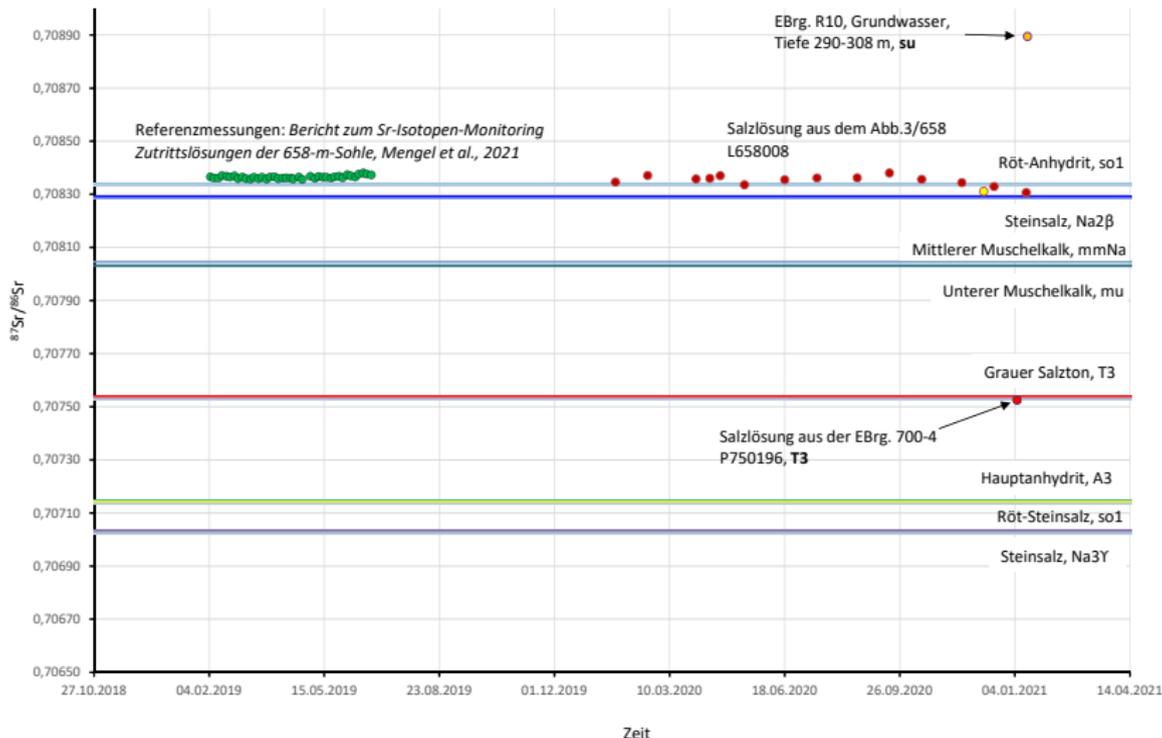
Salzlösungsmonitoring: 658-m-Sohle – Isotopie

Abbau 3/658 (L658008), $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$, Zeitraum: 05.02.2019 bis 14.01.2021



Salzlösungsmonitoring: 658-m-Sohle – Isotopie

Abbau 3/658 (L658008), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Zeitraum: 05.02.2019 bis 14.01.2021



Übersicht

2 Baufeld an der Südflanke

- 3D-Darstellung des Grubengebäudes an der Südflanke
- 658-m-Sohle: Bereich Hauptfassungsstelle
- **725-m-Sohle: Sammelstellen in der Richtstrecke nach Westen**
- 750-m-Sohle: Sammelstellen östl. Abbau 9, nördlich ELK 8 und ELK 4 sowie nördlich Blindschacht 2
- 750-m-Sohle: Bereich vor der ELK 12/750
- Gesamte Südflanke

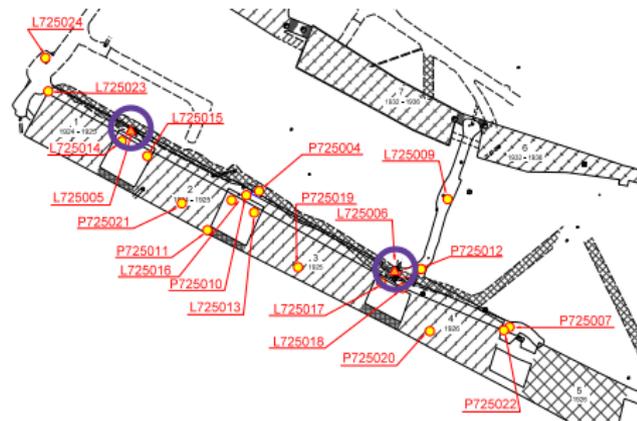
Salzlösungsmonitoring: 725-m-Sohle

Lage der Sammelstellen in der „Gleitbogenausbaustrecke“

Bezeichnung

- Rollloch 1 (L725005) und Rollloch 2 (L725006)
- Bereich Abbau 2 (P725010)
- Bereich Abbau 3 (P725004 und P725019)
- Bereich Abbau 4 (P725007 und P725020)

Lage der Lokalitäten



Legende:

- Katasterstelle ab 2008
- ▲ Katasterstelle vor 2008

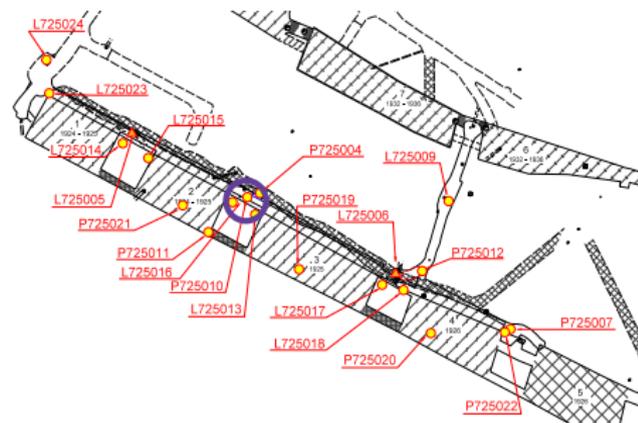
Salzlösungsmonitoring: 725-m-Sohle

Lage der Sammelstellen in der „Gleitbogenausbaustrecke“

Bezeichnung

- Rollloch 1 (L725005) und Rollloch 2 (L725006)
- Bereich Abbau 2 (P725010)
- Bereich Abbau 3 (P725004 und P725019)
- Bereich Abbau 4 (P725007 und P725020)

Lage der Lokalitäten



Legende:

- Katasterstelle ab 2008
- ▲ Katasterstelle vor 2008

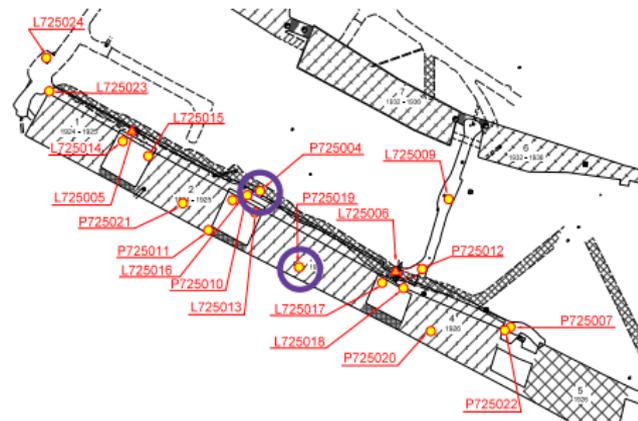
Salzlösungsmonitoring: 725-m-Sohle

Lage der Sammelstellen in der „Gleitbogenausbaustrecke“

Bezeichnung

- Rollloch 1 (L725005) und Rollloch 2 (L725006)
- Bereich Abbau 2 (P725010)
- Bereich Abbau 3 (P725004 und P725019)
- Bereich Abbau 4 (P725007 und P725020)

Lage der Lokalitäten



Legende:

- Katasterstelle ab 2008
- ▲ Katasterstelle vor 2008

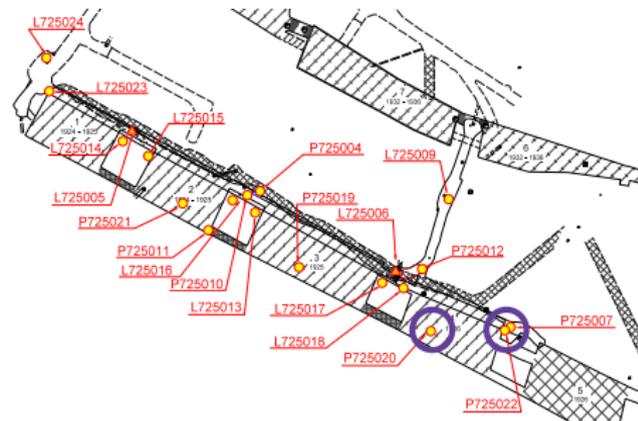
Salzlösungsmonitoring: 725-m-Sohle

Lage der Sammelstellen in der „Gleitbogenausbaustrecke“

Bezeichnung

- Rollloch 1 (L725005) und Rollloch 2 (L725006)
- Bereich Abbau 2 (P725010)
- Bereich Abbau 3 (P725004 und P725019)
- Bereich Abbau 4 (P725007 und P725020)

Lage der Lokalitäten

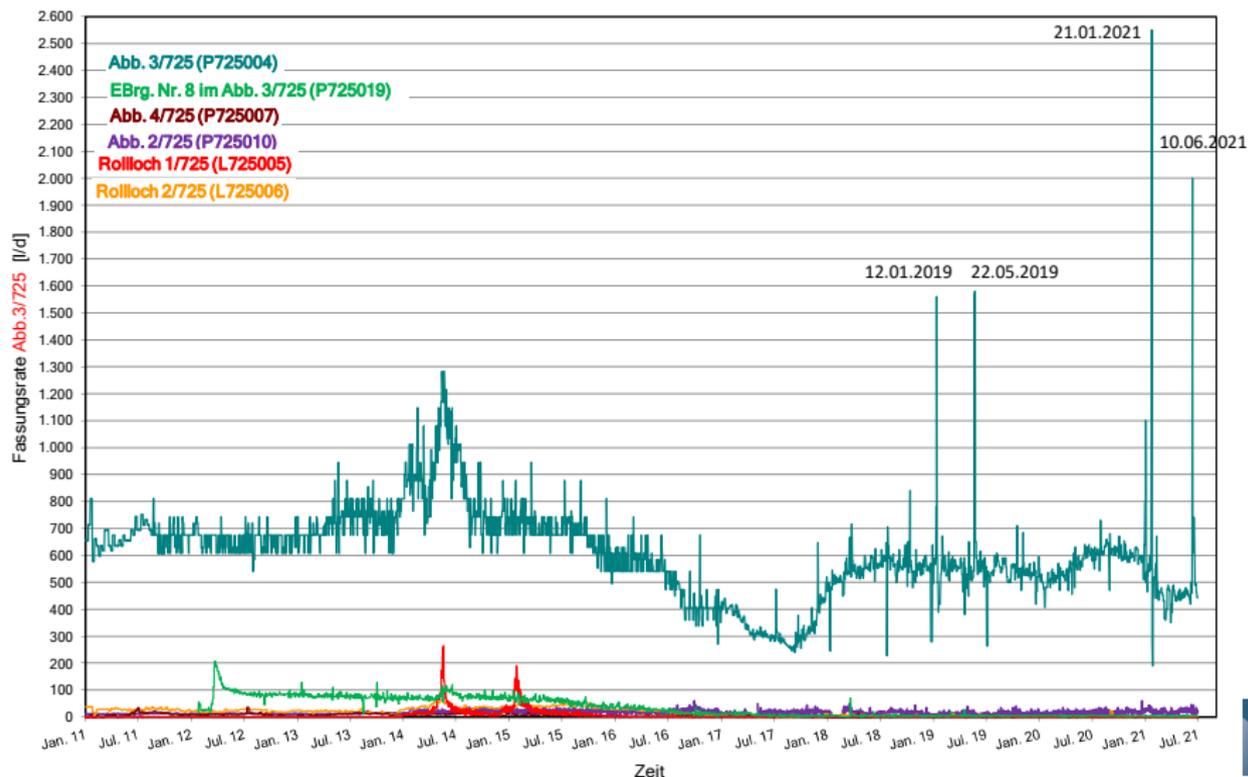


Legende:

- Katasterstelle ab 2008
- ▲ Katasterstelle vor 2008

Salzlösungsmonitoring: 725-m-Sohle

Fassungsraten vom 01.01.2011 bis 28.06.2021



Salzlösungsmonitoring: 725-m-Sohle

Chemismus der Salzlösungen (Jänecke-Diagramm) – aktuelle Entwicklung

Hauptfassungsstelle, Abbau 3/658

● L658008 (03.06.2021)

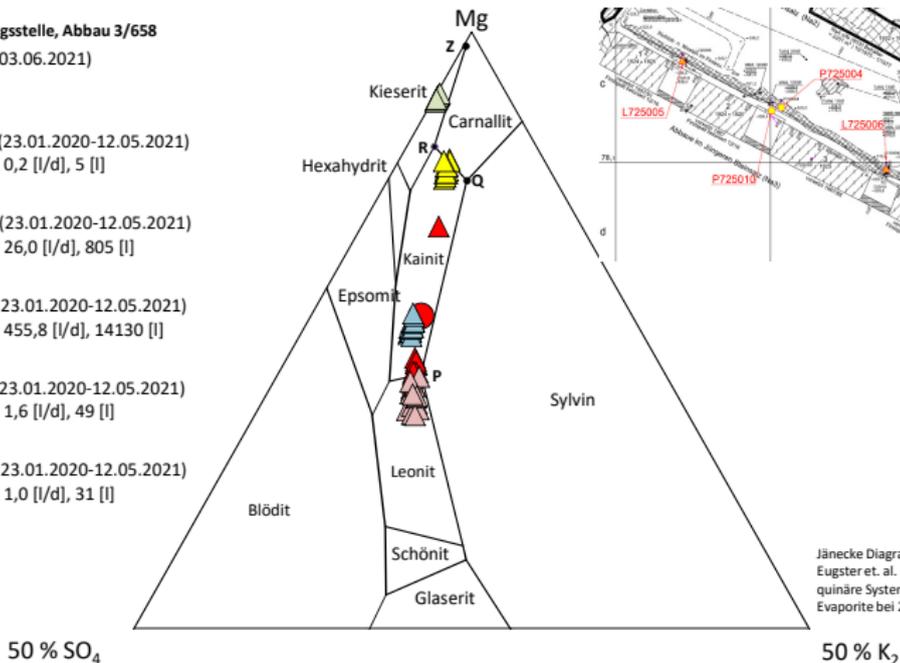
△ L725005 (23.01.2020-12.05.2021)
im Mai => 0,2 [l/d], 5 [l]

▲ P725010 (23.01.2020-12.05.2021)
im Mai => 26,0 [l/d], 805 [l]

▲ P725004 (23.01.2020-12.05.2021)
im Mai => 455,8 [l/d], 14130 [l]

△ L725006 (23.01.2020-12.05.2021)
im Mai => 1,6 [l/d], 49 [l]

△ P725007 (23.01.2020-12.05.2021)
im Mai => 1,0 [l/d], 31 [l]



Jänecke Diagramm nach
Eugster et. al. 1980 für das
quinäre System mariner
Evaporite bei 25°C, 1 atm

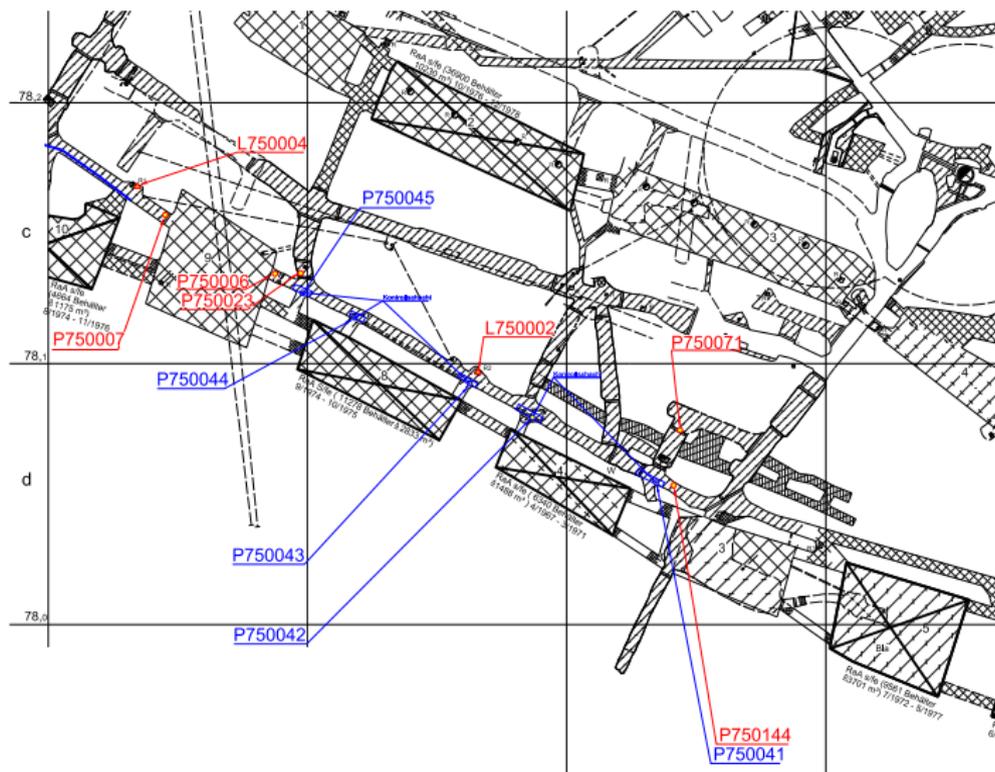
Übersicht

2 Baufeld an der Südflanke

- 3D-Darstellung des Grubengebäudes an der Südflanke
- 658-m-Sohle: Bereich Hauptfassungsstelle
- 725-m-Sohle: Sammelstellen in der Richtstrecke nach Westen
- 750-m-Sohle: Sammelstellen östl. Abbau 9, nördlich ELK 8 und ELK 4 sowie nördlich Blindschacht 2
- 750-m-Sohle: Bereich vor der ELK 12/750
- Gesamte Südflanke

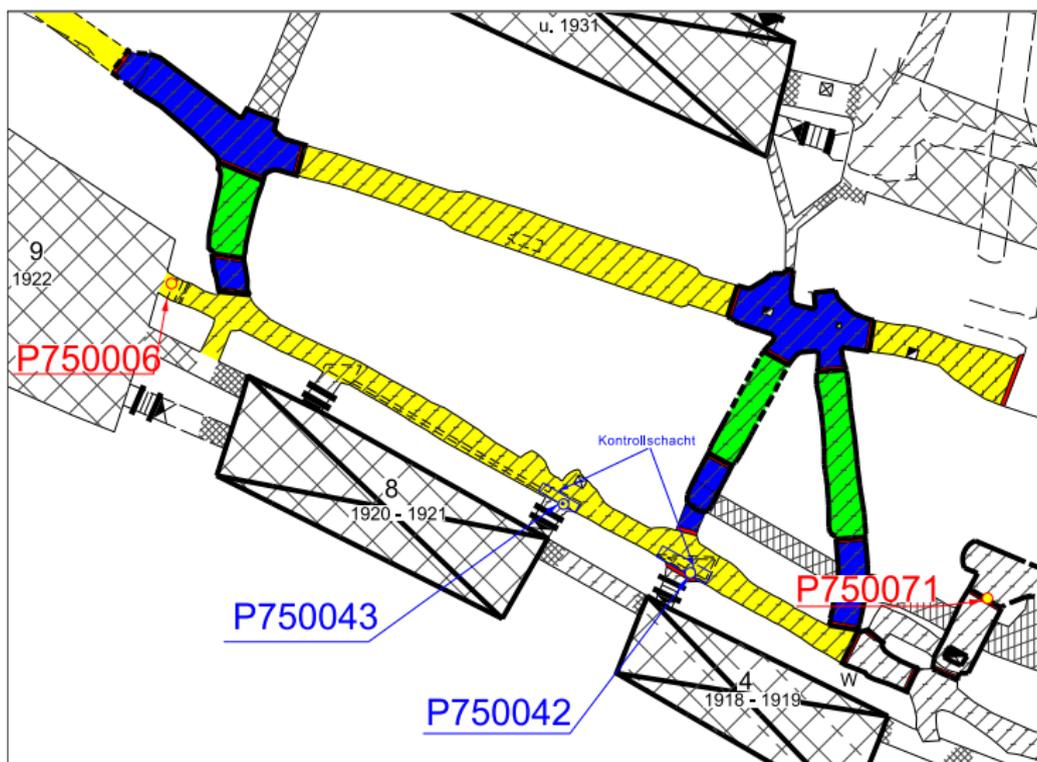
Salzlösungsmonitoring: 750-m-Sohle

Lage der Sammelstellen auf der 750-m-Sohle, Stand: 2016



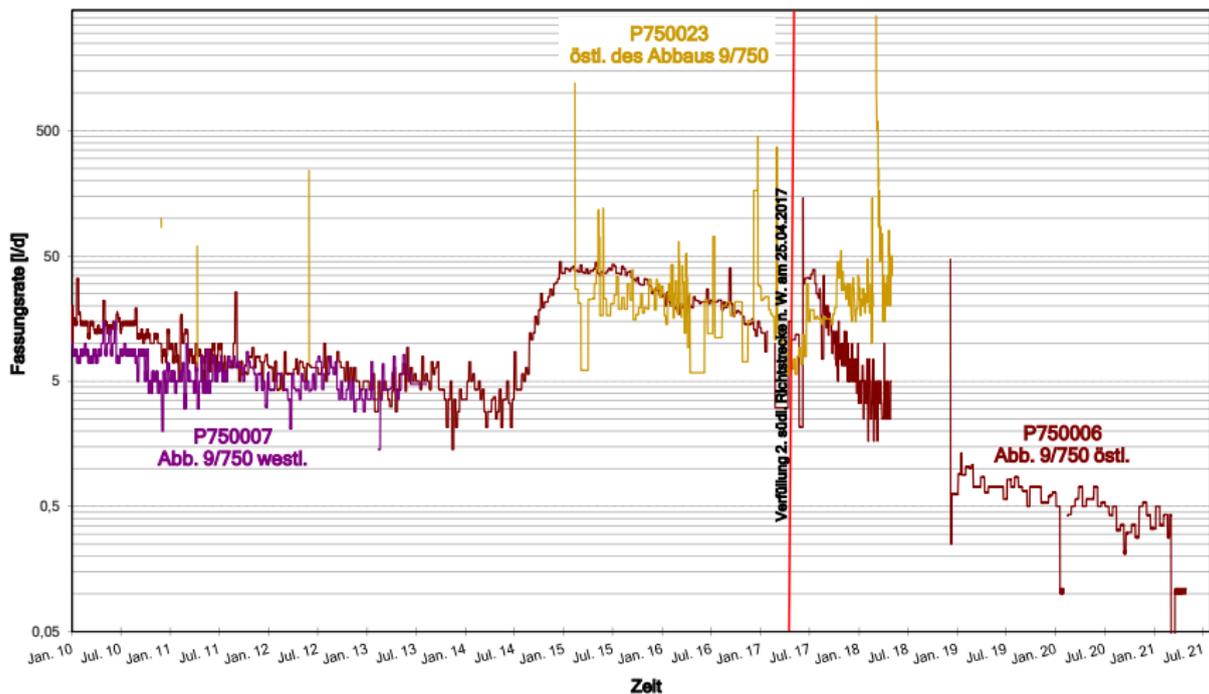
Salzlösungsmonitoring: 750-m-Sohle

Lage der Sammelstellen auf der 750-m-Sohle, Stand seit 06/2019



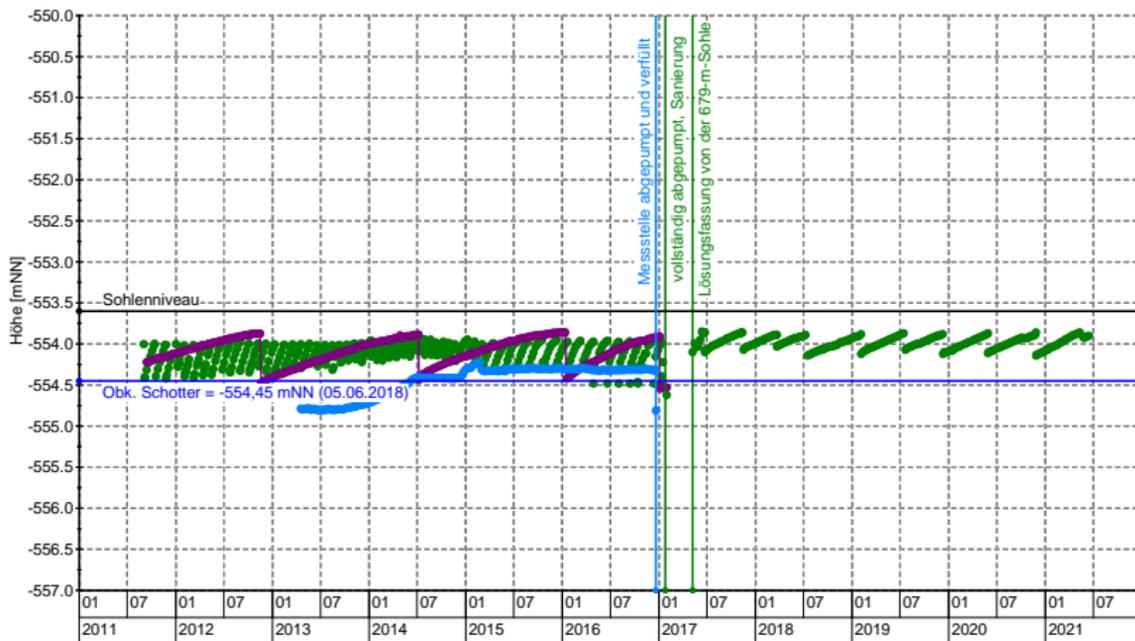
Salzlösungsmonitoring: 750-m-Sohle

Fassungsraten Abbau 9/750, Zeitraum: 01.01.2010 bis 28.06.2021



Salzlösungsmonitoring: 750-m-Sohle

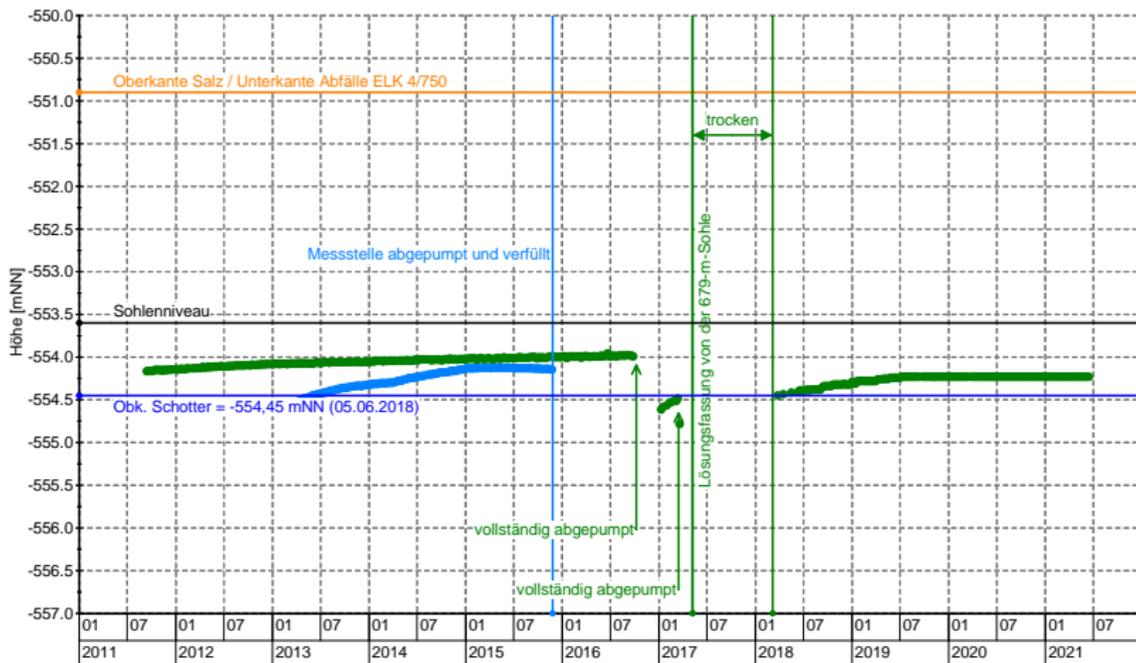
Pegelmessstelle vor ELK 8/750 (P750043), Zeitraum: 02.09.2011 bis 14.06.2021 (Lichtlotmessung)



Symbol	Messstelle	Lokation	Zeitraum
●	P750043	vor östlicher Zugang ELK 8/750	02.09.2011 - 14.06.2021
—	P750044	vor westlicher Zugang ELK 8/750	13.09.2011 - 30.01.2017
—	P750045	vor westlicher Zugang ELK 8/750	18.04.2013 - 20.12.2016

Salzlösungsmonitoring: 750-m-Sohle

Pegelmessstelle vor ELK 4/750 (P750042), Zeitraum: 02.09.2011 bis 14.06.2021 (Lichtlotmessung)



Symbol	Messstelle	Lokation	Zeitraum
—●—	P750041	vor östlicher Zugang ELK 4/750	18.04.2013 - 26.11.2015
●	P750042	vor westlicher Zugang ELK 4/750	02.09.2011 - 14.06.2021

Salzlösungsmonitoring: 750-m-Sohle

Chemismus der Salzlösungen (Jänecke-Diagramm) – aktuelle Entwicklung

Hauptfassungsstelle, Abbau 3/658

● L658008 (03.06.2021)

▲ P750042 (04.06.2018)

nicht abpumpbar => geringe Menge

▲ P750043 (16.01.2020-11.05.2021)

im Mai => 3,4 [l/d] Pumpe defekt,
im Nov. 2020 => 6,0 [l/d]

▲ P750071 (13.01.2020-10.05.2021)

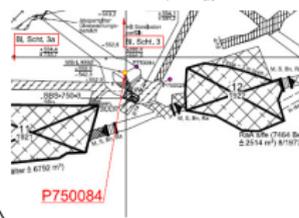
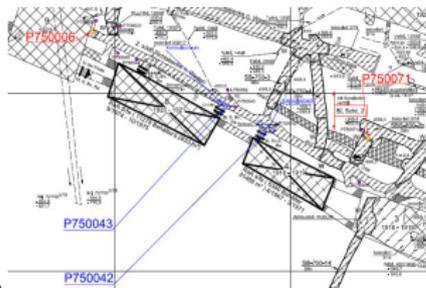
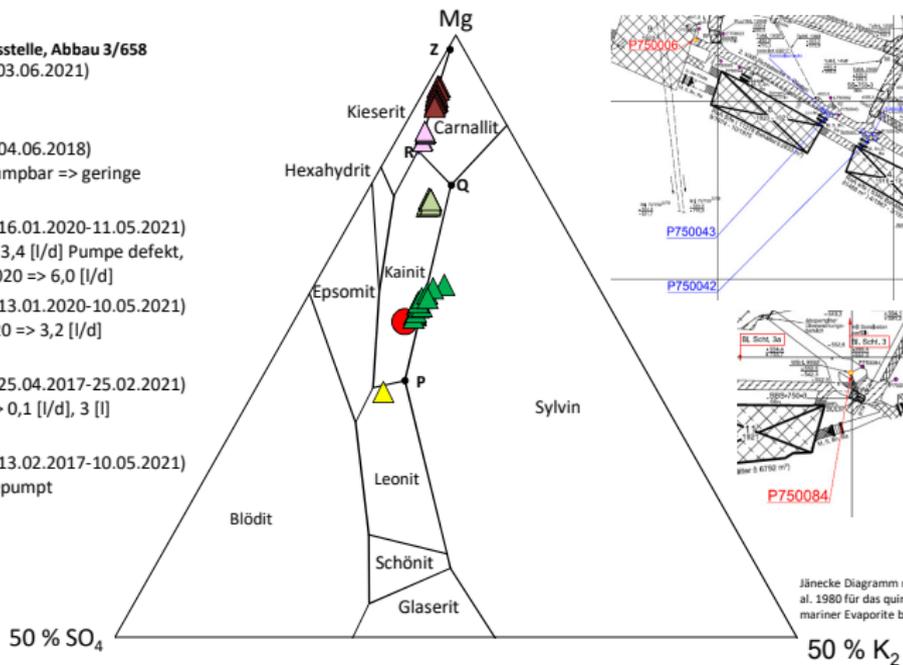
im Juli 2020 => 3,2 [l/d]

▲ P750006 (25.04.2017-25.02.2021)

im April => 0,1 [l/d], 3 [l]

▲ P750084 (13.02.2017-10.05.2021)

nicht abgepumpt



Jänecke Diagramm nach Eugster et.
al. 1980 für das quinäre System
mariner Evaporite bei 25°C, 1 atm

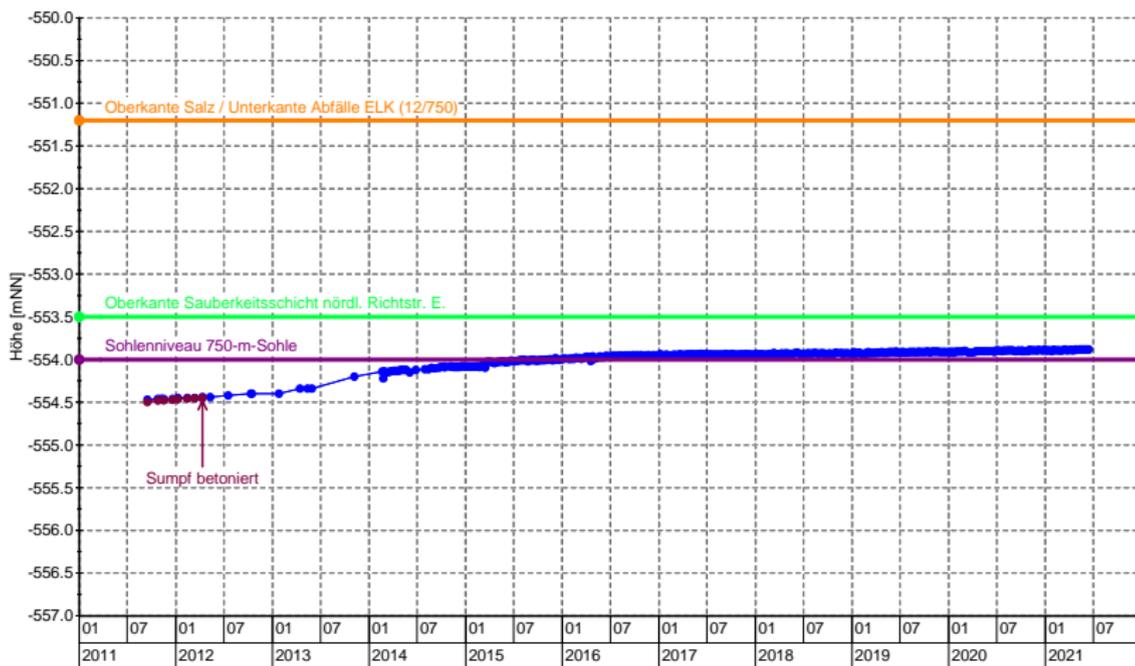
Übersicht

2 Baufeld an der Südflanke

- 3D-Darstellung des Grubengebäudes an der Südflanke
- 658-m-Sohle: Bereich Hauptfassungsstelle
- 725-m-Sohle: Sammelstellen in der Richtstrecke nach Westen
- 750-m-Sohle: Sammelstellen östl. Abbau 9, nördlich ELK 8 und ELK 4 sowie nördlich Blindschacht 2
- 750-m-Sohle: Bereich vor der ELK 12/750
- Gesamte Südflanke

Salzlösungsmonitoring: 750-m-Sohle

Pegelmessstelle im Sumpf/Kontrollbrg. vor ELK 12/750 (P750084), Zeitraum: 16.09.2011 bis 14.06.2021 (Lichtlotmessung)



Symbol	Messstelle	Lokation	Zeitraum
●—	P750084	Kbr. vor betoniertem Sumpf (ELK 12/750)	16.09.2011 - 14.06.2021
●—	P750029	Sumpf vor ELK 12/750	16.09.2011 - 14.08.2014

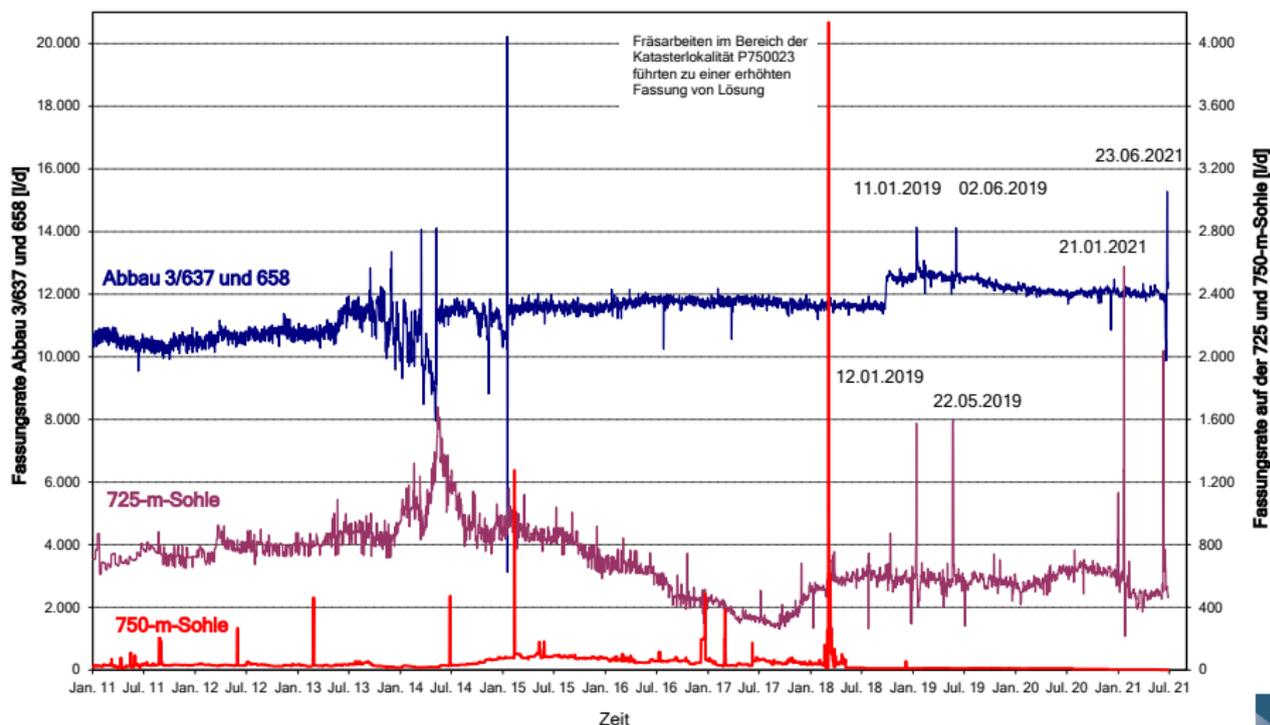
Übersicht

2 Baufeld an der Südflanke

- 3D-Darstellung des Grubengebäudes an der Südflanke
- 658-m-Sohle: Bereich Hauptfassungsstelle
- 725-m-Sohle: Sammelstellen in der Richtstrecke nach Westen
- 750-m-Sohle: Sammelstellen östl. Abbau 9, nördlich ELK 8 und ELK 4 sowie nördlich Blindschacht 2
- 750-m-Sohle: Bereich vor der ELK 12/750
- **Gesamte Südflanke**

Salzlösungsmonitoring: Fassungsraten – Südflanke

658-, 725- und 750-m-Sohle, Zeitraum: 01.01.2011 bis 28.06.2021



725- und 750-m-Sohle sind auf der 2. (rechten) Y-Achse dargestellt.

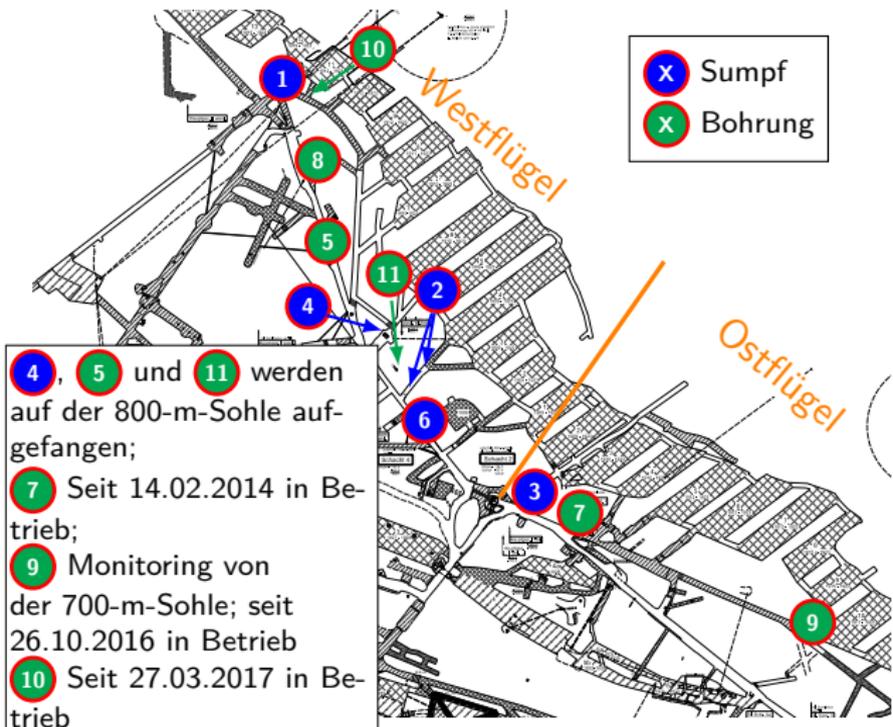
Übersicht Teil III

- 1 Grundlagen
- 2 Baufeld an der Südflanke
- 3 Carnallitbaufeld (Nordflanke)**
- 4 Tiefenaufschluss
- 5 Zusammenfassung – Salzlösungsmonitoring

Salzlösungsmonitoring: Nordflanke – Fassungsraten

750-m-Sohle - Mittelwerte vom 01.01.2014 – 21.06.2021

Grundrissausschnitt der 750-m-Sohle



Fassungsraten

1	50 l/d
2	90 l/d
4	5 l/d
5	11 l/d
6	15 l/d
8	40 l/d
10	101 l/d
11	46 l/d
<hr/>	
3	3 l/d
7	19 l/d
9	0 l/d

Σ 380 l/d

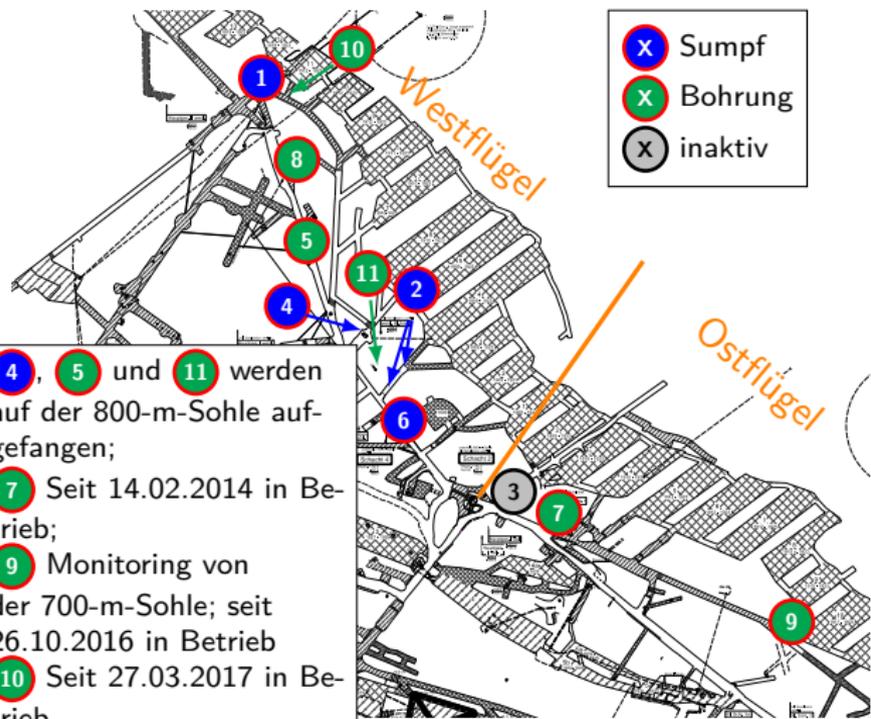
Westflügel

Ostflügel

Salzlösungsmonitoring: Nordflanke – Fassungsraten

750-m-Sohle - Mittelwerte vom 01.01.2020 – 31.12.2020

Grundrissausschnitt der 750-m-Sohle



Fassungsraten

1	19 l/d
2	94 l/d
4	18 l/d
5	4 l/d
6	18 l/d
8	0 l/d
10	135 l/d
11	57 l/d
<hr style="border: 1px solid orange;"/>	
7	18 l/d
9	0 l/d
Σ	363 l/d

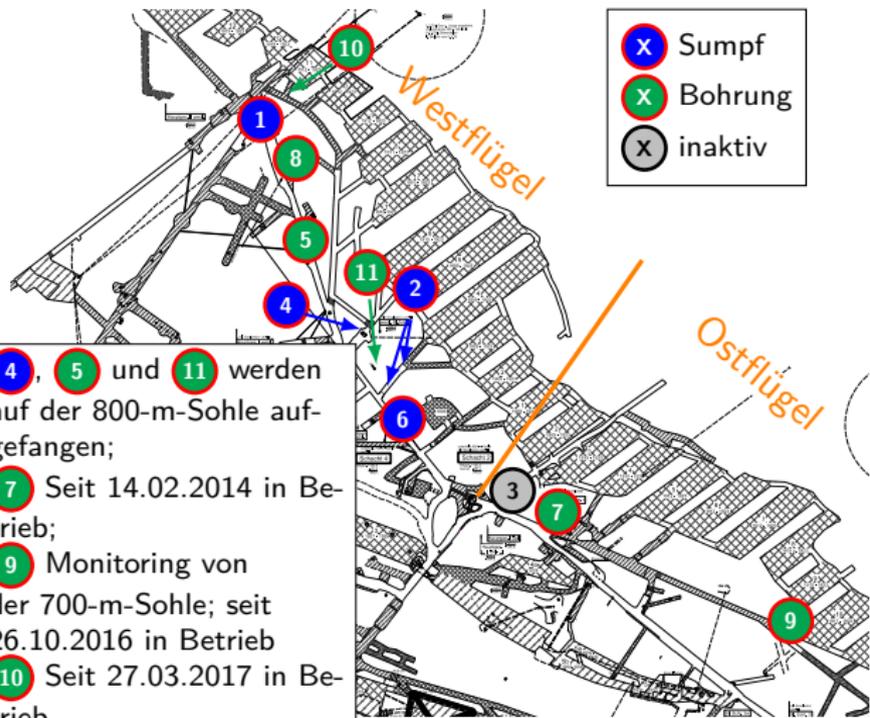
Westflügel

Ostflügel

Salzlösungsmonitoring: Nordflanke – Fassungsraten

750-m-Sohle - Mittelwerte vom 01.01.2021 – 21.06.2021

Grundrissausschnitt der 750-m-Sohle



Fassungsraten

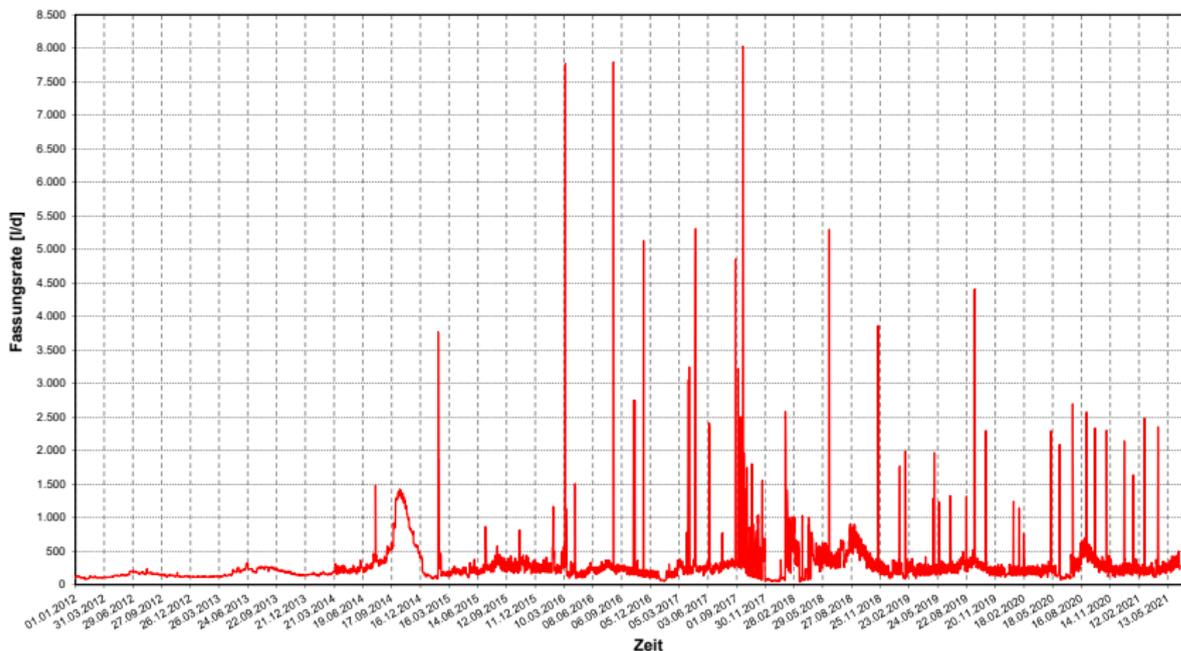
1	16 l/d
2	53 l/d
4	18 l/d
5	15 l/d
6	3 l/d
8	0 l/d
10	154 l/d
11	18 l/d
<hr style="border: 1px solid orange;"/>	
7	17 l/d
9	0 l/d
Σ	294 l/d

Westflügel

Ostflügel

Salzlösungsmonitoring: Fassungsraten – Nordflanke

Gesamte Nordflanke, Zeitraum: 01.01.2012 bis 21.06.2021

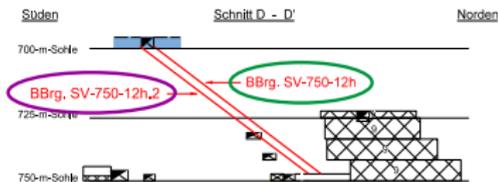


Jahr:	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
V [m³]:	50,19	65,60	219,98*	103,72*	124,16*	149,47*	159,91*	104,86*	110,94	49,74

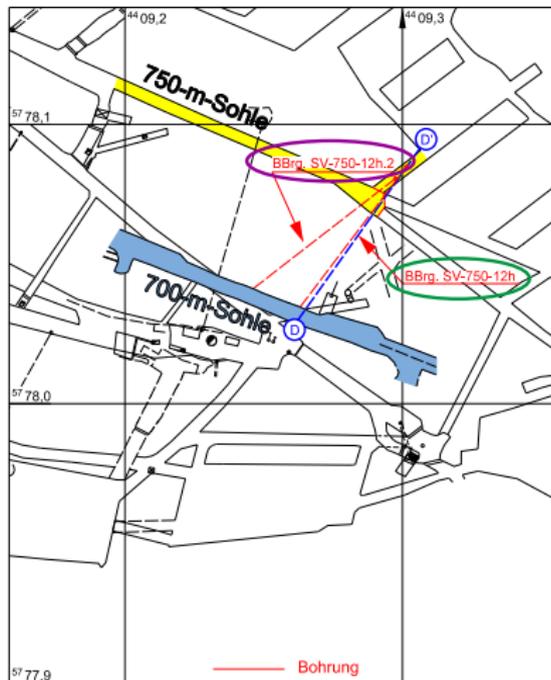


Salzlösungsmonitoring: Nordflanke, Ostfeld

Lageplan BBrG. SV-750-12h (Pumpe: L750179) und -12h.2 (Monitoring: P750184)

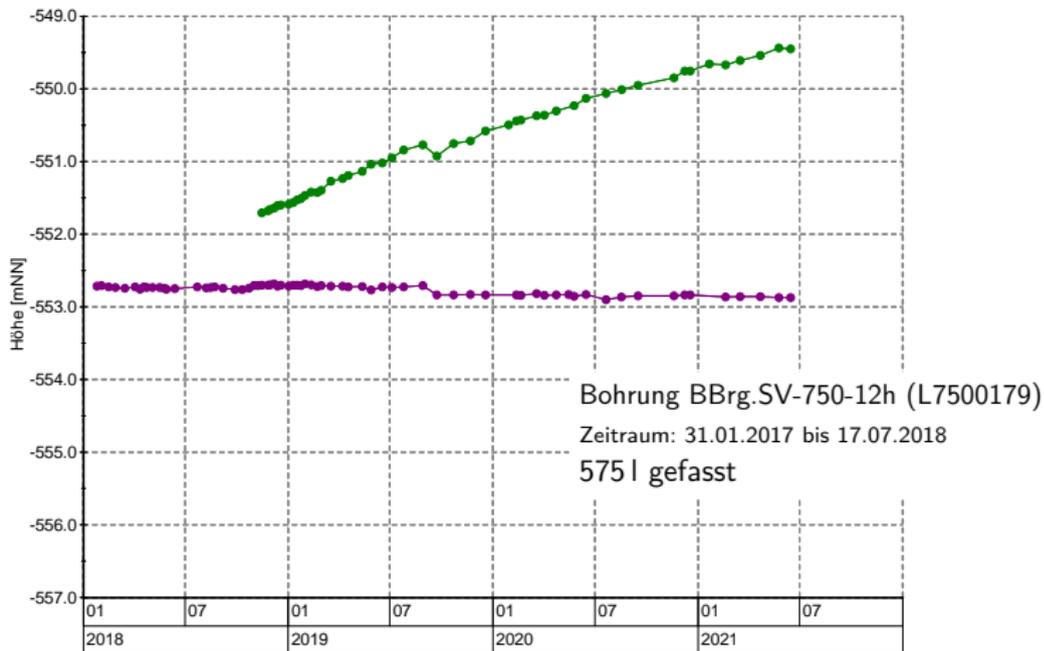


BBrg. SV-750-12h.2: $L = 81,6 \text{ m}$; $\alpha = -37,4^\circ$



Salzlösungsmonitoring: Nordflanke, Ostfeld

Pegelmessstelle vor Kali-Abbau 9/Ost (P750184 und L7500179), Zeitraum: 25.01.2018 bis 15.06.2021 (Lichtlotmessung)



Symbol	Messstelle	Lokation	Zeitraum
●—	L750179	vor Kali Abbau 9 Ost	01.11.2018 - 15.06.2021
●—	P750184	vor Kali Abbau 9 Ost	25.01.2018 - 15.06.2021

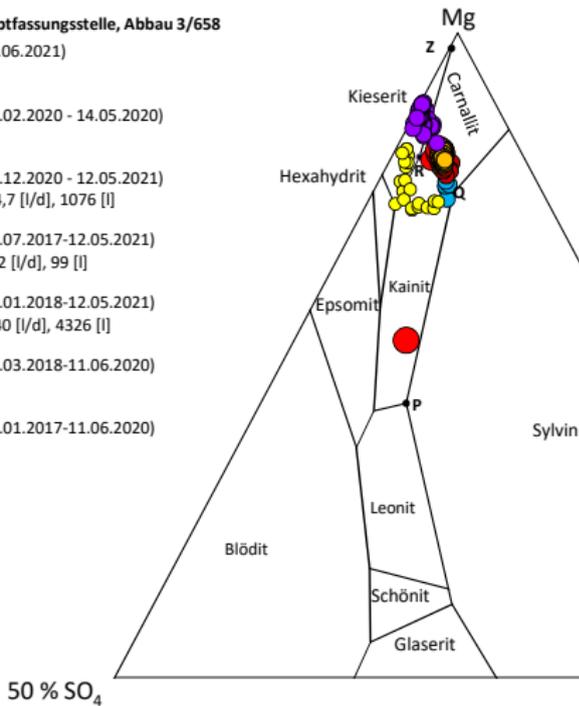


Salzlösungsmonitoring: Nordflanke, Bereich Reicheltsümpfe

Chemismus der Salzlösungen (Jänecke-Diagramm) – aktuelle Entwicklung

Südflanke, Hauptfassungsstelle, Abbau 3/658

- L658008 (03.06.2021)
- P750059 (06.02.2020 - 14.05.2020)
- P750059 (15.12.2020 - 12.05.2021)
im Mai => 34,7 [l/d], 1076 [l]
- P750185 (20.07.2017-12.05.2021)
im Mai => 3,2 [l/d], 99 [l]
- P750189 (11.01.2018-12.05.2021)
im Mai => 140 [l/d], 4326 [l]
- P750061 (22.03.2018-11.06.2020)
- P750064 (19.01.2017-11.06.2020)



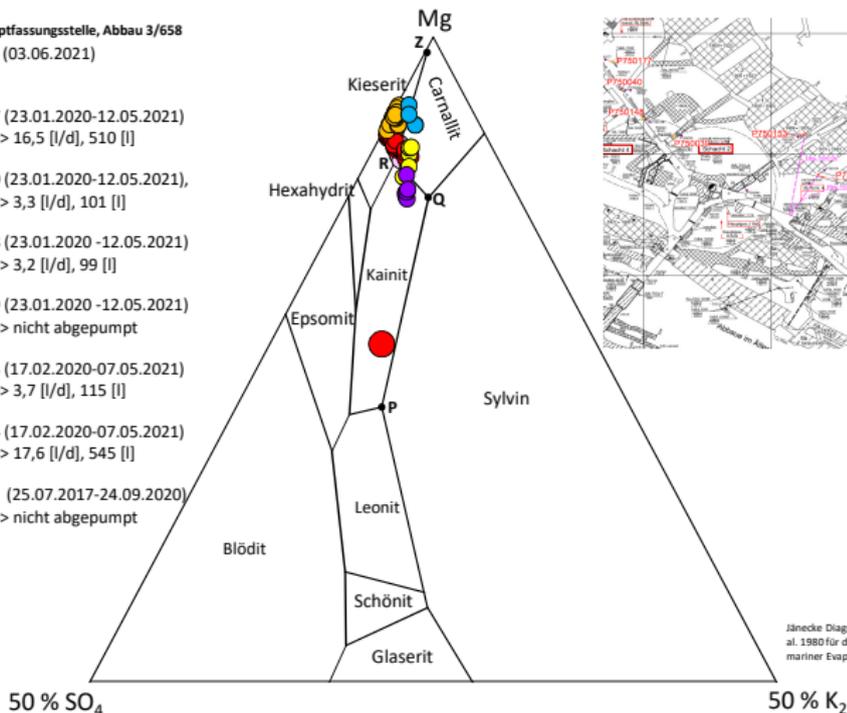
Jänecke Diagramm nach Eugster et. al. 1980 für das quinäre System mariner Evaporite bei 25°C, 1 atm

Salzlösungsmonitoring: Nordflanke, zentraler Bereich

Chemismus der Salzlösungen (Jänecke-Diagramm) – aktuelle Entwicklung

Südflanke, Hauptfassungsstelle, Abbau 3/658

- L658008 (03.06.2021)
- P750177 (23.01.2020-12.05.2021)
im Mai => 16,5 [l/d], 510 [l]
- P750040 (23.01.2020-12.05.2021),
im Mai => 3,3 [l/d], 101 [l]
- P750148 (23.01.2020 -12.05.2021)
im Mai => 3,2 [l/d], 99 [l]
- P750039 (23.01.2020 -12.05.2021)
im Mai => nicht abgepumpt
- P750153 (17.02.2020-07.05.2021)
im Mai => 3,7 [l/d], 115 [l]
- P750154 (17.02.2020-07.05.2021)
im Mai => 17,6 [l/d], 545 [l]
- L750179 (25.07.2017-24.09.2020)
im Mai => nicht abgepumpt



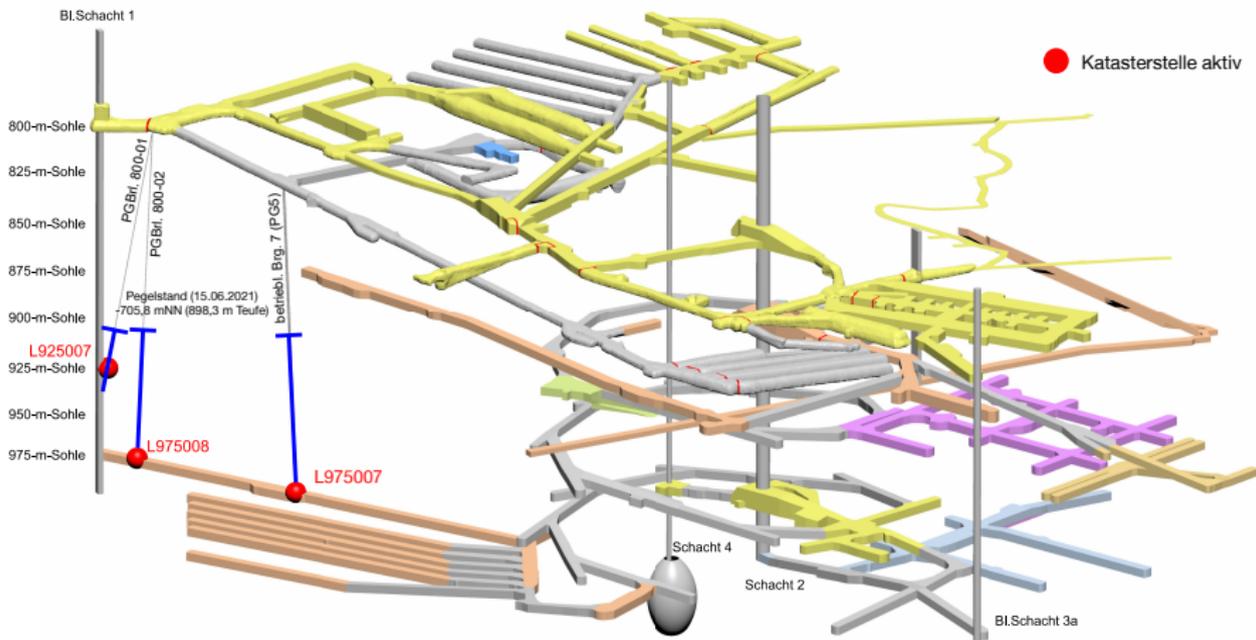
Jänecke Diagramm nach Eugster et. al. 1980 für das quinäre System mariner Evaporite bei 25°C, 1 atm

Übersicht Teil III

- 1 Grundlagen
- 2 Baufeld an der Südflanke
- 3 Carnallititbaufeld (Nordflanke)
- 4 Tiefenaufschluss**
- 5 Zusammenfassung – Salzlösungsmonitoring

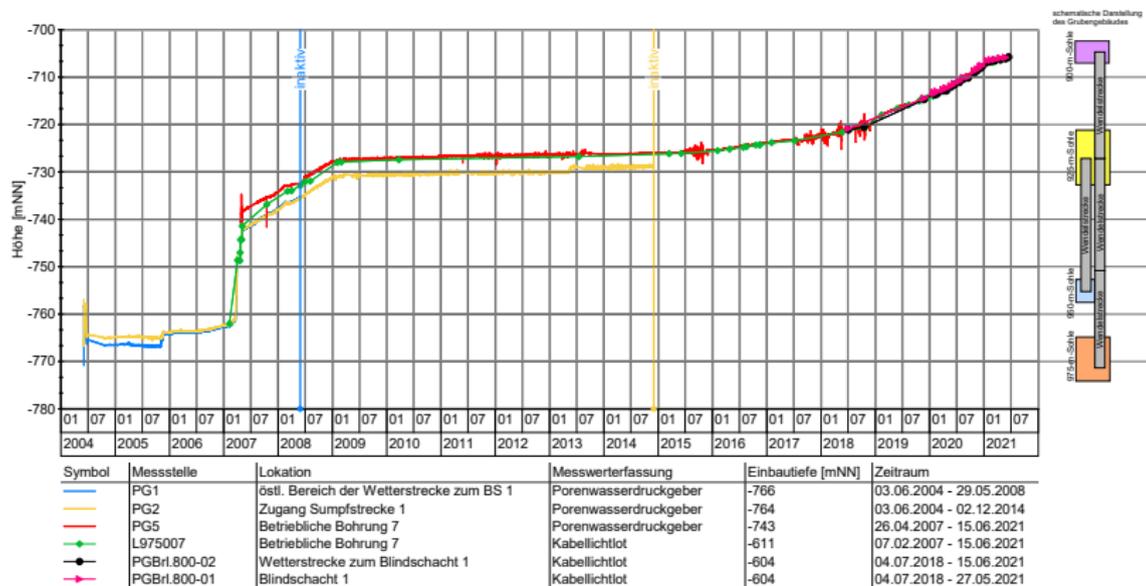
Salzlösungsmonitoring: Tiefenaufschluss

Katasterstellen und Pegelstände



Salzlösungsmonitoring: Tiefenaufschluss

Verlauf des Pegelstandes der Salzlösung, Zeitraum: 03.06.2004 bis 15.06.2021



- aktueller Pegelstand bei 898 m Teufe (−706 mNN)
- konvergenzbedingter Anstieg im Jahr 2020 beträgt ca. 7 m/a (2019: 5,0 m/a)

Übersicht Teil III

- 1 Grundlagen
- 2 Baufeld an der Südflanke
- 3 Carnallititbaufeld (Nordflanke)
- 4 Tiefenaufschluss
- 5 Zusammenfassung – Salzlösungsmonitoring**

Résumé – Salzlösungsmonitoring

- 658-m-Sohle
 - Die Fassungsrate an der Hauptfassungsstelle L658008 war mit $12,1 \text{ m}^3/\text{d}$ im Jahr 2020 sehr konstant. Lediglich im Dezember gab es einen kurzen, temporären Rückgang auf ca. $10,9 \text{ m}^3/\text{d}$. Die Meldeschwellen wurden nicht verletzt.
 - Aktuell gab es einen Rückgang der Fassungsrate bis auf ca. $9,9 \text{ m}^3/\text{d}$ und einen Wiederanstieg auf max. $15,3 \text{ m}^3/\text{d}$ (23.06.2021). Dies korreliert mit einem Anstieg der Dichte bis auf max. $1,21 \text{ g}/\text{cm}^3$ und einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung. Diese Veränderungen waren im Zeitraum vom 17.06.2021 bis zum 23.06.2021 meldepflichtig. Sowohl die Fassungsrate als auch Dichte und chemische Zusammensetzung gehen langsam auf Werte vor der Veränderung zurück.

Résumé – Salzlösungsmonitoring *(Forts.)*

- Die Ergebnisse der chemischen Analysen der Lösung aus der Hauptfassungsstelle ergeben in Korrelation mit dem Rückgang der Fassungsrate im Dezember Änderungen in der Zusammensetzung der Lösung.

Résumé – Salzlösungsmonitoring *(Forts.)*

- 725-m-Sohle

Die Auffangrate der Salzlösungen auf der 725-m-Sohle ist 2020 gegenüber 2019 im Mittel geringfügig von 579 auf 605 l/d angestiegen. Aktuell werden rund 650 l/d gefasst.

Bei der Zusammensetzung der Lösungen sind 2020 keine signifikanten Änderungen festzustellen.

Résumé – Salzlösungsmonitoring *(Forts.)*

● 750-m-Sohle

Bereich Südflanke

- Im Bereich östlicher Zugang Abbau 9/750 erfolgt das Monitoring und die Fassung (ca. 0,4 l/d im Mittel) von der 679-m-Sohle.
- Östlicher Zugang ELK 8 (P750043) im Mittel wurden 2020 ca. 6,0 l/d (2019: ca. 6,1 l/d) von der 679-m-Sohle gefasst.
- Das Monitoring und die Fassung der Lösung aus dem Bereich der ehemaligen Umfahrung Blindschacht 2/750 erfolgt weiter von der 700-m-Sohle im Routinebetrieb (2019: ca. 5 l/d, 2020 ca. 3 l/d im Mittel).
- In der Südflanke wurden 2019 im Mittel insgesamt ca. 13,1 m³/d gefasst. 2020 liegt die Fassungsrate für die Südflanke im Mittel bei ca. 12,7 m³/d. Dabei werden ca. 0,1 % der Lösungen auf der 750-m-Sohle aufgefangen. Der Anteil der im Abbau 3/658 gefassten Lösung betrug ca. 95,2 %.

Résumé – Salzlösungsmonitoring *(Forts.)*

Nordflanke

- Der Großteil der in der Nordflanke gefassten Lösungen erfolgt über Bohrungen hauptsächlich im Westflügel (2020: ca. $0,36 \text{ m}^3/\text{d}$ im Mittel). 2021 wurden bis Juni ca. $0,29 \text{ m}^3/\text{d}$ gefasst. Die chemische Zusammensetzung der Salzlösungen im Bereich der Nordflanke ist stabil.
- Salzlösungsmonitoring
 - Die Fassungssysteme sind funktionsfähig und intakt.
 - Die engmaschige Beobachtung aller wichtigen Sammelstellen und sonstiger Tropfstellen wird weiter betrieben und bei Bedarf intensiviert.

Teil IV

Zusammenfassung und Fazit

Übersicht Teil IV

- 1 Résumé – Spannungs- und Verformungszustand
- 2 Résumé – Beanspruchung des Tragsystems
- 3 Résumé – Salzlösungsmonitoring
- 4 Schlussfolgerungen

Übersicht Teil IV

- 1 **Résumé – Spannungs- und Verformungszustand**
- 2 Résumé – Beanspruchung des Tragsystems
- 3 Résumé – Salzlösungsmonitoring
- 4 Schlussfolgerungen

Spannungszustand

- Die maximalen gemessenen Spannungen entsprechen näherungsweise der maximalen Hauptspannung σ_1 (horizontal querschlägige Richtung). σ_1 ist überwiegend im mittleren Pfeilerbereich auf einem hohen Niveau konstant, in einigen Bereichen leicht rückläufig.
- Die minimal gemessenen Spannungen entsprechen näherungsweise der minimalen Hauptspannung σ_3 (horizontal streichende Richtung). σ_3 ist überwiegend gleichbleibend auf einem niedrigen Niveau und in einigen Bereichen leicht ansteigend.

Spannungszustand *(Forts.)*

- ⇒ Die weiterhin großen Spannungsdifferenzen $\Delta\sigma$ ($\sigma_1 - \sigma_3$) sind in Verbindung mit dem hohen Schädigungsgrad Ursache für die fortschreitende Entfestigung des Tragsystems im Baufeld an der Südflanke.
- ⇒ Eine beginnende Stützwirkung des Versatzes in den Abbauen auf die Pfeiler ist in Teilen des Tragsystems unterstützt durch die Firstspaltverfüllung/Resthohlraumverfüllung erkennbar und führt lokal zu einem geringen Rückgang der Spannungsdifferenzen.

Verformungssituation

- Die querschlägigen Pfeilerstauchungsraten liegen mit maximal 65–67 mm/a weiterhin auf einem hohen Niveau.
- Im Jahre 2020 ist wieder eine leicht degressive Entwicklung im Ost- und Westflügel festzustellen. Diese fällt aber geringer aus als im Vorjahr.
- Seit Beginn 2021 sind die Pfeilerstauchungsraten nahezu konstant.

Verformungssituation (Forts.)

- Die Maxima liegen weiterhin etwa im Niveau der 532- bis 595-m-Sohle, im Westflügel im Bereich der Abbaureihen 3 und 4 sowie im Ostflügel in den Abbaureihen 6 und 7.
 - Die Scherbeanspruchung am oberen Baufeld ist weiterhin hoch, entwickelt sich aber degressiv und die Unterschiede zwischen Ost-, Westflügel und Hauptpfeiler haben sich angeglichen.
 - Aus den Extensometer- und Inklinometer- sowie Lagemessungen lassen sich Vektorverschiebungen für einzelne Pfeilerbereiche darstellen.
- ⇒ Diese bestätigen, dass die Pfeilerstauchung im Wesentlichen durch die Verschiebung der südlichen Ankerpunkte bzw. des südlichen Deckgebirges nach Norden bewirkt werden.

Übersicht Teil IV

- 1 Résumé – Spannungs- und Verformungszustand
- 2 Résumé – Beanspruchung des Tragsystems**
- 3 Résumé – Salzlösungsmonitoring
- 4 Schlussfolgerungen

Beanspruchung des Tragsystems

- Die Entwicklung der Gebirgsspannungen, der Versatzdrücke sowie der Verschiebungs- und Verformungsraten weist weiterhin eine hohe Beanspruchung des Tragsystems in der Südflanke aus.
- Die hohen Beanspruchungen führen bei fehlender oder unzureichender Stabilisierung der Tragelemente zu weiteren Schädigungsprozessen.

Beanspruchung des Tragsystems *(Forts.)*

- Die mikroseismische Aktivität im Bereich des Tragsystems ist leicht rückläufig, liegt aber weiterhin auf hohem Niveau.
- Das mikroseismische Cluster bei ELK 4/750 ist weiterhin aktiv. Nach umfangreichen Stabilisierungsmaßnahmen in diesem Bereich der 750-m-Sohle hat sich ab Frühjahr 2018 die mikroseismische Aktivität bzw. der Anstieg der kumulativen Energie deutlich verringert.
- Die mikroseismische Aktivität im Bereich der ELK 6/750 ist hoch.
- Auch im zentralen Bereich der 700- bis 725-m-Sohle ist die mikroseismische Aktivität vergleichsweise hoch.
- Außerhalb des Grubengebäudes ist vor allem die mikroseismische Aktivität östlich des Grubengebäudes oberhalb der 532-m-Sohle und unterhalb der 700-m-Sohle auffällig.

Übersicht Teil IV

- 1 Résumé – Spannungs- und Verformungszustand
- 2 Résumé – Beanspruchung des Tragsystems
- 3 Résumé – Salzlösungsmonitoring**
- 4 Schlussfolgerungen

Salzlösungsmonitoring

Baufeld an der Südflanke

- Abbau 3/658:
 - Die Fassungsrate an der Hauptfassungsstelle L658008 war mit $12,1 \text{ m}^3/\text{d}$ im Jahr 2020 sehr konstant.
 - Lediglich im Dezember 2020 gab es einen kurzen, temporären Rückgang auf ca. $10,9 \text{ m}^3/\text{d}$.
 - Die Meldeschwellen wurden 2020 nicht verletzt.
 - Der Anteil der im Abbau 3/658 gefassten Lösung liegt 2020 bei 95,2 % (2019: 95,5 %).
 - Aktuell gab es einen Rückgang der Fassungsrate bis auf ca. $9,9 \text{ m}^3/\text{d}$ und einen Wiederanstieg auf max. $15,3 \text{ m}^3/\text{d}$. Dies korreliert mit einem Anstieg der Dichte bis auf max. $1,21 \text{ g}/\text{cm}^3$ und einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung.
 - Dies führte im Zeitraum 17.06. bis 23.06.2021 zu einem meldepflichtigen Ereignis.
 - Sowohl die Fassungsrate als auch die Dichte und chemische Zusammensetzung gehen langsam auf die Werte vor der Veränderung zurück.

Salzlösungsmonitoring *(Forts.)*

- Auf der 725-m-Sohle betrug die Fassungsrate im Jahr 2020 und auch aktuell durchschnittlich ca. $0,6 \text{ m}^3/\text{d}$. Dies entspricht 2020 ca. 4,8 % (2019: 4,4 %).
- Nahezu die gesamte Lösungsmenge wird im Bereich der Abbaureihe 3 oberhalb der 750-m-Sohle gefasst.
- Auf der 750-m-Sohle wurden in 2020 ca. 0,1 % (2019: 0,1 %) der Lösungen gefasst, jedoch sind diese zum Teil kontaminiert, sie durchfeuchten Tragelemente und zersetzen carnallitische Gebirgsbereiche.
- In Summe lag die Zutritts-/Fassungsrate im Bereich des Baufeldes an der Südflanke 2020 bei ca. $12,7 \text{ m}^3/\text{d}$ (aktuell: $12,3 \text{ m}^3/\text{d}$ (bis 01.06.2021), 2019: $13,1 \text{ m}^3/\text{d}$).

Salzlösungsmonitoring (Forts.)

- Auf der 725-m-Sohle betrug die Fassungsrate im Jahr 2020 und auch aktuell durchschnittlich ca. $0,6 \text{ m}^3/\text{d}$.
Insgesamt ist das installierte und ergänzte Fassungs- und Abbaureihe 3 System funktionsfähig sowie für die
- Nahezu die gesamte Lösungsmenge wird im Bereich der Abbaureihe 3 abgefaßt.
Fassungssystem funktionsfähig sowie für die
- Auf der 750-m-Sohle wurden in 2020 ca. $0,1 \%$ (2019: $0,1 \%$) der Lösungsmenge abgefaßt.
Bewertung der Zutrittssituation und eine geotechnische Charakterisierung geeignet.
- In Summe lag die Zutritts-/Fassungsrate im Bereich des Baufeldes an der Südflanke 2020 bei ca. $12,7 \text{ m}^3/\text{d}$ (aktuell: $12,3 \text{ m}^3/\text{d}$ (bis 01.06.2021), 2019: $13,1 \text{ m}^3/\text{d}$).

Salzlösungsmonitoring *(Forts.)*

Nordflanke

- Im Bereich der Nordflanke wurden in 2020 durchschnittlich $0,3 \text{ m}^3/\text{d}$ (2019: $0,3 \text{ m}^3/\text{d}$) gefasst.
- Ein weiterer Ausbau der Fassungssysteme ist geplant.

Übersicht Teil IV

- 1 Résumé – Spannungs- und Verformungszustand
- 2 Résumé – Beanspruchung des Tragsystems
- 3 Résumé – Salzlösungsmonitoring
- 4 Schlussfolgerungen**

Schlussfolgerungen

- Zur weiteren Stabilisierung des Tragsystems ist eine zügige und systematische Fortsetzung der Resthohlraum- bzw. Firstspaltverfüllung insbesondere im Westflügel des Baufeldes an der Südflanke, im Bereich Sattelkern sowie im Carnallititbaufeld unverzichtbar.
- Zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit der in Nutzung befindlichen Infrastrukturräume sind die lokalen Monitoringprogramme fortzuführen und die laufenden Sanierungsprogramme planmäßig fortzusetzen.
- Im Ergebnis des Monitorings werden bei Bedarf weitere zielgerichtete Sanierungs- und Stabilisierungsmaßnahmen initiiert.

Schlussfolgerungen *(Forts.)*

- ⇒ Auch im Hinblick auf die geplante Rückholung der radioaktiven Abfälle ist eine zügige Stabilisierung des Tragsystems weiterhin unabdingbar.
- ⇒ Die fortschreitenden Schädigungsprozesse schränken die Gebrauchstauglichkeit insbesondere der Infrastrukturbereiche auf der 700-m-Sohle sowie der Wendelstrecke zunehmend ein bzw. erfordern zusätzliche Stabilisierungs-/Sanierungsmaßnahmen.
- ⇒ Aufgrund der vorhandenen Vorschädigung und der anhaltenden gebirgsmechanischen Beanspruchung insbesondere im Zutrittsbereich ist keine Abnahme der hydrogeologischen Gefährdung zu erkennen. Es besteht vielmehr die Gefahr, dass sich der Lösungszutritt ändert und/oder sich neue Zutrittspfade ergeben.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

