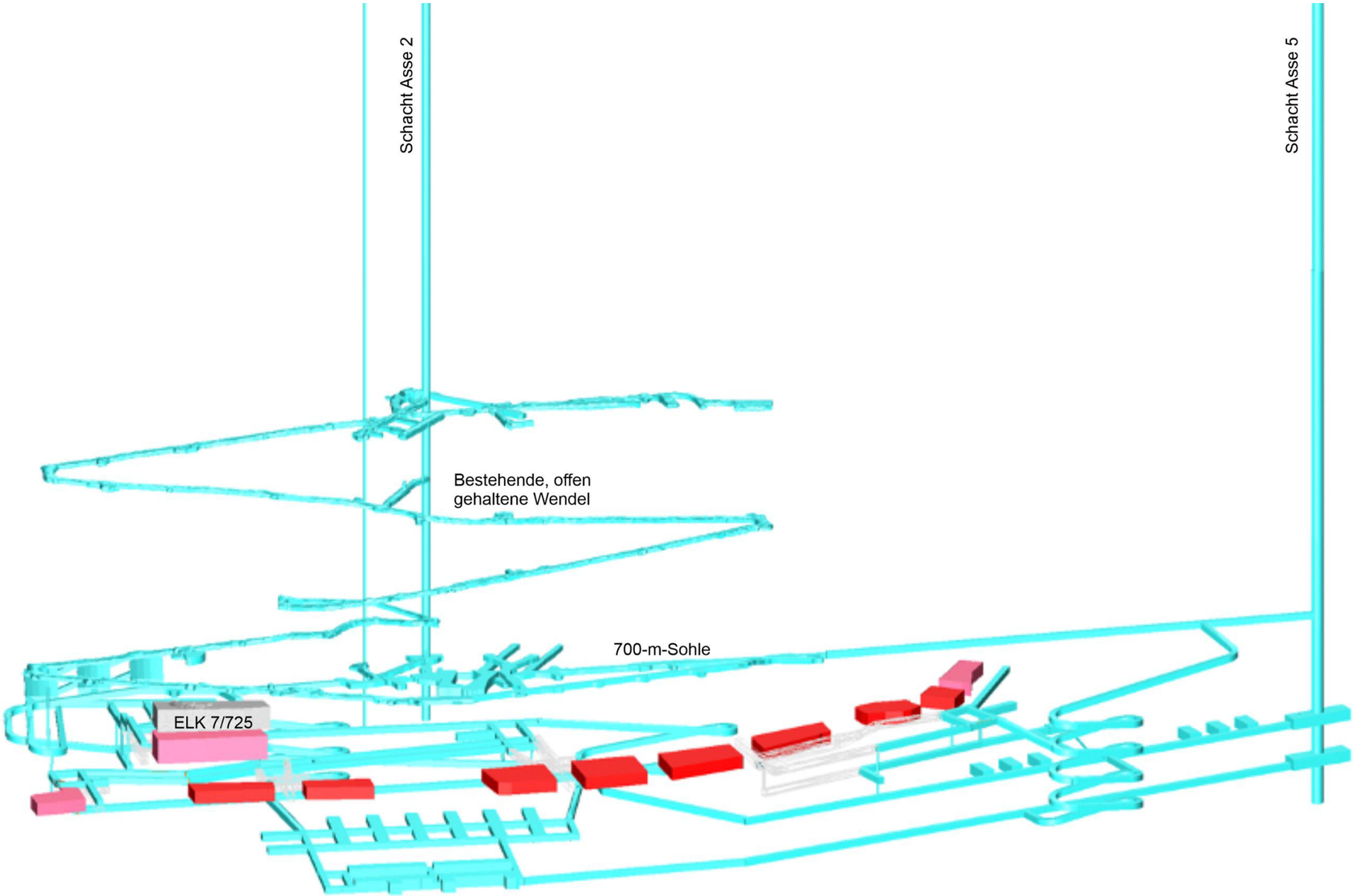
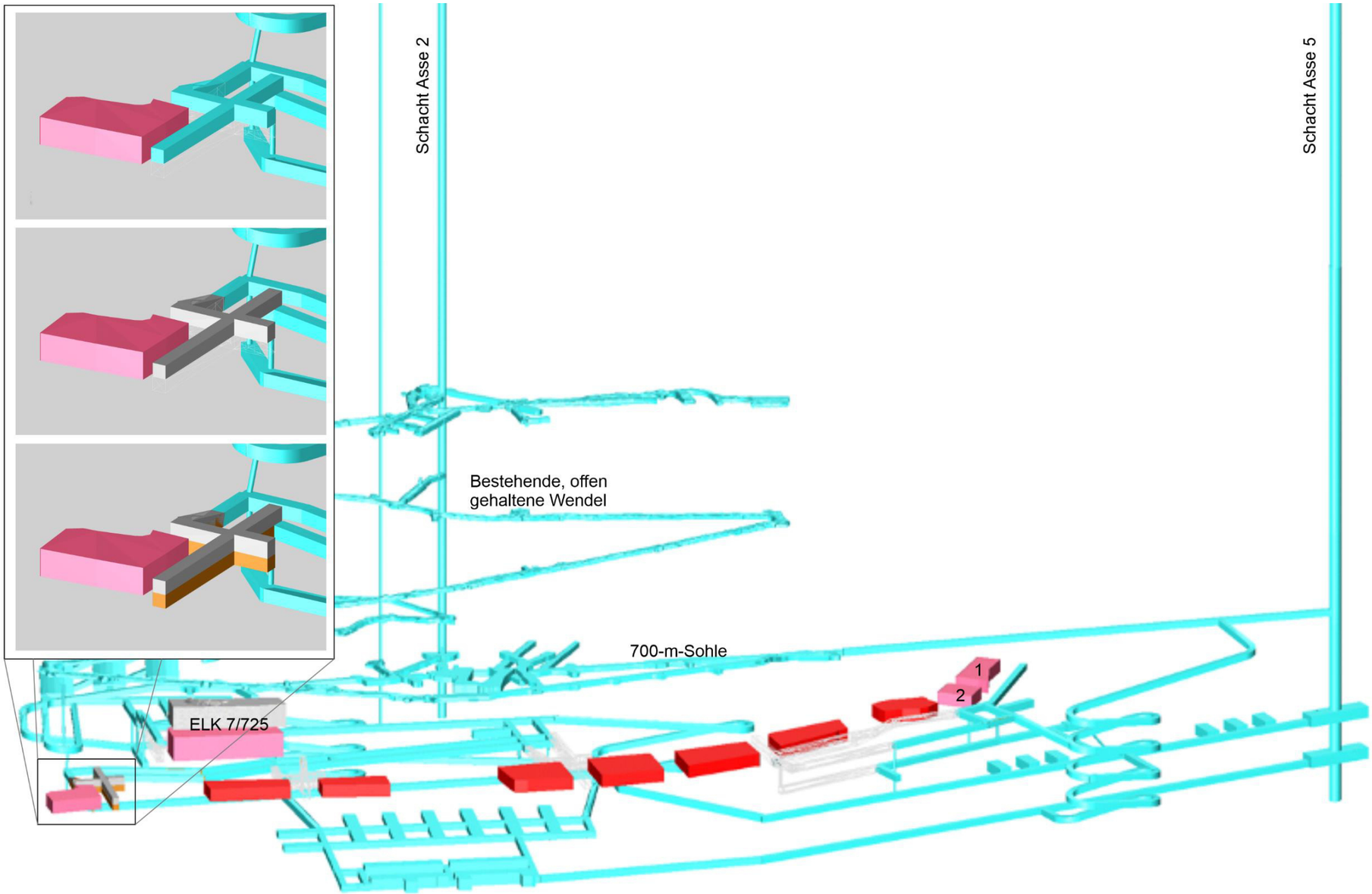


Legende:

- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 6 - 7



Legende:

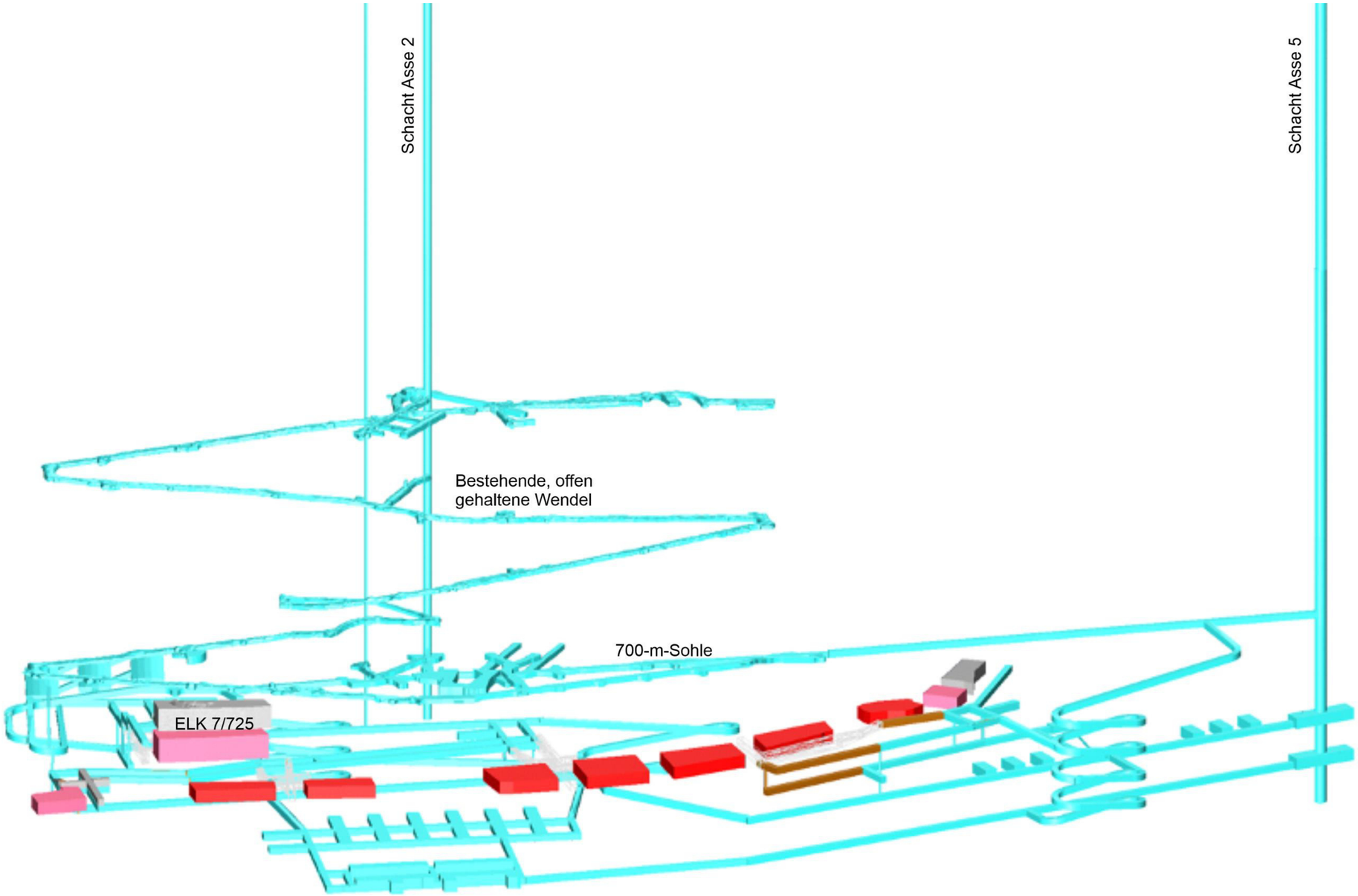
- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Anmerkungen:

- *In diesem Jahr Ende der Rückholung in ELK 1*
- *anschließend innerhalb des Jahres Beginn der Rückholung in ELK 2*

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 8

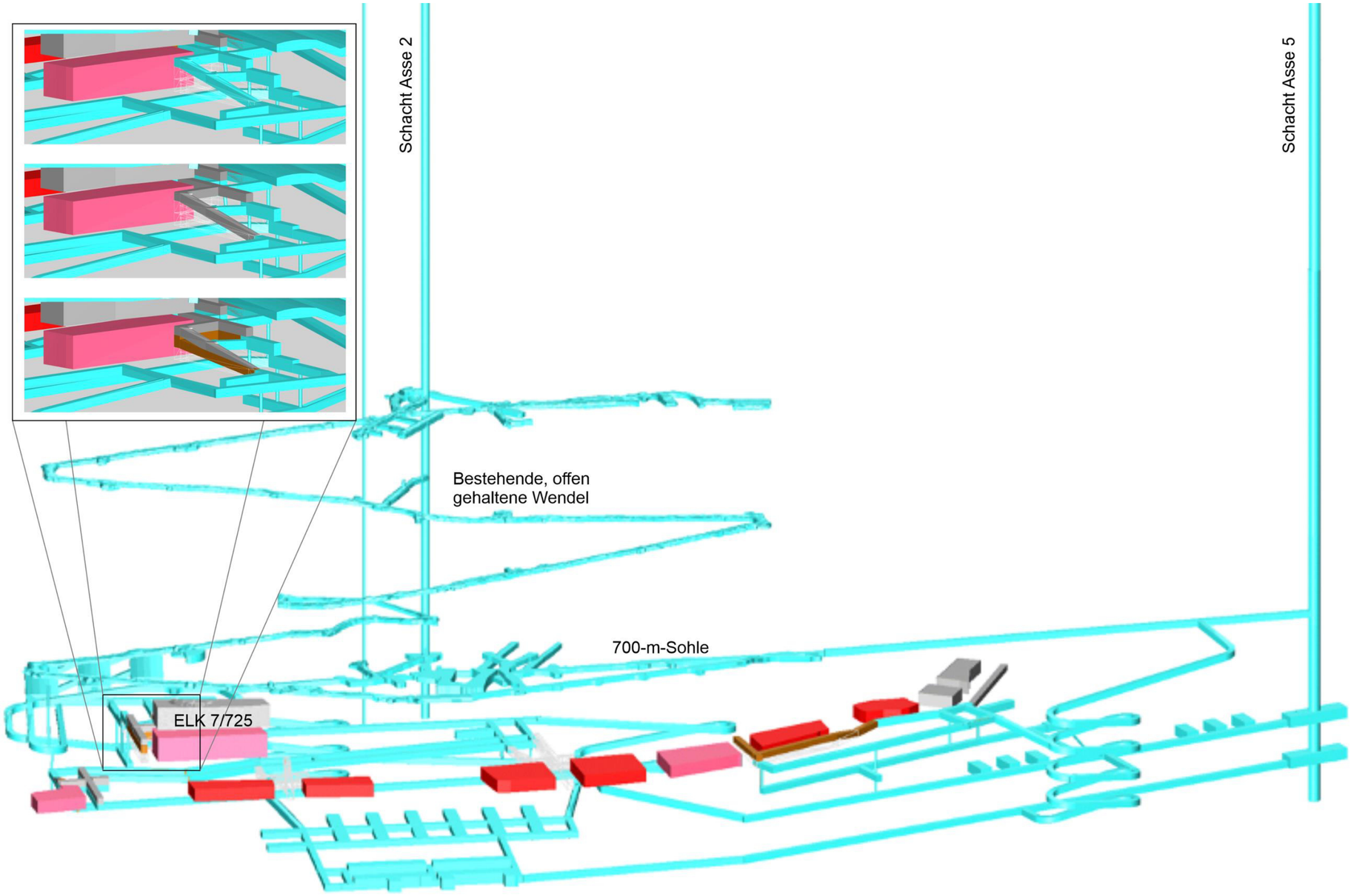


Legende:

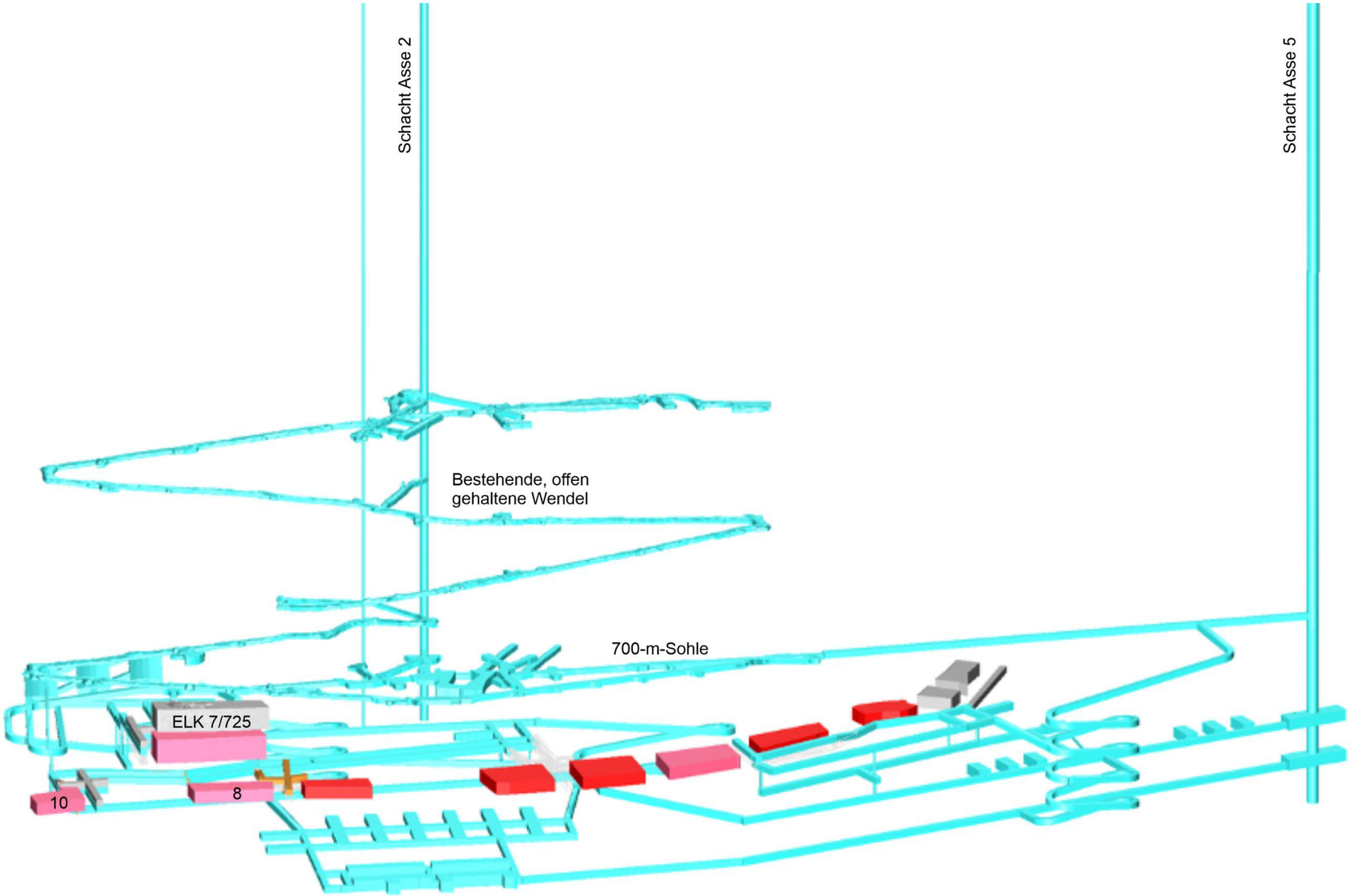
- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 9



Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 10



Legende:

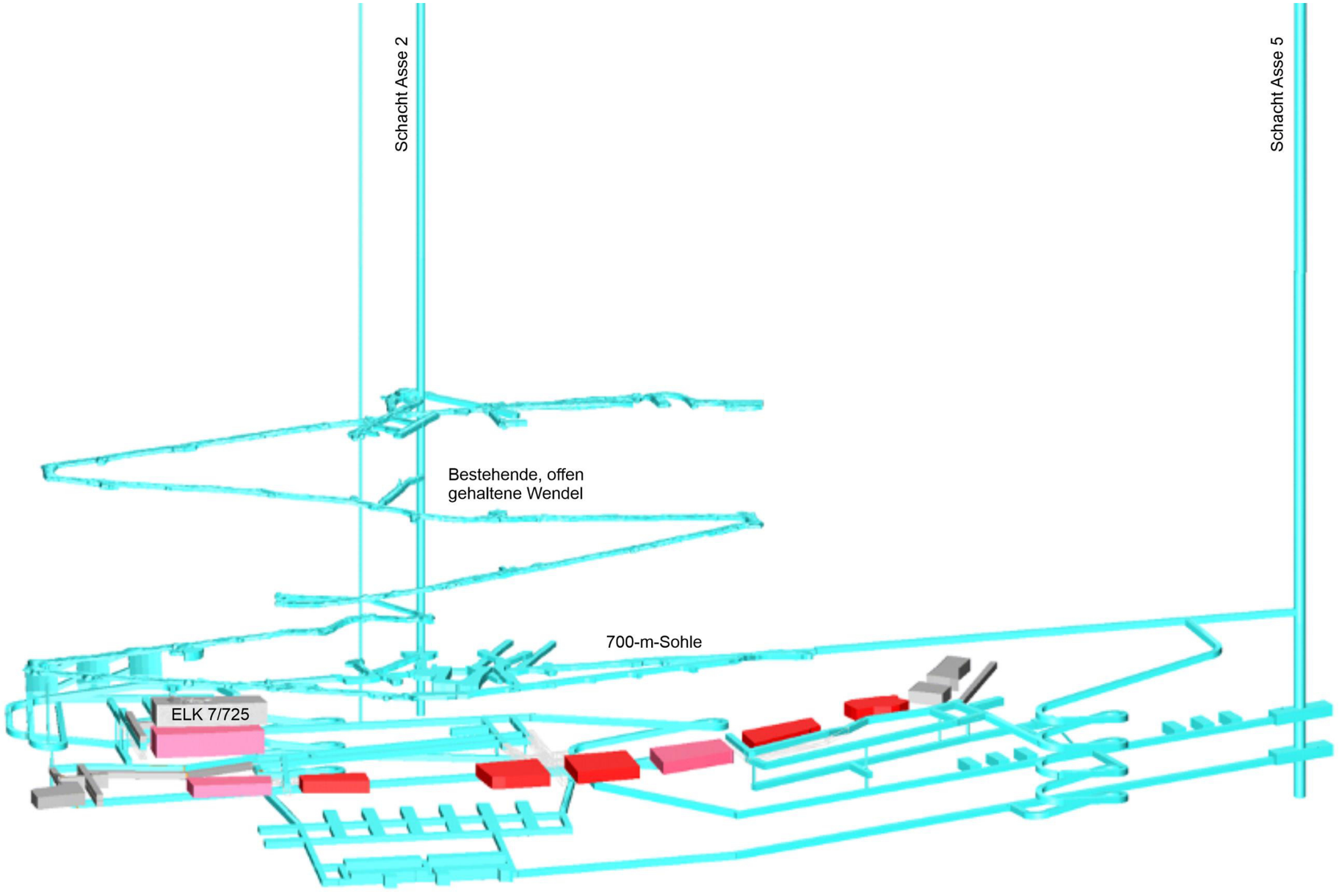
- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Anmerkungen:

- *In diesem Jahr Ende der Rückholung in der unteren Ebene ELK 10*
- *Ende des Jahres Beginn der Rückholung in der oberen Ebene ELK 8*

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 11

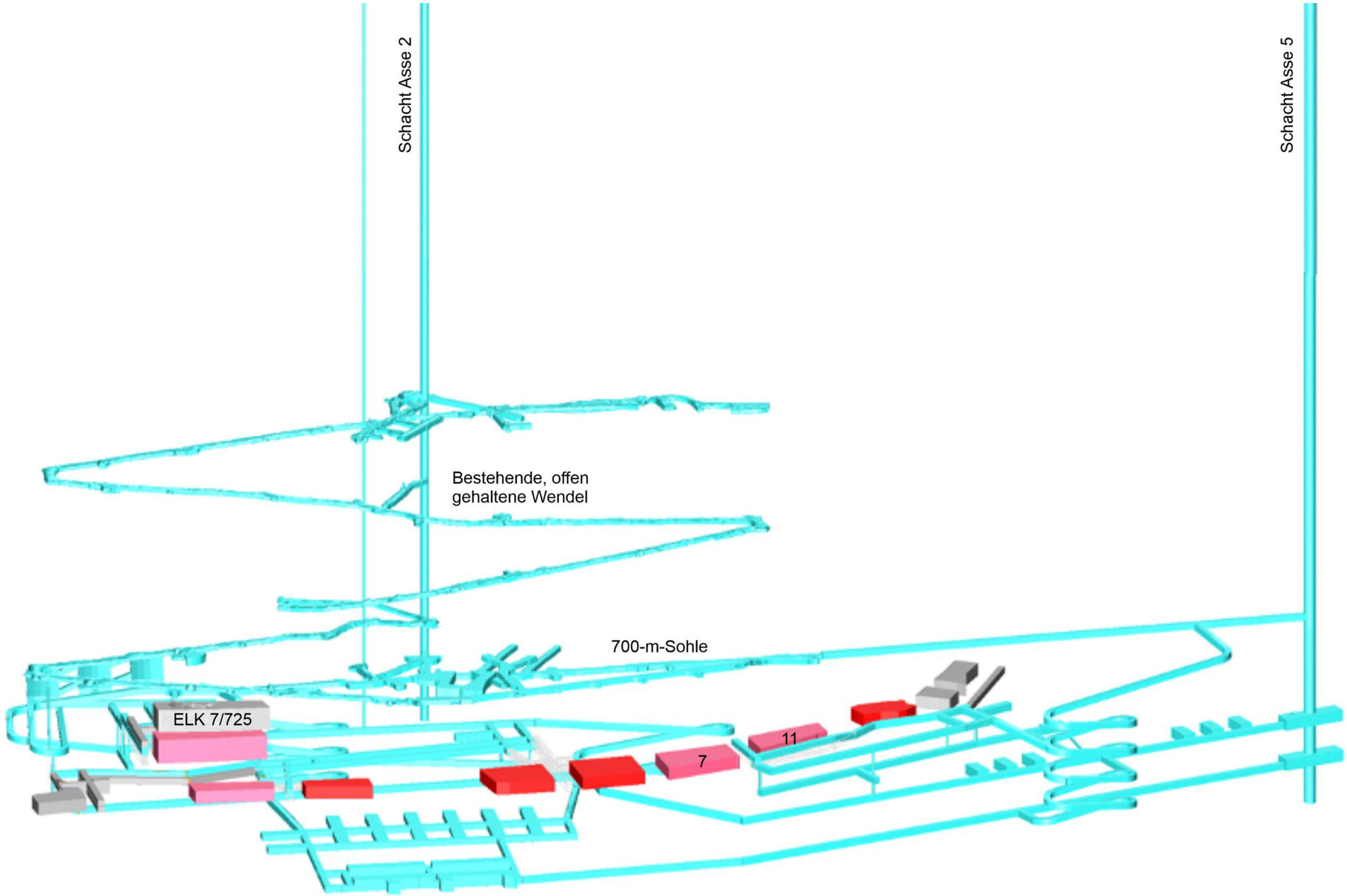


Legende:

- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 12



Legende:

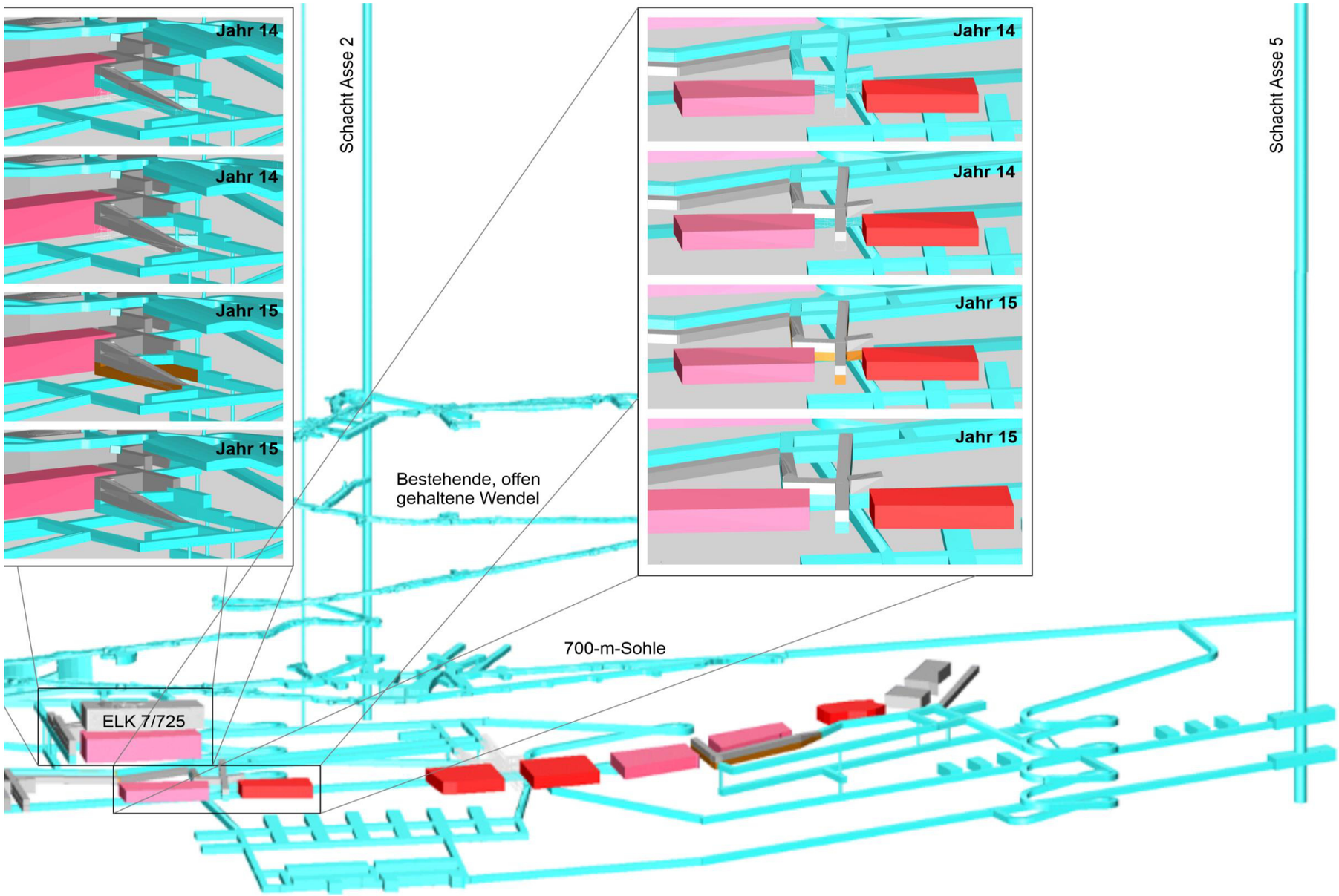
- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

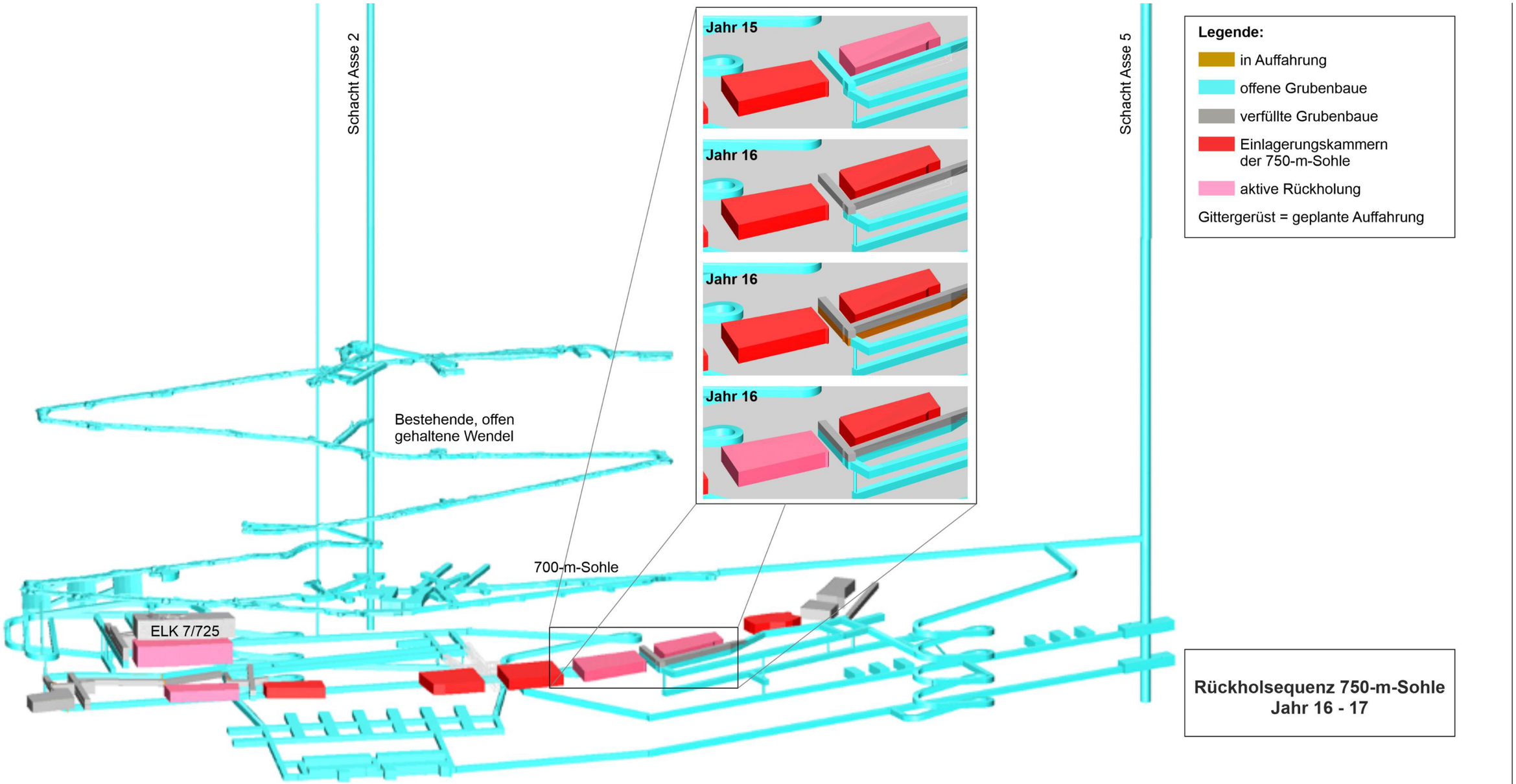
Anmerkungen:

- *In diesem Jahr Ende der Rückholung in der oberen Ebene ELK 7*
- *Ende des Jahres Beginn der Rückholung in der oberen Ebene ELK 11*

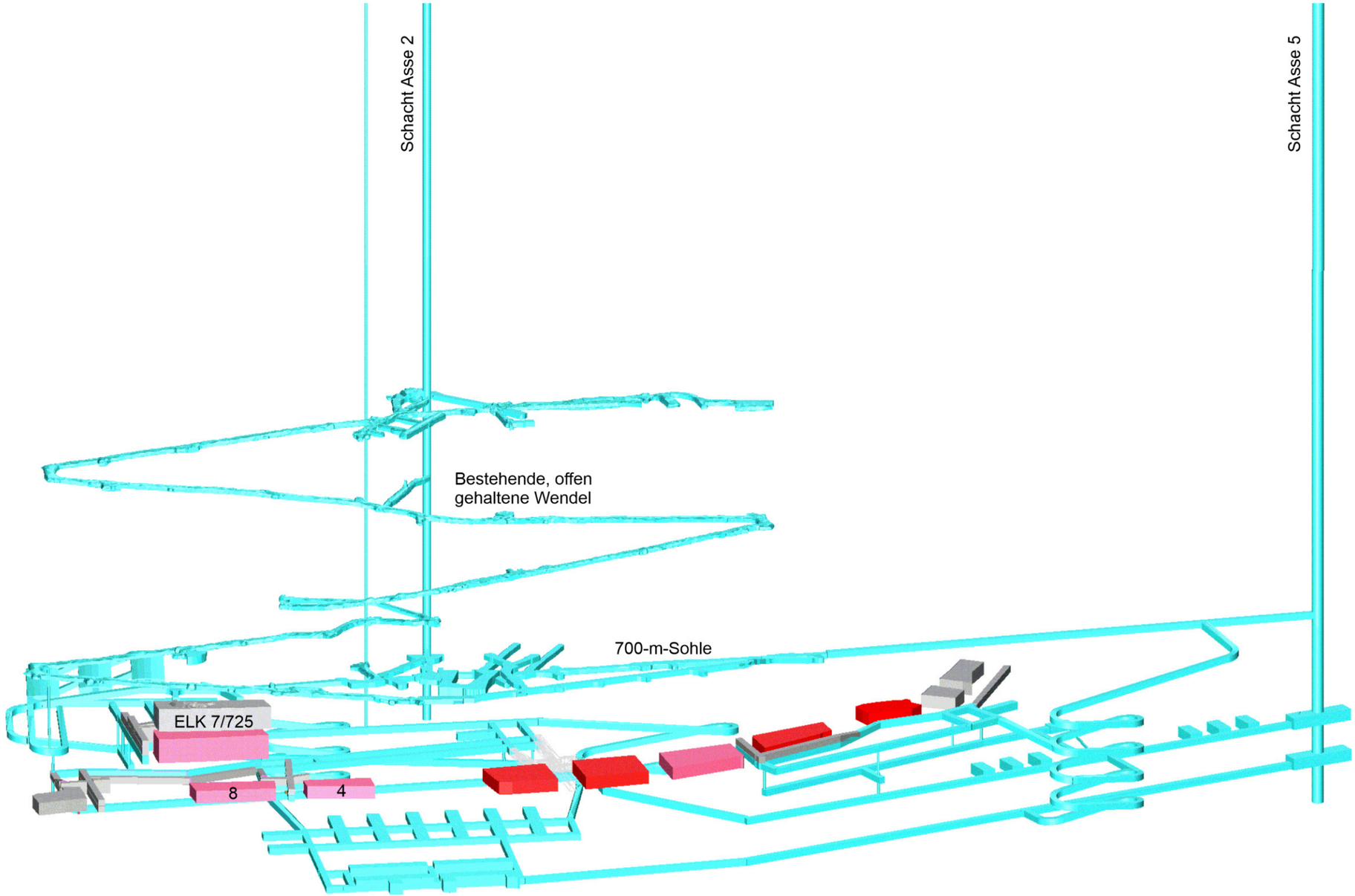
Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 13



Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 14 - 16



Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 16 - 17



Legende:

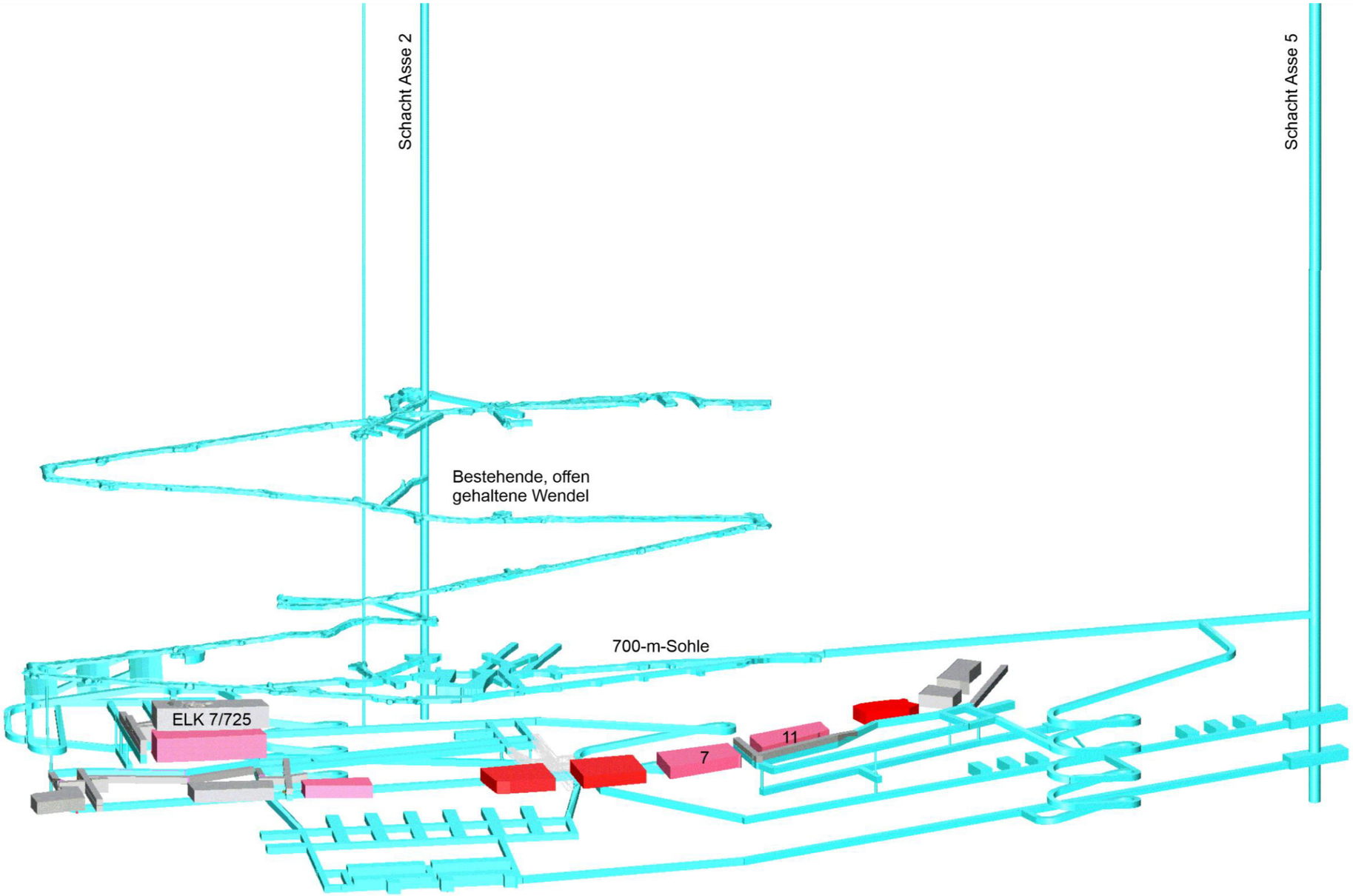
- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Anmerkungen:

- *In diesem Jahr Ende der Rückholung in der unteren Ebene ELK 8*
- *Ende des Jahres Beginn der Rückholung in der oberen Ebene ELK 4*

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 18



Legende:

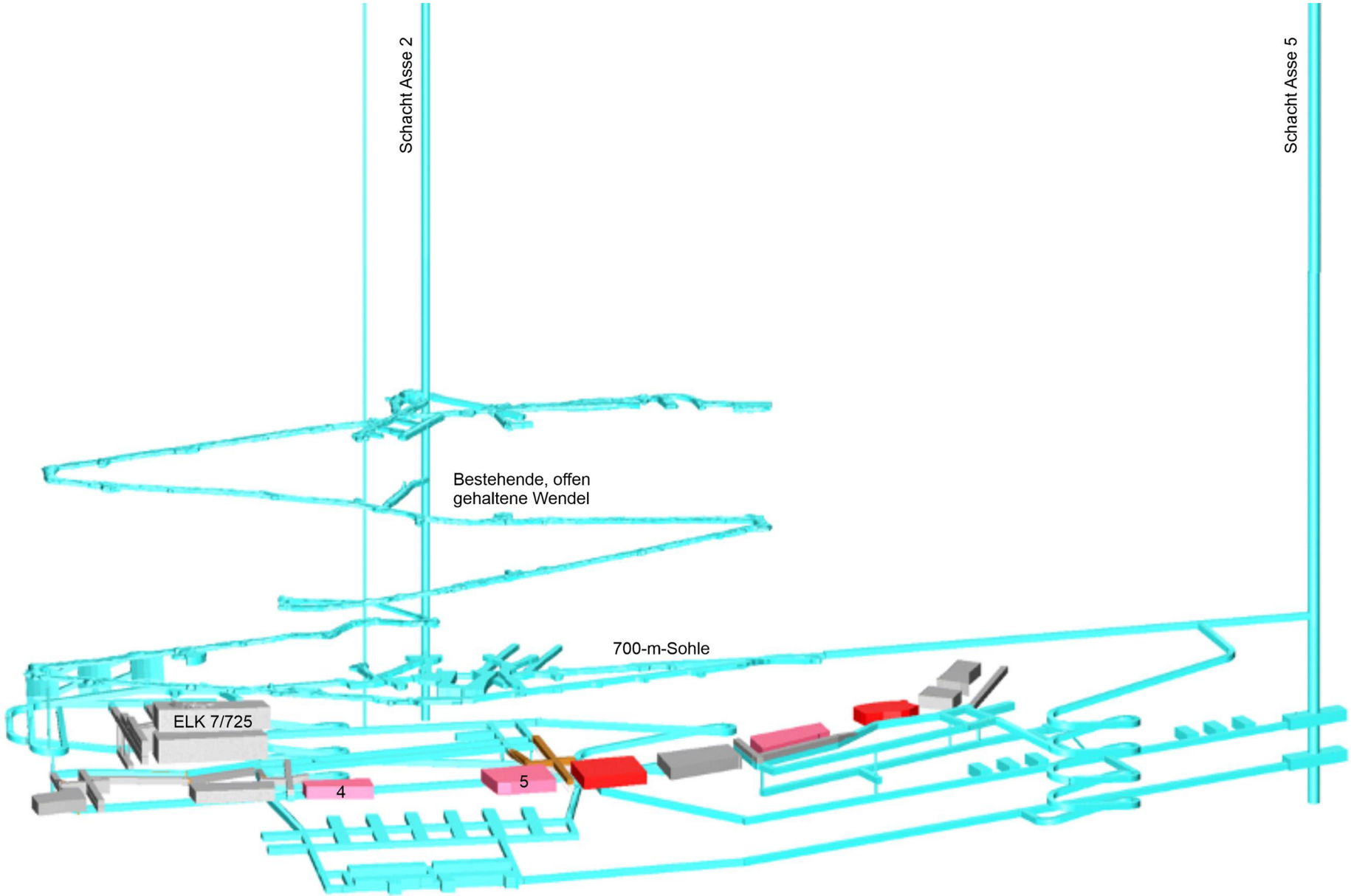
- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Anmerkungen:

- *In diesem Jahr Ende der Rückholung in der unteren Ebene ELK 7*
- *Ende des Jahres Beginn der Rückholung in der unteren Ebene ELK 11*

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 19



Legende:

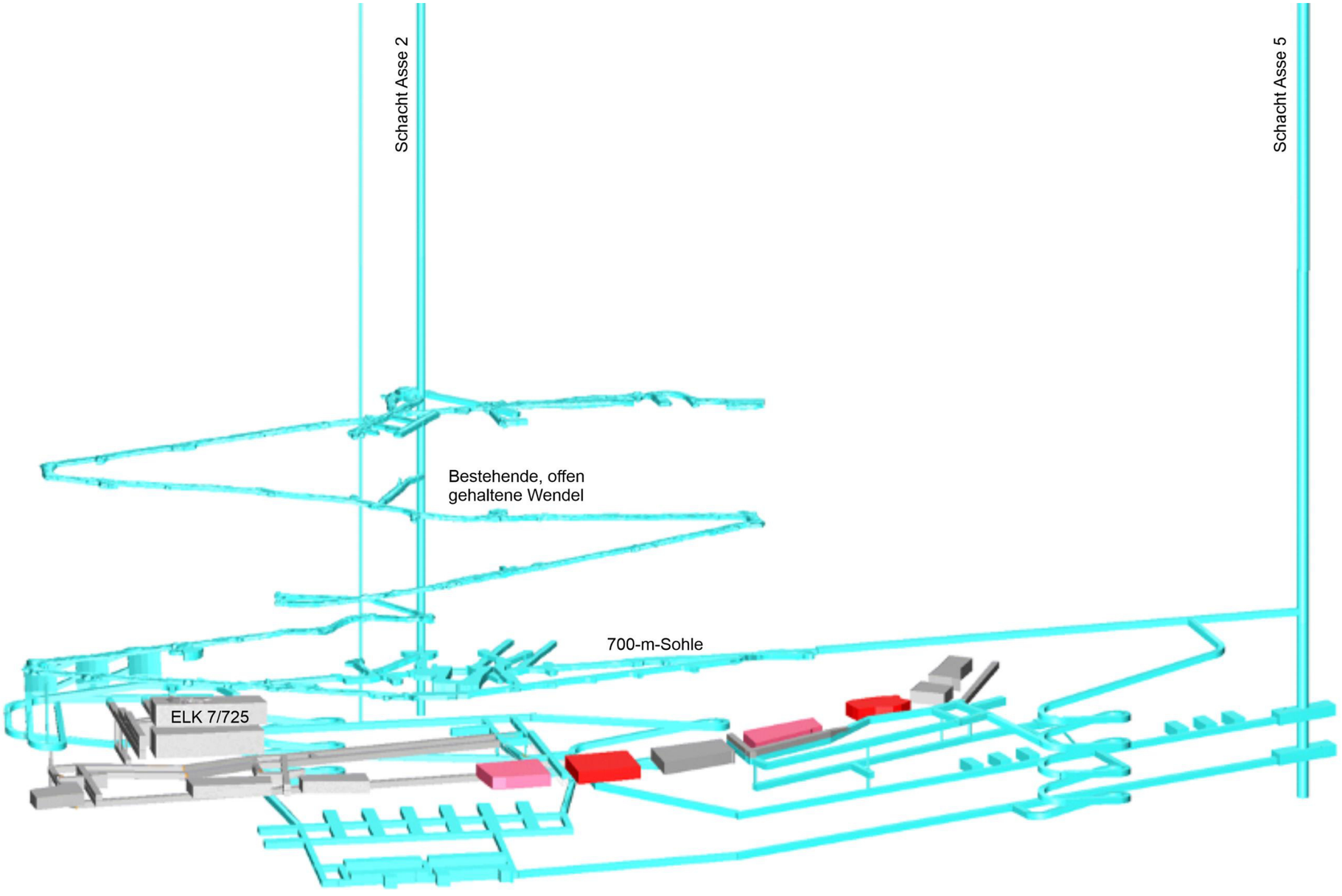
- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

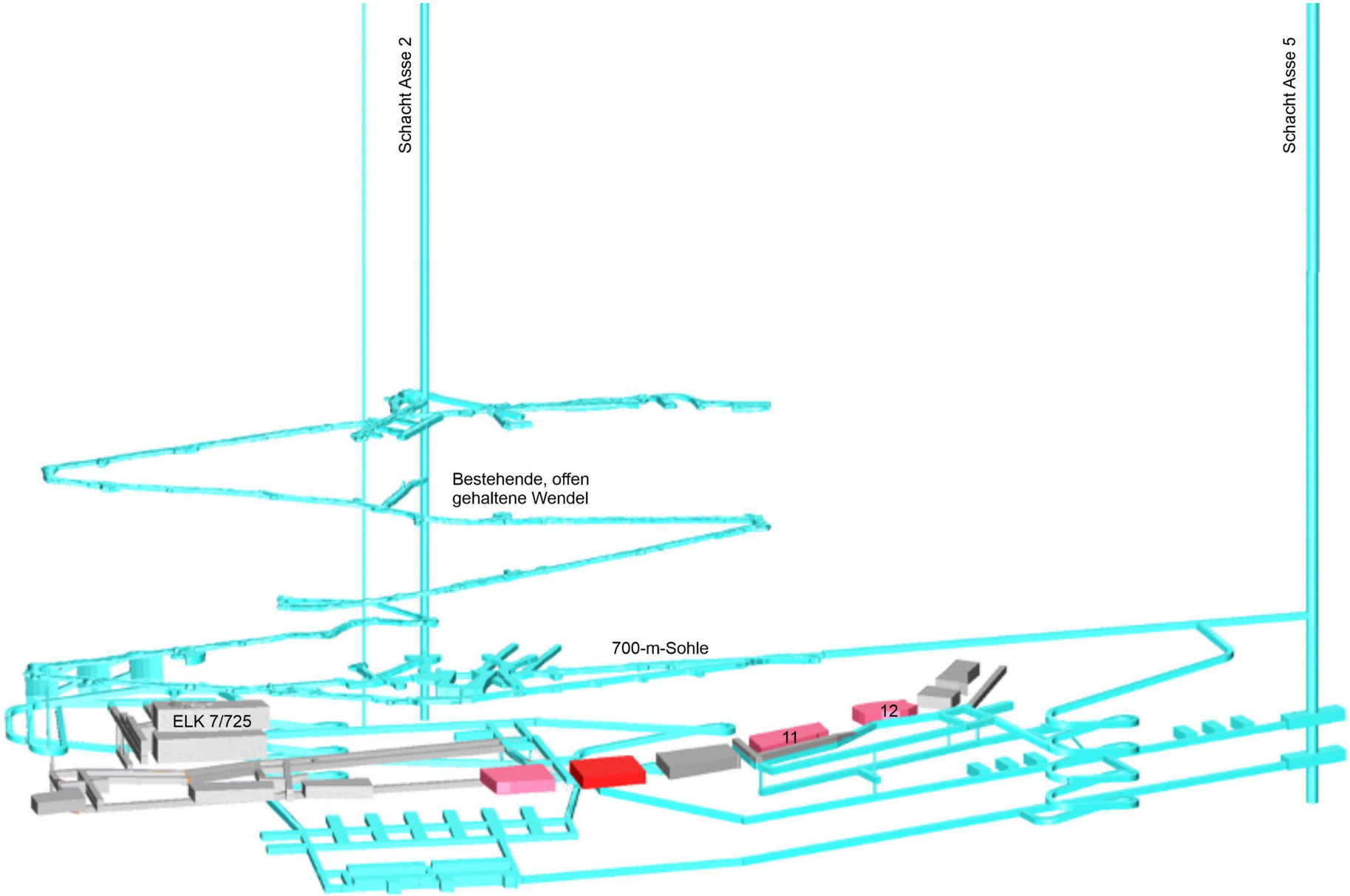
Anmerkungen:

- *In diesem Jahr Ende der Rückholung in der unteren Ebene ELK 4*
- *Ende des Jahres Beginn der Rückholung in der oberen Ebene ELK 5*

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 20



Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 21



Legende:

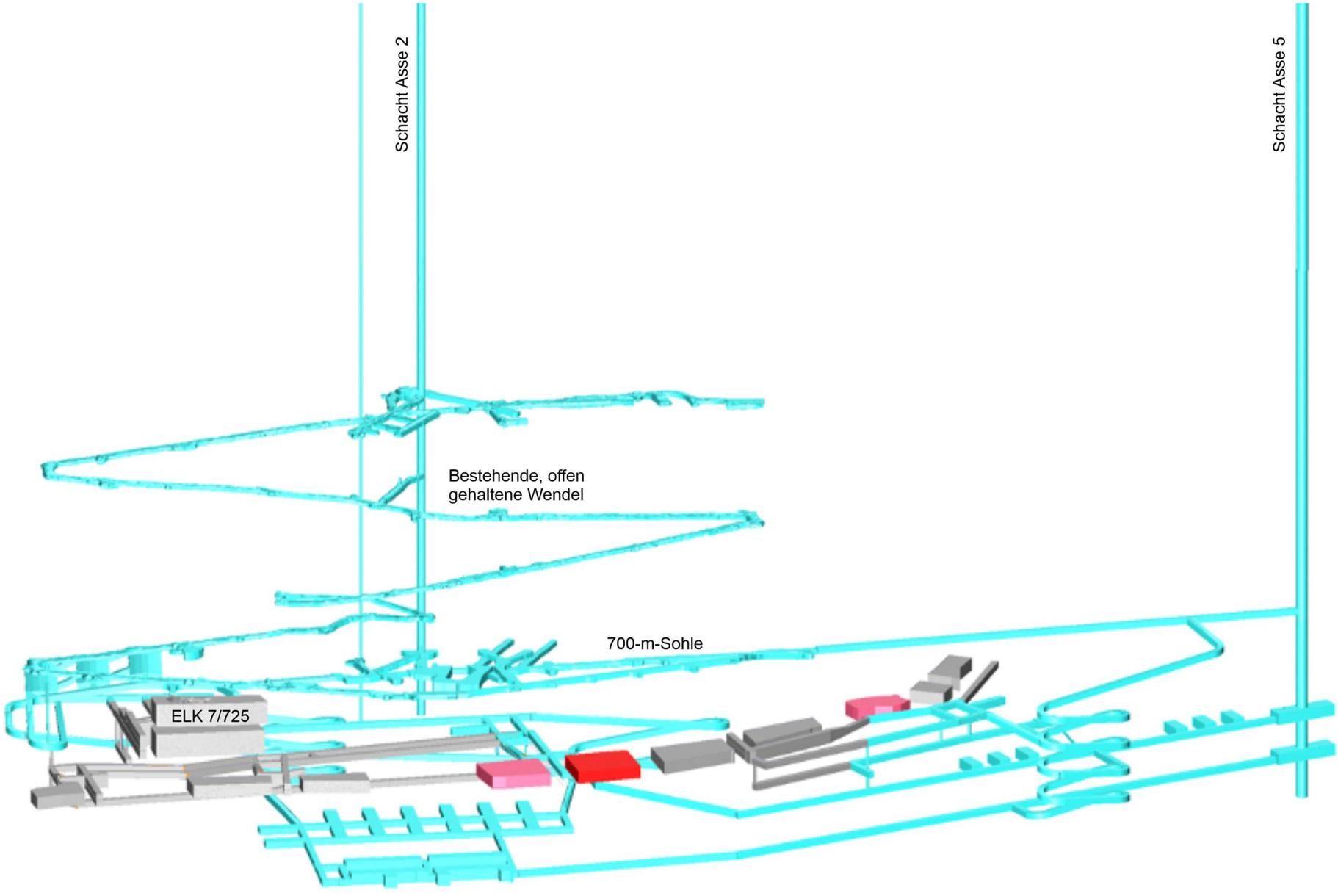
- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Anmerkungen:

- *In diesem Jahr Ende der Rückholung in der unteren Ebene ELK 11*
- *Ende des Jahres Beginn der Rückholung in der oberen Ebene ELK 12*

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 22

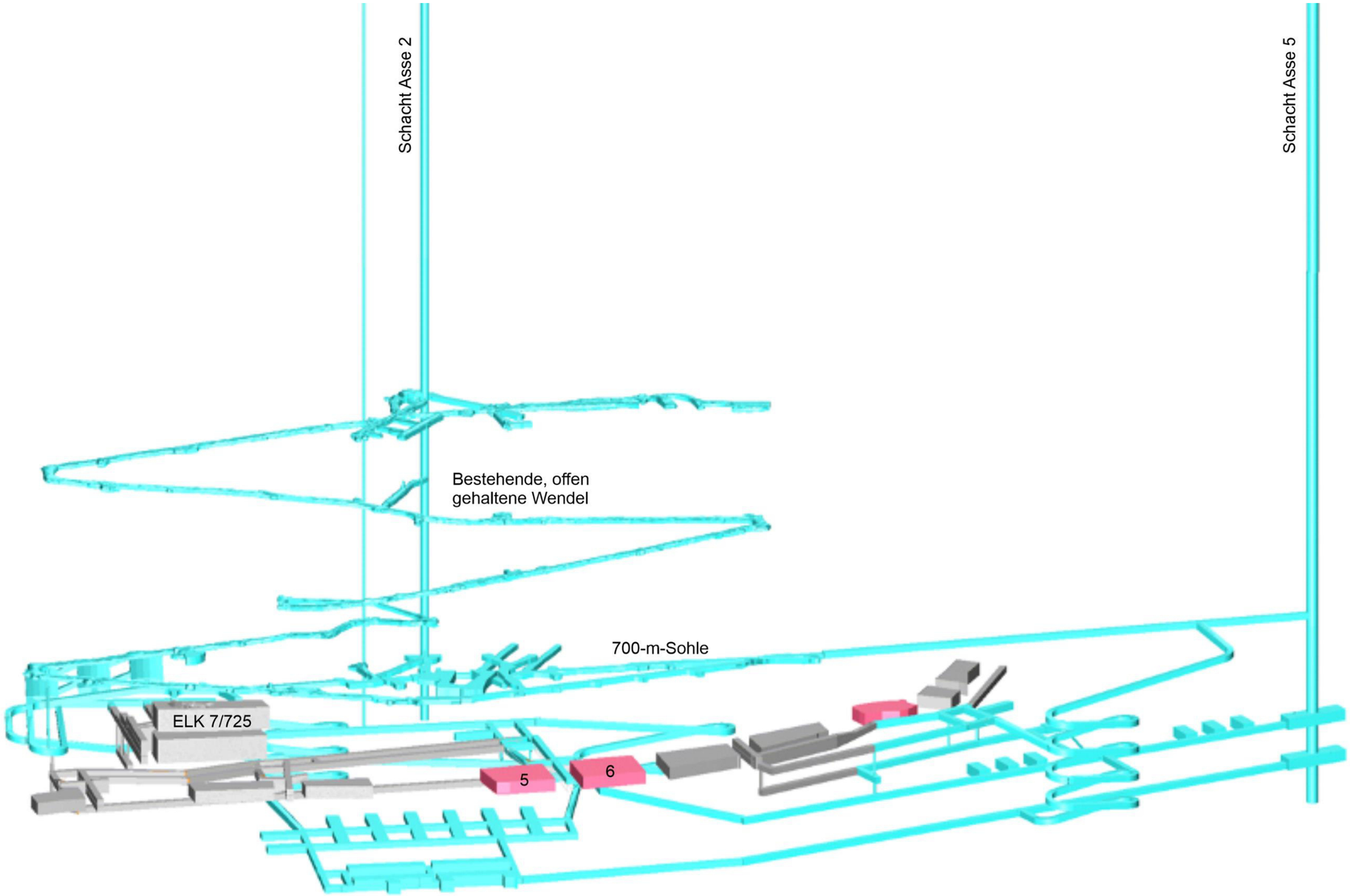


Legende:

- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 23



Legende:

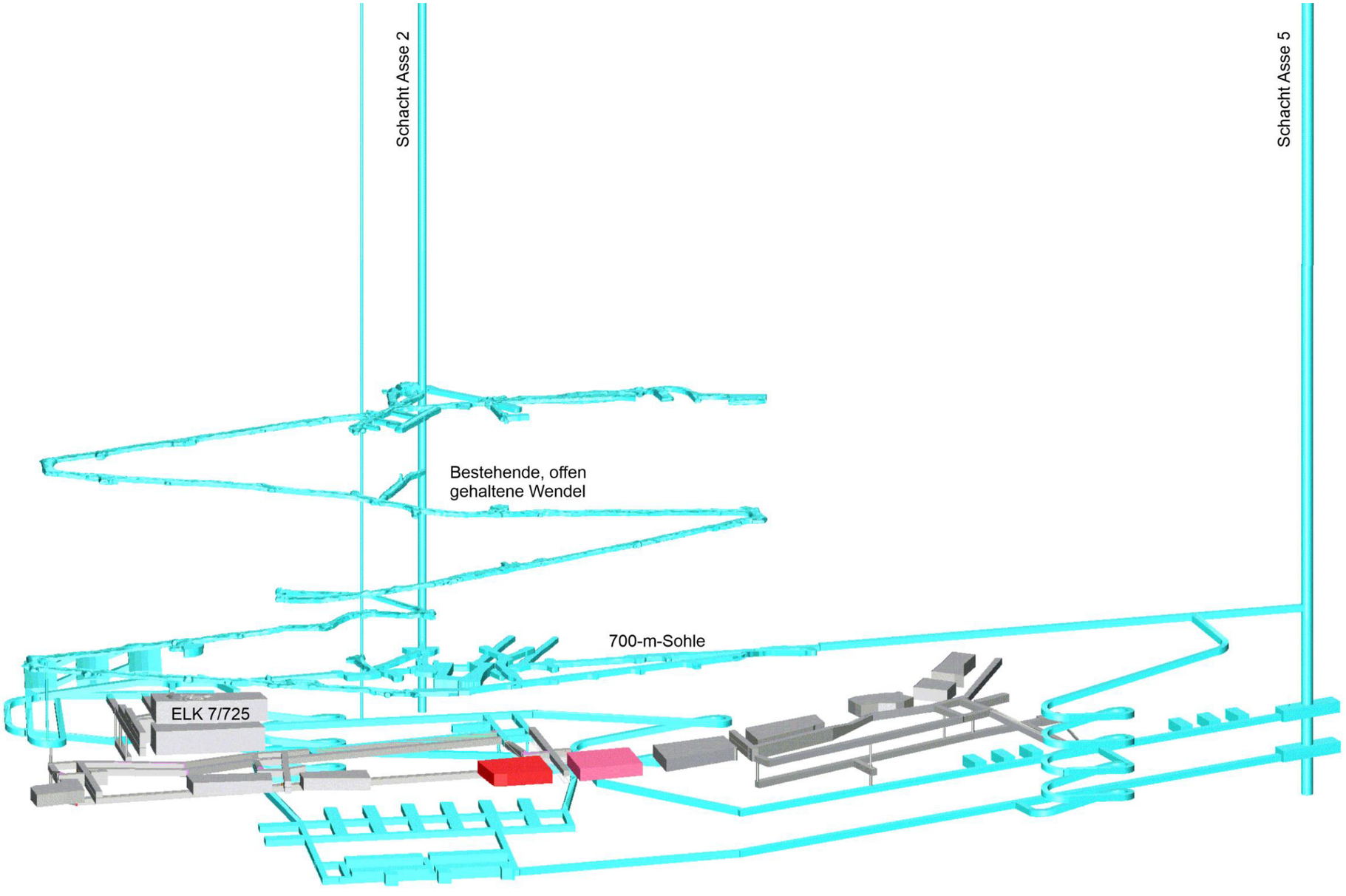
- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Anmerkungen:

- *In diesem Jahr Ende der Rückholung in der oberen Ebene ELK 5*
- *Ende des Jahres Beginn der Rückholung in der oberen Ebene ELK 6*

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 24 - 25

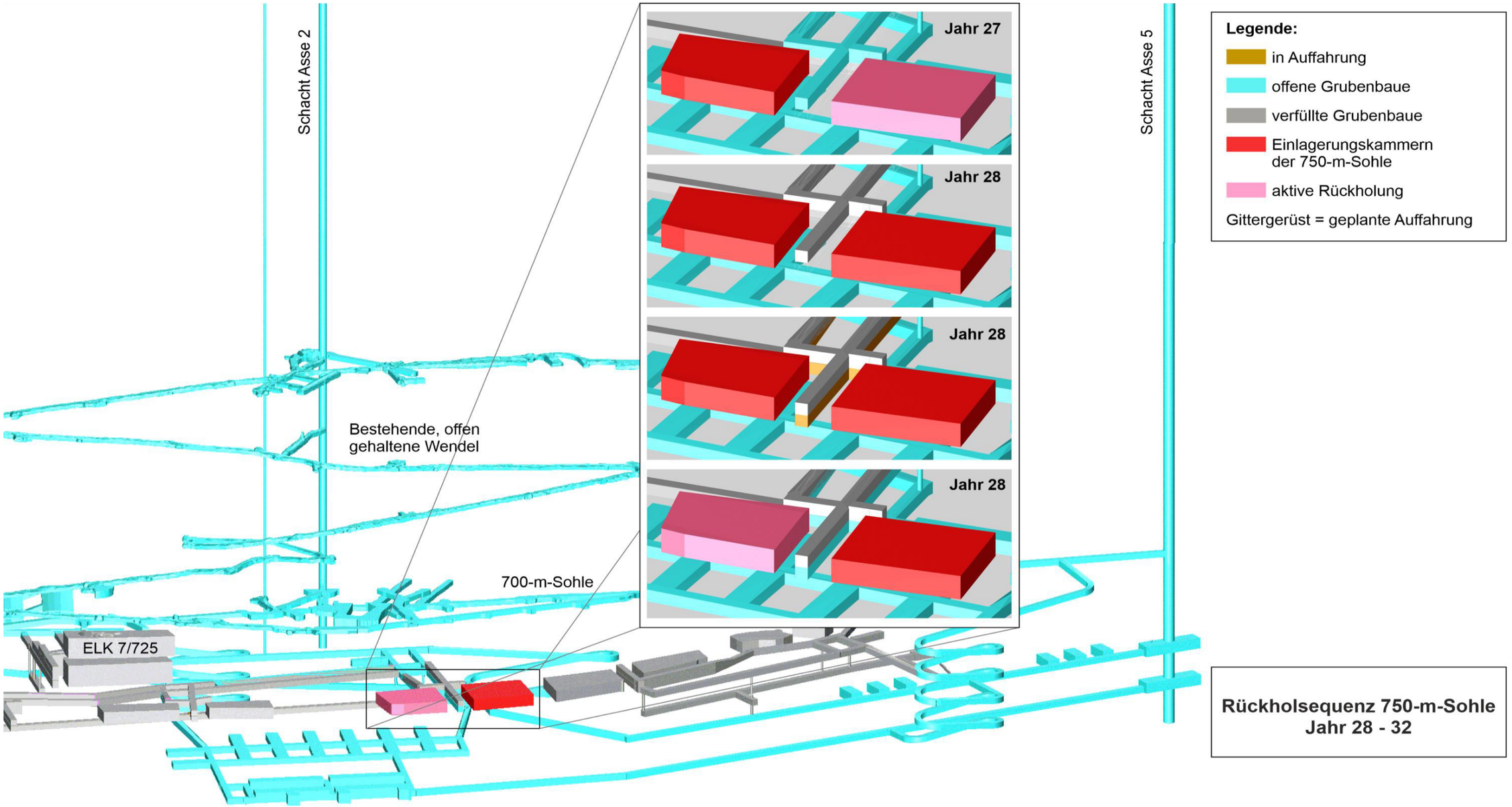


Legende:

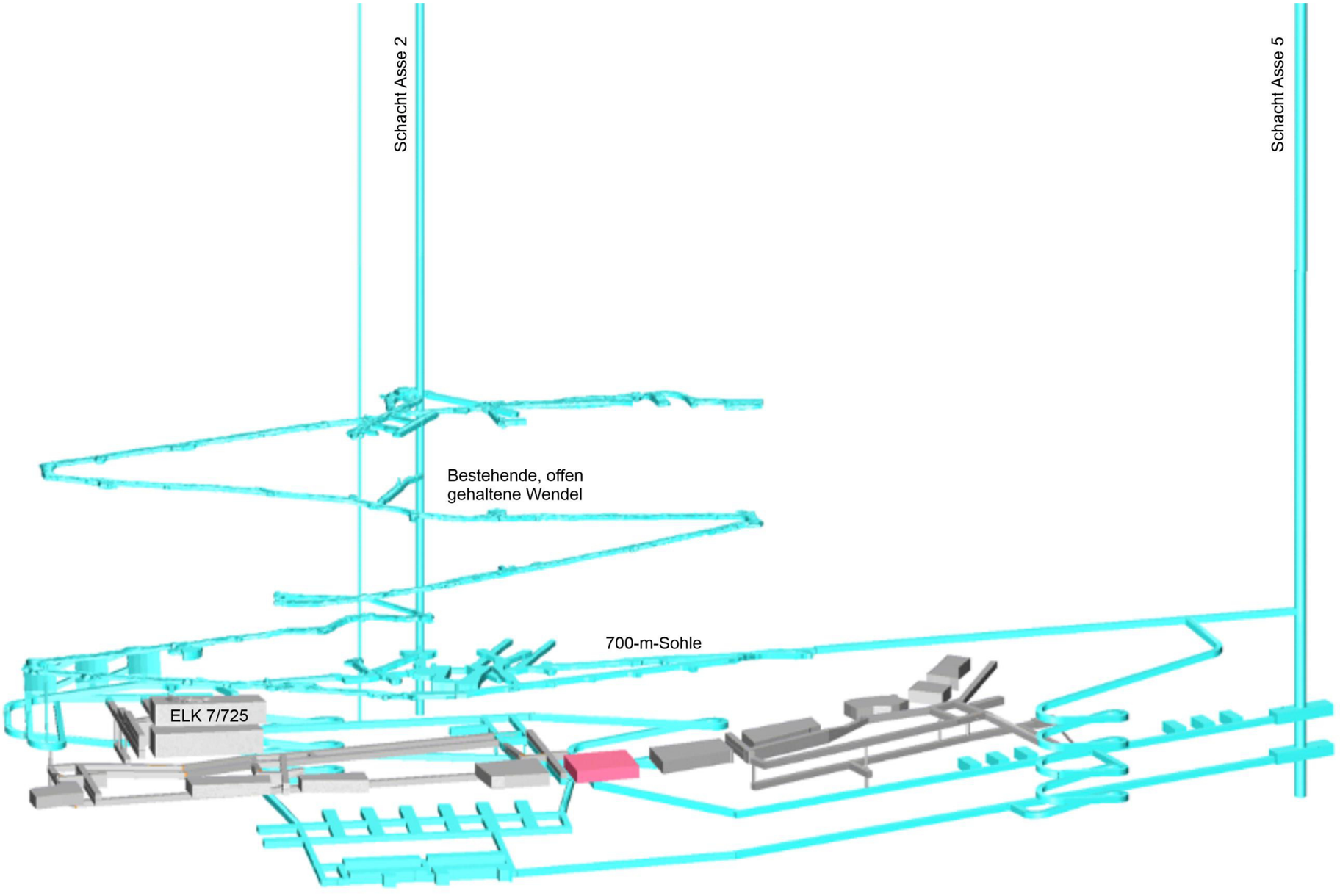
- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 26 - 27



Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 28 - 32

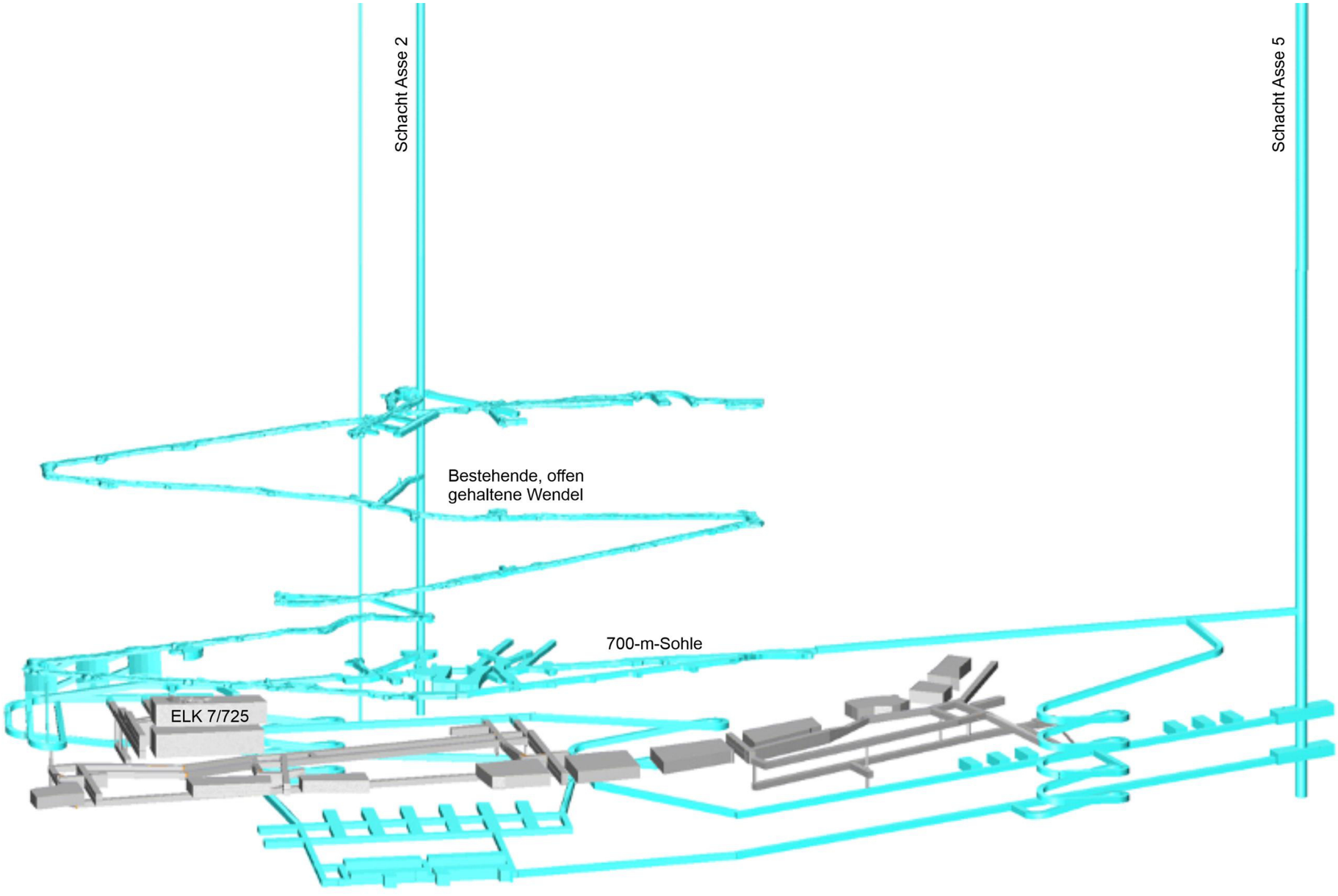


Legende:

- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 33 - 36

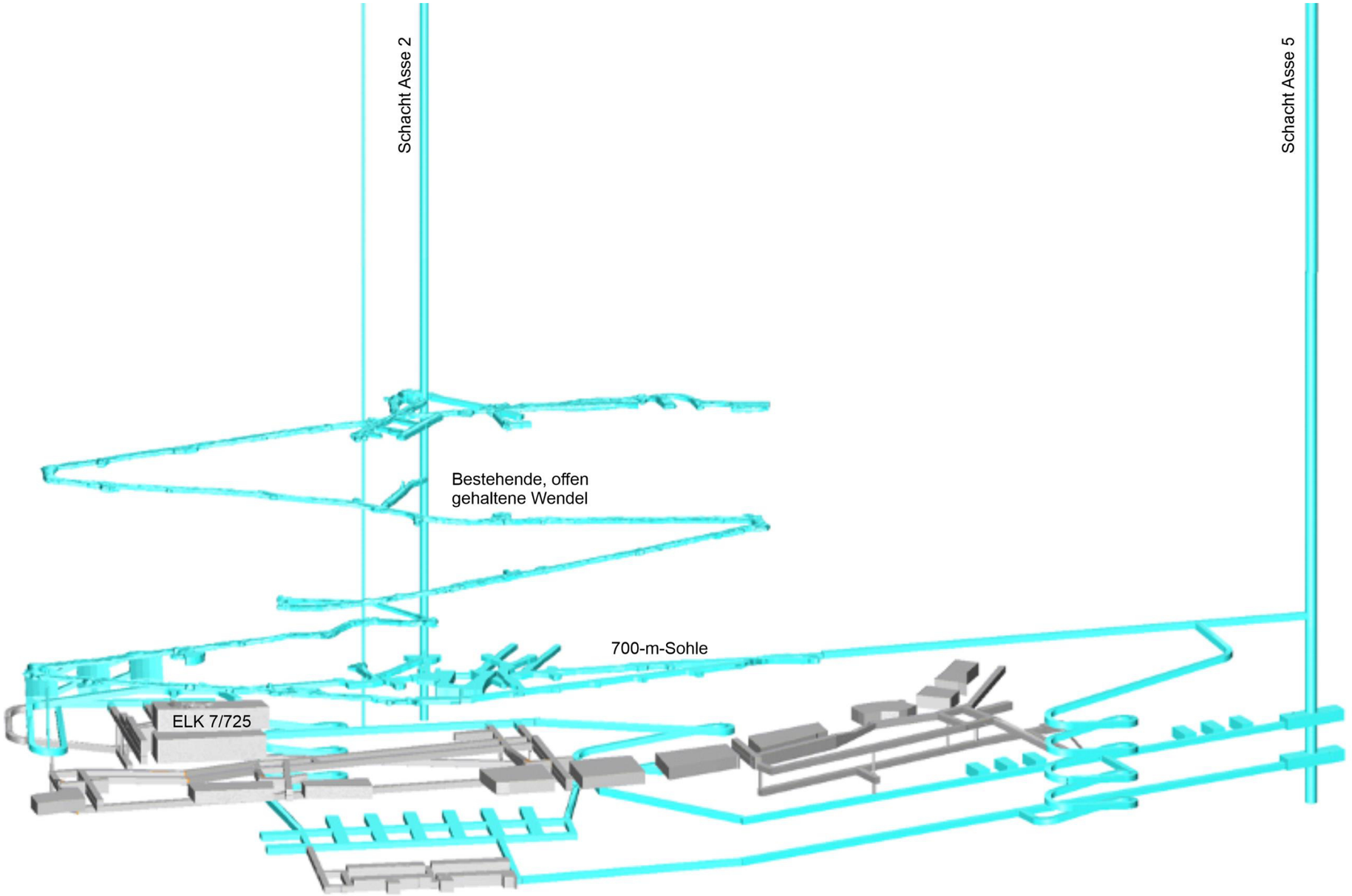


Legende:

- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 37

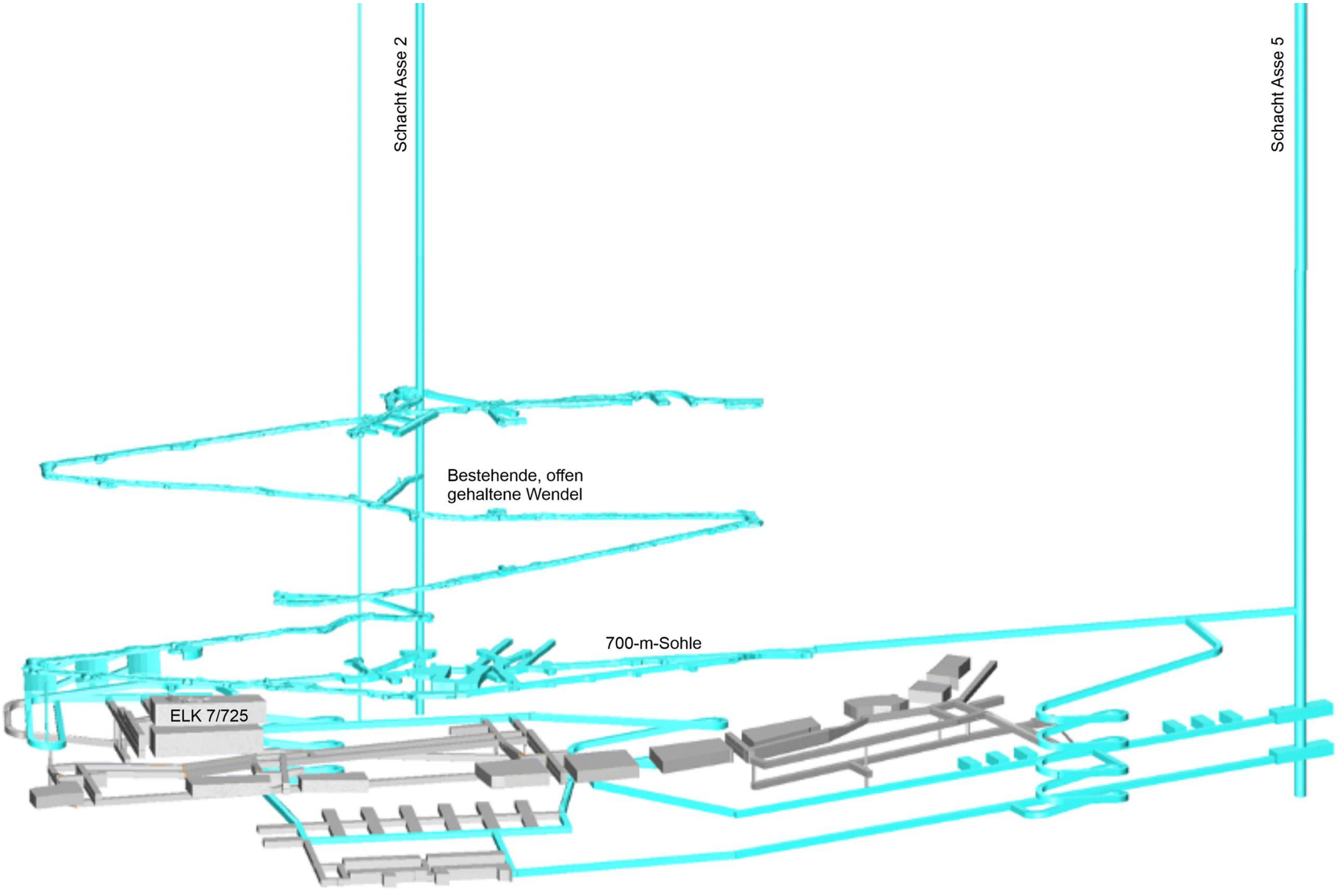


Legende:

- in Auffahrung
- offene Grubenbaue
- verfüllte Grubenbaue
- Einlagerungskammern der 750-m-Sohle
- aktive Rückholung

Gittergerüst = geplante Auffahrung

Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 38



Rückholsequenz 750-m-Sohle Jahr 39

Anhang L Plausibilitätsbetrachtungen für bergbauliches Sicherheits- und Nachweiskonzept

Nach der vorgenommenen Untergliederung nach Funktion/Offenhaltungszeitraum werden die folgenden Betrachtungsbereiche entsprechend des in Kapitel 5 beschriebenen technischen Konzeptes untersucht:

1) Ausrichtung bis 785-m- und 815-m-Niveau zur Wetteranbindung,
2) Infrastrukturräume und Wendel West,
3) Vorrichtung Rückholbereich Ost ELK 1/750 und ELK 2/750,
4) Rückholung Rückholbereich Ost ELK 1/750 und ELK 2/750,
5) Vorrichtung Rückholbereich Ost ELK 12/750, ELK 7/750 und ELK 11/750,
6) Rückholung Rückholbereich Ost ELK 7/750 und ELK 11/750,
7) Rückholung Rückholbereich Ost ELK 12/750,
8) Vorrichtung Rückholbereich Zentral / Süd Abwetterstrecke und Filterraum,
9) Vorrichtung Rückholbereich Zentral ELK 2/750 Na2,
10) Rückholung Rückholbereich Zentral ELK 2/750 Na2,
11) Vorrichtung Rückholbereich Süd Transportstrecken / Schleusen, ELK 4/750 und ELK 8/750 sowie ELK 5/750 und ELK 6/750,
12) Vorrichtung Rückholbereich Süd ELK 10/750,
13) Rückholung Rückholbereich Süd ELK 10/750,
14) Rückholung Rückholbereich Süd ELK 4/750 und ELK 8/750,
15) Rückholung Rückholbereich Süd ELK 5/750 und ELK 6/750.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Plausibilitätsbetrachtungen für die zuvor genannten Bereiche dargelegt. Die folgenden Abbildungen dienen hier der räumlichen Orientierung, die detaillierte Beschreibung der Auffahrungssequenz erfolgte in Kapitel 5.2 sowie Anhang K dieses Berichtes.

1) Ausrichtung bis 785-m- und 815-m-Niveau zur Wetteranbindung

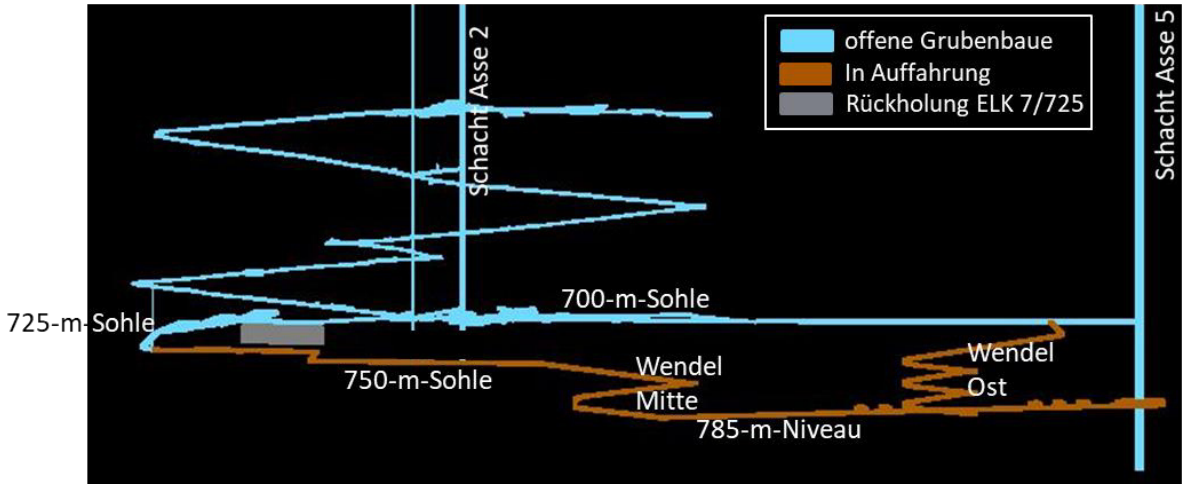


Abb. 194: Skizze der Auffahrungen für die Wetterverbindungen auf dem 785-m-Niveau

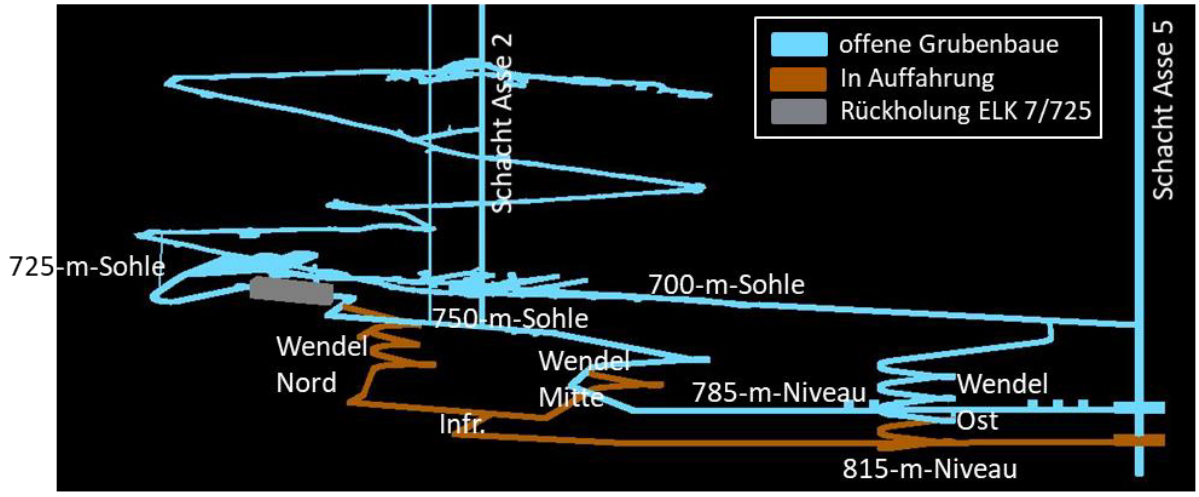


Abb. 195: Skizze der Auffahrungen für die Wetterverbindungen auf dem 815-m-Niveau

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- ca. 4500 m Strecken- / Wendelauffahrung (25 m² Querschnitt, ca. 113600 m³)
- Pufferlager im 785-m-Niveau (ca. 9600 m³)
- Füllortanbindung 785-m-Niveau (ca. 5900 m³)
- Füllortanbindung 815-m-Niveau (ca. 5900 m³)

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen überwiegend im Staßfurtsteinsalz, Abschnitte unter ELK 5/750, ELK 6/750, ELK 7/750 sowie am Schacht Asse 5 im Leinesteinsalz
- Strecken auf 785-m- und auf 815-m-Niveau queren carnallitisches Kaliflöz Staßfurt im Bereich ELK 5/750 und ELK 7/750
- kurze Streckenabschnitte im carnallitischen Kaliflöz Staßfurt östlich Wendel Ost und im Bereich Wendel West

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung über gesamten Rückholzeitraum hinaus (39 a – 40 a)
- keine abschließende Verfüllung für evtl. Weiternutzung

➢ Einschätzung

- Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz, kurze Abschnitte im carnallitischen Kalisalz oder durch Bereiche vorhandener, versetzter Auffahrungen, sowie von Pufferlagern bzw. Füllortanbindungen wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die Offenhaltungsdauer, ggf. mit Sicherungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, wird als umsetzbar angesehen

2) Infrastrukturräume und Wendel West

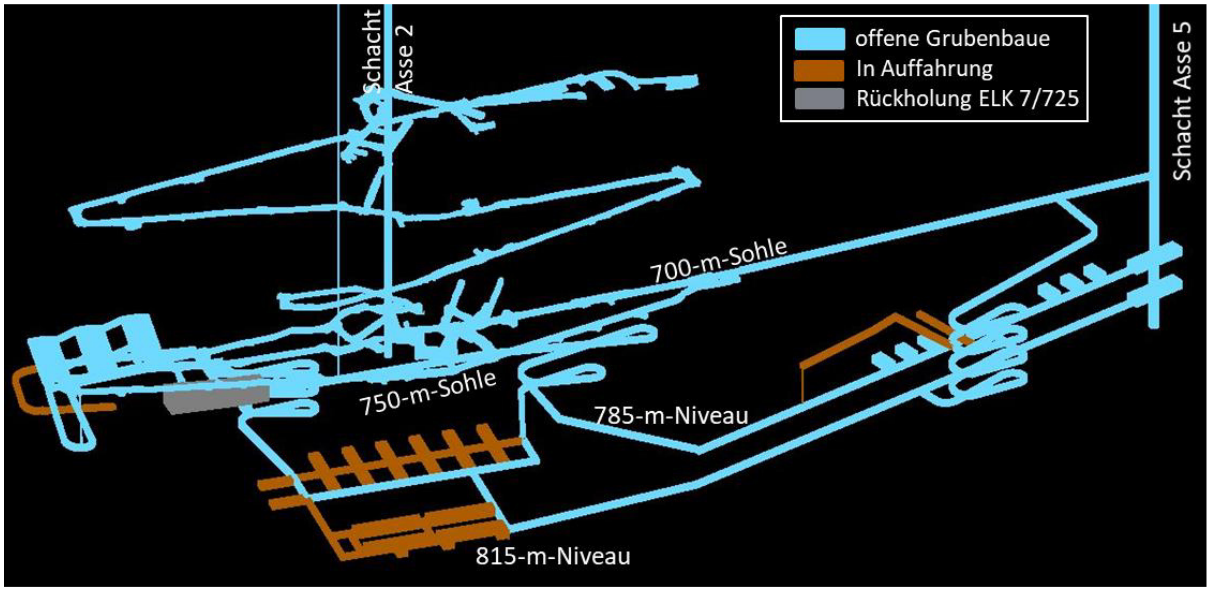


Abb. 196: Skizze der Auffahrungen für die Infrastrukturräume auf 815-m-Niveau und der Wendel West (links im Bild) sowie Teile der Ausrichtung für Kammergruppe Ost (rechte Bildhälfte)

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- ca. 500 m Strecken- / Wendelauffahrung (25 m² Querschnitt, ca. 13000 m³)
- Infrastrukturräume im 815-m-Niveau (ca. 21000 m³)
- Infrastrukturkammern im 815-m-Niveau (ca. 29000 m³)

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen im Staßfurtsteinsalz (Räume, Wendel) und im Leinesteinsalz (Kammern)
- Kurze Abschnitte der Verbindungsstrecken zwischen Infrastrukturräumen und -kammern im carnallitischen Kaliflöz Staßfurt

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung über gesamten Rückholzeitraum (36 a – 37 a)
- Verfüllung nach Abschluss der Rückholung

- Einschätzung
  - Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert
    - standsichere Aufrechterhaltung über die Offenhaltungsdauer wird als umsetzbar angesehen
  - Neuauffahrung von Räumen/Kammern mit Hohlraumvolumen in signifikanter Größenordnung im unverritztem Steinsalz
    - standsichere Aufrechterhaltung über die Offenhaltungsdauer wird als umsetzbar angesehen
    - bei entsprechender Dimensionierung von Kammern/Pfeilern verträgliche zusätzliche Belastung des Tragsystems zu erwarten

3) Vorrichtung Rückholbereich Ost ELK 1/750 und ELK 2/750

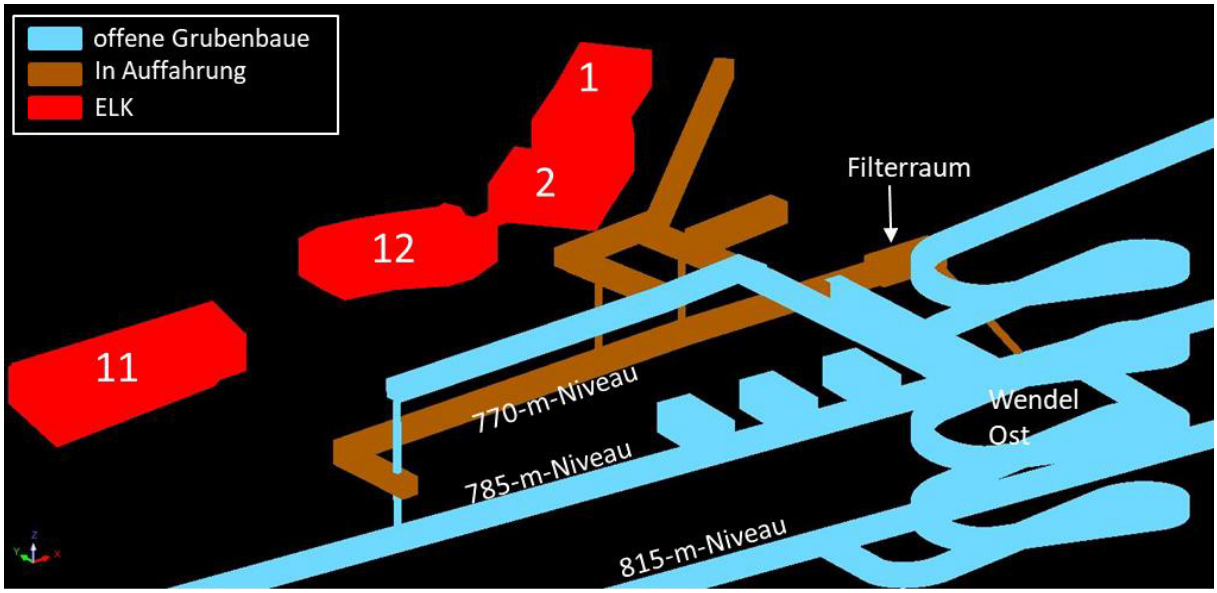


Abb. 197: Skizze der Auffahrungen für die Vorrichtung des Rückholbereiches Ost, insbesondere der ELK 1/750 und 2/750

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- ca. 570 m Streckenauffahrung (25 m² Querschnitt) und Bohrlöcher (insgesamt ca. 14600 m³)
- Kammer im 750-m-Niveau (ca. 1000 m³)
- Kammer im 770-m-Niveau (ca. 2000 m³)

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen im Staßfurtsteinsalz und im Leinesteinsalz (Basisstrecke Rückholbereich Ost)
- Filterraum und Bohrloch reichen wenige Meter in das carnallitische Kaliflöz Staßfurt

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung über Rückholzeitraum für Rückholbereich Ost (22 a – 24 a)
- Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten Rückholbereich Ost

➢ Einschätzung

- Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz, mit einem einzelnen sehr kurzen Abschnitt im carnallitischen Kalisalz oder kurzen Abschnitten durch Bereiche vorhandener, versetzter Auffahrungen, wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut
- Neuauffahrung von kleineren Kammern mit geringem Hohlraumvolumen wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut

  und

- Abteufen von Bohrungen im unverritzten Steinsalz
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die Offenhaltungsdauer, ggf. mit Sicherungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, wird als umsetzbar angesehen

4) Rückholung Rückholbereich Ost ELK 1/750 und ELK 2/750

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- ca. 100 m Streckenauffahrung (25 m² Querschnitt, ca. 2300 m³)
- ELK 1/750 und ELK 2/750 durch sequentielles Auffahren und Verfüllen von Teilflächen (max. gleichzeitig offen ca. 900 m³ bei ELK 1/750 und ELK 2/750)
- Um verfüllte Teilflächen findet der Spannungsaufbau im Gebirge nur allmählich statt, so dass sich um diese herum noch nicht wieder der ursprüngliche Spannungszustand eingestellt hat, wenn die benachbarte Teilfläche zur Rückholung bereits aufgefahren wurde und offensteht. Aus den Einflüssen dieser beiden Teilflächen – eine verfüllte und eine offene – resultieren höhere gebirgsmechanische Auswirkungen als aus einer aktiven (offenen) Teilfläche erwartbar wäre.

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen zum Anschluss der ELK 1/750 und ELK 2/750 im Leinesteinsalz
- wiederaufzuwältigende ELK 1/750 und ELK 2/750 stehen im Leinesteinsalz

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung der Basisstrecke und ELK-Anschlüsse über Rückholzeitraum für ELK 1/750 und ELK 2/750 (6 a) mit Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten Rückholbereich Ost ELK 1/750 und ELK 2/750
- Offenhaltung jeweils einer Teilfläche für < 1 a mit anschließender Verfüllung gestaffelt über 5 a bei ELK 1/750 bzw. 2 a bei ELK 2/750

➢ Einschätzung

- Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die kurze Offenhaltungsdauer wird als umsetzbar angesehen
- sequentiell mit moderatem Querschnitt unter umfangreichen Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen (TF) wieder aufzuwältigender Grubenhohlraum der ELK 1/750 und ELK 2/750
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die jeweils kurze Offenhaltungsdauer unter Sicherstellung der unmittelbar anschließenden Verfüllung vor folgender Auffahrung wird als umsetzbar angesehen

5) Vorrichtung Rückholbereich Ost ELK 12/750, ELK 7/750 und ELK 11/750

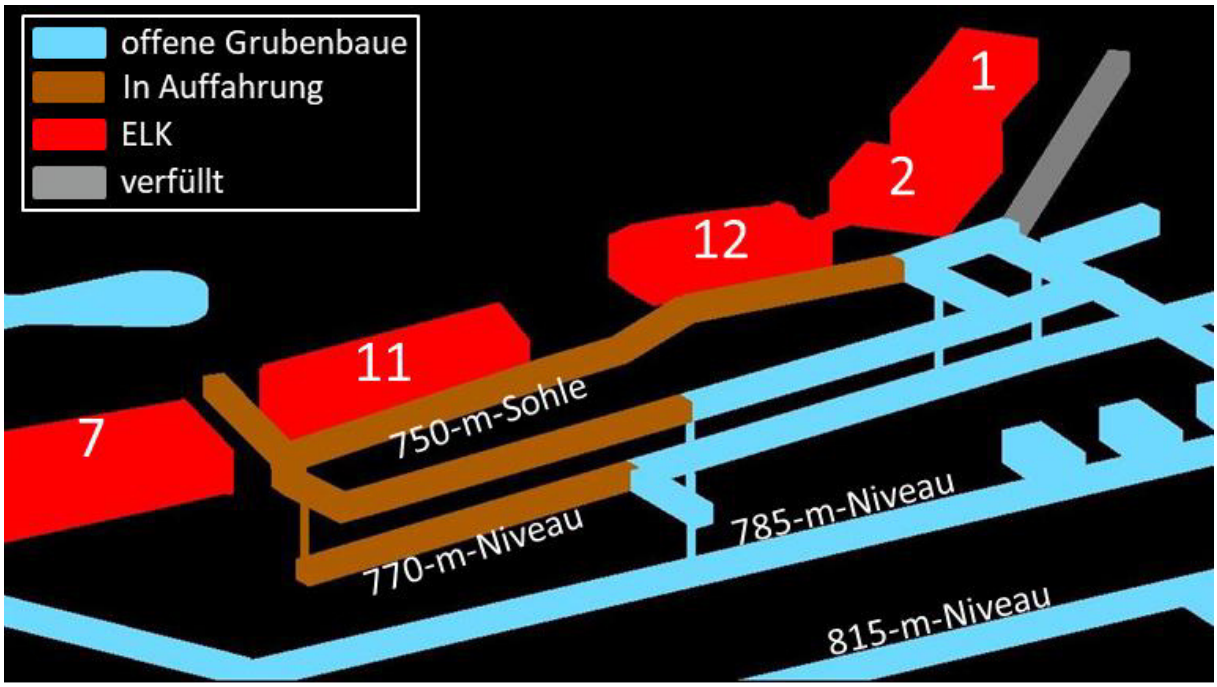


Abb. 198: Skizze der Auffahrungen für Vorrichtung im Rückholbereich Ost für ELK 12/750, 11/750 und 7/750; Legende für die folgenden Abbildungen dieses Kapitels gleich

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- ca. 250 m Streckenauffahrung (25 m² Querschnitt) und Bohrloch (insgesamt ca. 5900 m³)

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen im Staßfurtsteinsalz und im Leinesteinsalz

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung über Rückholzeitraum für Rückholbereich Ost ELK 7/750 und ELK 11/750 (14 a)
- Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten Rückholbereich Ost ELK 7/750 und ELK 11/750

➢ Einschätzung

- Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die Offenhaltungsdauer, ggf. mit Sicherungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, wird als umsetzbar angesehen

6) Rückholung Rückholbereich Ost ELK 7/750 und ELK 11/750

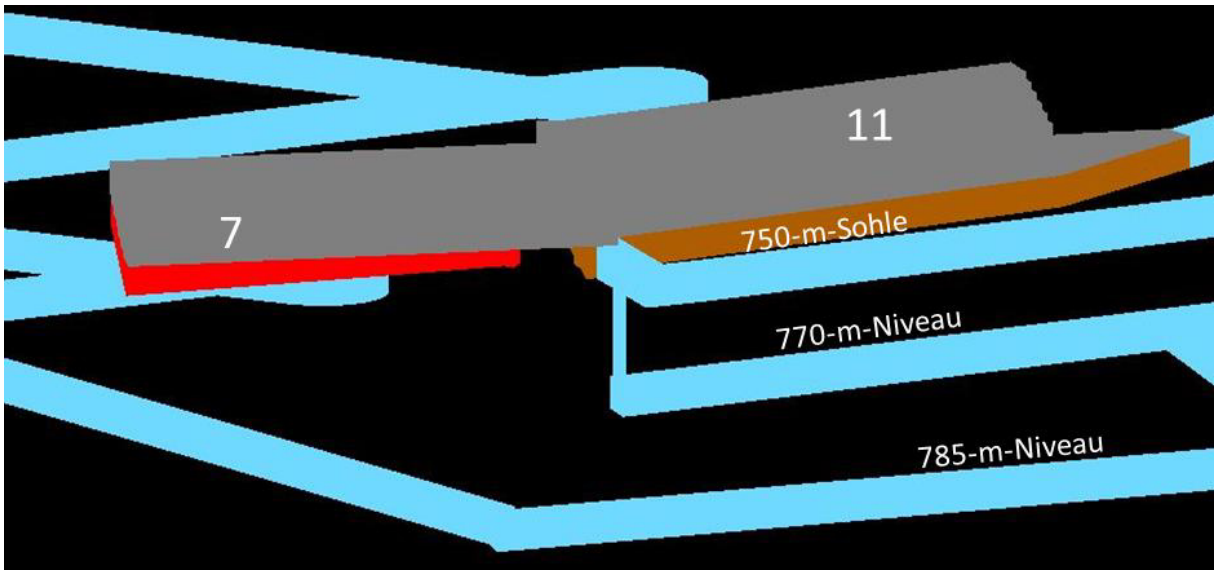


Abb. 199: Skizze der Auffahrungen für Vorrichtung der unteren (zweite) Ebene von ELK 11/750 und ELK 7/750 nach der Verfüllung der oberen Teilflächenebene

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- sequentiell je ca. 140 m Streckenauffahrung (25 m² Querschnitt, je ca. 3500 m³) für 1. und 2. Ebene
- ELK 7/750 und ELK 11/750 durch sequentielles Auffahren und Verfüllen von Teilflächen (max. gleichzeitig offen ca. 1700 m³ bei ELK 7/750 bzw. ca. 1900 m³ bei ELK 11/750)
- Um verfüllte Teilflächen findet der Spannungsaufbau im Gebirge nur allmählich statt, so dass sich um diese herum noch nicht wieder der ursprüngliche Spannungszustand eingestellt hat, wenn die benachbarte Teilfläche zur Rückholung bereits aufgefahren wurde und offensteht. Aus den Einflüssen dieser beiden Teilflächen – eine verfüllte und eine offene – resultieren höhere gebirgsmechanische Auswirkungen als aus einer aktiven (offenen) Teilfläche erwartbar wäre.

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen zum Anschluss der ELK 7/750 und ELK 11/750 im Leinesteinsalz
- wiederaufzuwältigende ELK 7/750 und ELK 11/750 stehen im Leinesteinsalz

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung der Basisstrecken und ELK-Anschlüsse 1. und 2. Ebene ELK 7/750 und ELK 11/750 je über 7 a mit Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten auf der entsprechenden Ebene
- Offenhaltung jeweils einer Teilfläche für < 1a mit anschließender Verfüllung gestaffelt über 3 a - 4 a pro Ebene bei ELK 7/750 und ELK 11/750

➢ Einschätzung

- Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz oder durch Bereiche vorhandener, versetzter Auffahrungen, wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die kurze Offenhaltungsdauer wird als umsetzbar angesehen
- sequentiell mit moderatem Querschnitt unter umfangreichen Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen wieder aufzuwältigender Grubenhohlraum der ELK 7/750 und ELK 11/750
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die jeweils kurze Offenhaltungsdauer unter Sicherstellung der unmittelbar anschließenden Verfüllung vor folgender Auffahrung wird als umsetzbar angesehen

7) Rückholung Rückholbereich Ost ELK 12/750

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- ca. 50 m Streckenauffahrung (25 m² Querschnitt, ca. 1300 m³)
- ELK 12/750 durch sequentielles Auffahren und Verfüllen von Teilflächen (max. gleichzeitig offen ca. 900 m³)
- Um verfüllte Teilflächen findet der Spannungsaufbau im Gebirge nur allmählich statt, so dass sich um diese herum noch nicht wieder der ursprüngliche Spannungszustand eingestellt hat, wenn die benachbarte Teilfläche zur Rückholung bereits aufgefahren wurde und offensteht. Aus den Einflüssen dieser beiden Teilflächen – eine verfüllte und eine offene – resultieren höhere gebirgsmechanische Auswirkungen als aus einer aktiven (offenen) Teilfläche erwartbar wäre.

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen zum Anschluss der ELK 12/750 im Leinesteinsalz
- wiederaufzuwältigende ELK 12/750 steht im Leinesteinsalz

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung der Basisstrecke und ELK-Anschlüsse über Vorrichtungszeitraum für Rückholbereich Ost ELK 12/750, ELK 7/750 und ELK 11/750 einschließlich Rückholzeitraum ELK 12/750 (17 a) mit Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten Rückholbereich Ost
- Offenhaltung jeweils einer Teilfläche für < 1 a mit anschließender Verfüllung gestaffelt über 4 a

➢ Einschätzung

- Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die kurze Offenhaltungsdauer wird als umsetzbar angesehen
- sequentiell mit moderatem Querschnitt unter umfangreichen Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen wieder aufzuwältigender Grubenhohlraum der ELK 12/750
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die jeweils kurze Offenhaltungsdauer unter Sicherstellung der unmittelbar anschließenden Verfüllung vor folgender Auffahrung wird als umsetzbar angesehen

8) Vorrichtung Rückholbereich Zentral / Süd Abwetterstrecke und Filterraum

Abb. 200: Skizze der Auffahrungen für rad. Abwetterstrecke auf 770-m-Niveau (Beschreibung in diesem Abschnitt 8) sowie Vorrichtung von ELK 2/750Na2 obere (erste) Ebene (Beschreibung im nächsten Abschnitt 9)

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- ca. 380 m Streckenauffahrung (25 m² Querschnitt) und Bohrloch (insgesamt ca. 9300 m³)
- Kammer im 770-m-Niveau (ca. 1900 m³) – Filterraum, der auch von Rückholbereich Süd genutzt wird

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen im Staßfurtsteinsalz
- Abzweig der Abwetterstrecke nach SSW unter Schleusen ELK 2/750 Na2 reicht ca. 10 m in carnallitisches Kaliflöz Staßfurt

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung über Vorrichtungs- und Rückholzeitraum für Rückholbereich Zentral und Süd (34 a – 35 a)
- Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten Rückholbereich Zentral und Süd

- Einschätzung

  - Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz, mit einem einzelnen sehr kurzen Abschnitt im carnallitischen Kalisalz oder kurzen Abschnitten durch Bereiche vorhandener, versetzter Auffahrungen, sowie von kleineren Kammern mit geringem Hohlraumvolumen wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut

    - standsichere Aufrechterhaltung über die Offenhaltungsdauer, ggf. mit Sicherungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, wird als umsetzbar angesehen

9) Vorrichtung Rückholbereich Zentral ELK 2/750 Na2

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- ca. 240 m Streckenauffahrung (25 m² Querschnitt) und Bohrlöcher (insgesamt ca. 3900 m³)
- Kammer im 750-m-Niveau (ca. 2000 m³)

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen im Staßfurtsteinsalz, queren auf kurzen Streckenabschnitten das carnallitische Kaliflöz Staßfurt

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung über Rückholzeitraum für Rückholbereich Zentral (15 a – 17 a)
- Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten Rückholbereich Zentral

- Einschätzung

  - Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz, mit kurzen Abschnitten im carnallitischen Kalisalz oder durch Bereiche vorhandener, versetzter Auffahrungen, sowie einer kleineren Kammer mit geringem Hohlraumvolumen wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut

    und

  - Abteufen von Bohrungen im unverritzten Steinsalz

    - standsichere Aufrechterhaltung über die Offenhaltungsdauer, ggf. mit Sicherungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, wird als umsetzbar angesehen

10) Rückholung Rückholbereich Zentral ELK 2/750 Na2

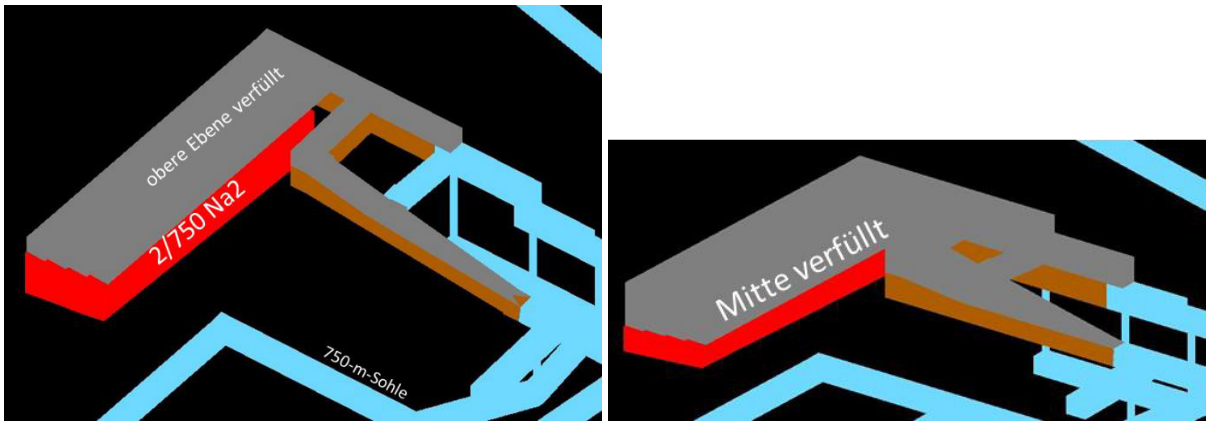


Abb. 201: Skizze der Auffahrungen für Vorrichtung der mitteleren (zweite) und unteren (dritte) Ebene für ELK 2/750Na2

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- sequentiell ca. 160 m, 150 m und 170 m Streckenauffahrung (25 m² - 35 m² Querschnitt[17], ca. 4000 m³, 5200 m³ und 6100 m³) für 1., 2. und 3. Ebene
- ELK 2/750 Na2 durch sequentielles Auffahren und Verfüllen von Teilflächen (max. gleichzeitig offen ca. 2300 m³)
- Um verfüllte Teilflächen findet der Spannungsaufbau im Gebirge nur allmählich statt, so dass sich um diese herum noch nicht wieder der ursprüngliche Spannungszustand eingestellt hat, wenn die benachbarte Teilfläche zur Rückholung bereits aufgefahren wurde und offensteht. Aus den Einflüssen dieser beiden Teilflächen – eine verfüllte und eine offene – resultieren höhere gebirgsmechanische Auswirkungen als aus einer aktiven (offenen) Teilfläche erwartbar wäre.

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen zum Anschluss der ELK 2/750 Na2 im Staßfurtsteinsalz
- wiederaufzuwältigende ELK 2/750 Na2 steht im Staßfurtsteinsalz

[17] Da die ELK 2/750 Na2 ca. 19 m hoch ist, ist teilweise mit einer größeren Höhe einer Teilflächenebene als 5,5 m zu rechnen.

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung der Basisstrecken und ELK-Anschlüsse 1. Ebene über 6 a, 2. und 3. Ebene je über 5 a mit Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten auf der entsprechenden Ebene
- Offenhaltung jeweils einer Teilfläche für < 1a mit anschließender Verfüllung gestaffelt über 5 – 6 a pro Ebene

➢ Einschätzung

- Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz oder durch Bereiche vorhandener, versetzter Auffahrungen, wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die kurze Offenhaltungsdauer wird als umsetzbar angesehen
- sequentiell mit moderatem Querschnitt unter umfangreichen Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen wieder aufzuwältigender Grubenhohlraum der ELK 2/750 Na2
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die jeweils kurze Offenhaltungsdauer unter Sicherstellung der unmittelbar anschließenden Verfüllung vor folgender Auffahrung wird als umsetzbar angesehen

11) Vorrichtung Rückholbereich Süd mit Transportstrecken / Schleusen, ELK 4/750 und ELK 8/750 sowie ELK 5/750 und ELK 6/750

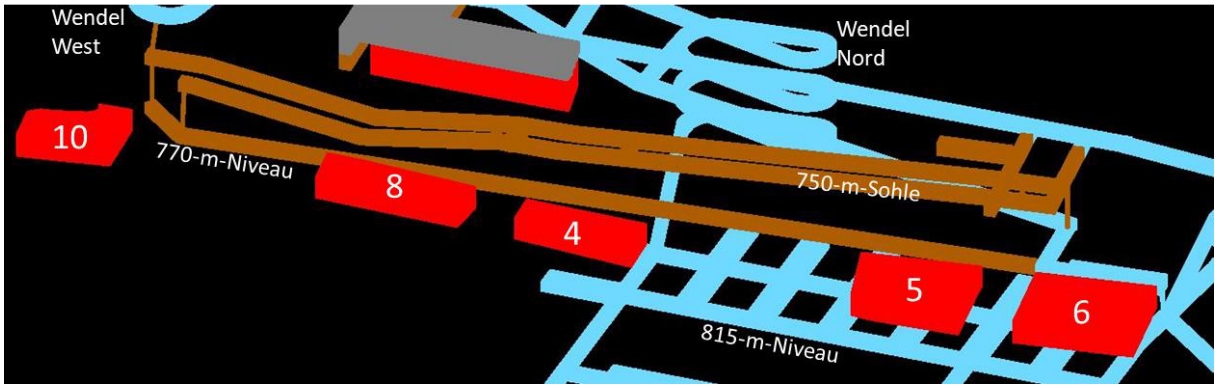


Abb. 202: Skizze der Auffahrungen für Vorrichtung des Rückholbereiches Süd mit Transportstrecken und Schleusen auf 750-m-Sohle und rad. Abwetterstrecke auf 770-m-Niveau

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- ca. 1200 m Streckenauffahrung (25 m² Querschnitt) und Bohrlöcher (insgesamt ca. 27200 m³)
- Kammer im 770-m-Niveau (ca. 2000 m³)

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen im Staßfurtsteinsalz
- Abwetterstrecke und Transportstrecke schneiden über kurze Abschnitte am Südstoß das carnallitische Kaliflöz Staßfurt an

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung Abwetterstrecke, Bereich Schleusen und Anbindung ELK 5/750 und ELK 6/750 über Vorrichtungs- und Rückholzeitraum für Rückholbereich Süd (32 a – 34 a)
- Offenhaltung Strecken nach ELK 10/750, ELK 4/750 und ELK 8/750 über Vorrichtungs- und Rückholzeitraum für Rückholbereich Süd ELK 10/750, ELK 4/750 und ELK 8/750 (18 a)
- Verfüllung jeweils nach Abschluss der Rückholarbeiten Rückholbereich Süd ELK 5/750 und ELK 6/750 sowie ELK 10/750, ELK 4/750 und ELK 8/750

- Einschätzung

  - Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz oder durch Bereiche vorhandener, versetzter Auffahrungen, mit Anschnitt des carnallitischen Kalisalzes über kurze Abschnitte, sowie einer kleineren Kammer mit geringem Hohlraumvolumen wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut

    und

  - Abteufen von Bohrungen im unverritzten Steinsalz

    - standsichere Aufrechterhaltung über die Offenhaltungsdauer, ggf. mit Sicherungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, wird als umsetzbar angesehen

12) Vorrichtung Rückholbereich Süd ELK 10/750

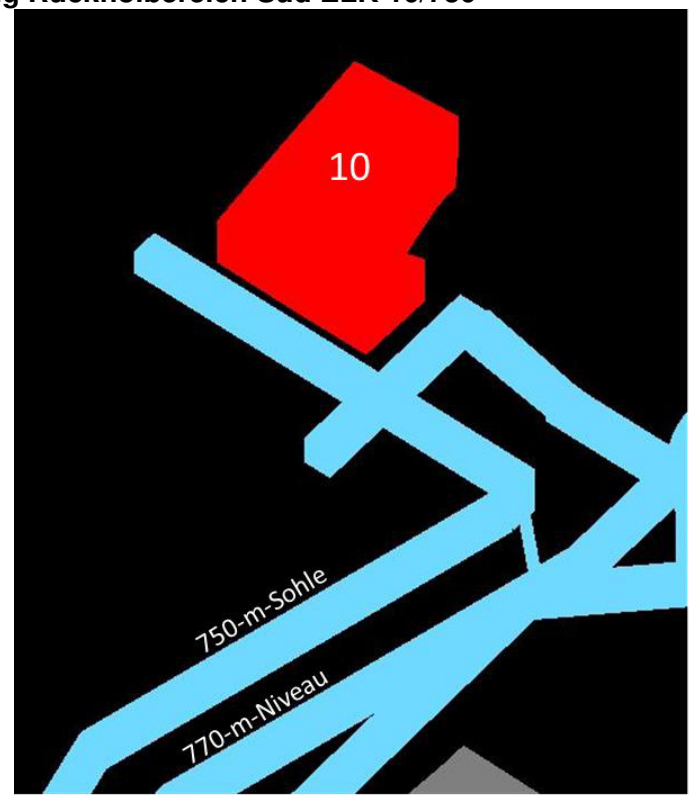


Abb. 203: Skizze der Auffahrungen für Vorrichtung von den Transportstrecken zur oberen (erste) Ebene der ELK 10/750

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- ca. 160 m Streckenauffahrung (25 m² Querschnitt) und Bohrlöcher (insgesamt ca. 4000 m³)

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen im Staßfurtsteinsalz

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung über Vorrichtungs- und Rückholzeitraum für Rückholbereich Süd ELK 10/750 (7 a – 9 a)
- Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten Rückholbereich Süd ELK 10/750

- Einschätzung

  - Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz oder durch Bereiche vorhandener, versetzter Auffahrungen wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut

    und

  - Abteufen von Bohrungen im unverritzten Steinsalz

    - standsichere Aufrechterhaltung über die Offenhaltungsdauer, ggf. mit Sicherungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, wird als umsetzbar angesehen

13) Rückholung Rückholbereich Süd ELK 10/750

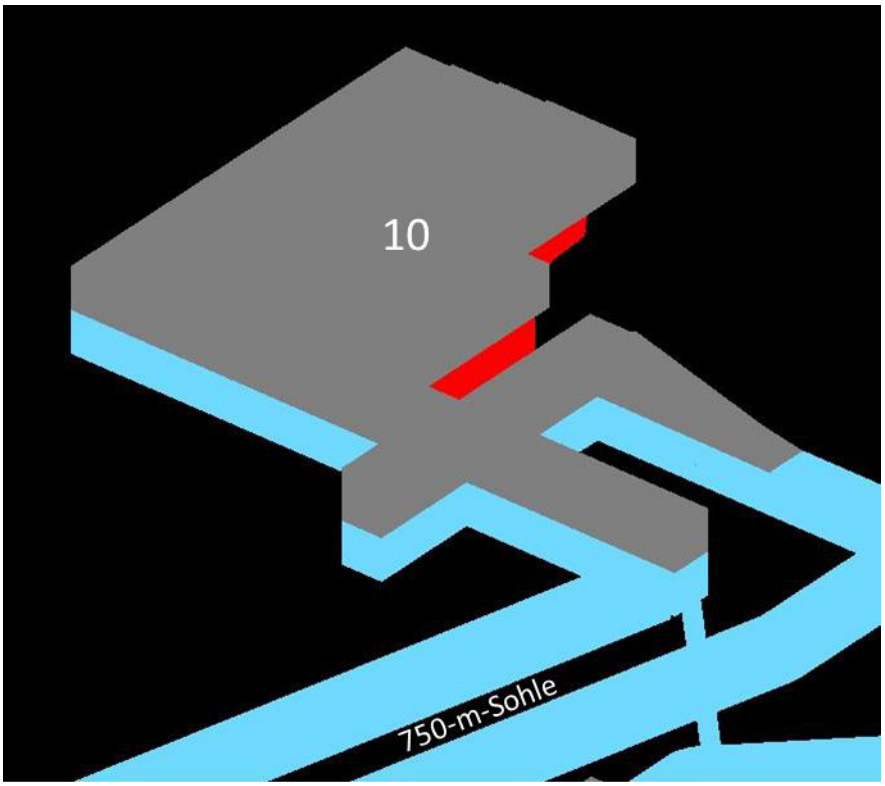


Abb. 204: Skizze der Auffahrungen für Vorrichtung von den Transportstrecken zur unteren (zweite) Ebene der ELK 10/750 nach Verfüllung Teilflächen und Vorrichtungsstrecken der oberen (erste) Ebene

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- sequentiell jeweils ca. 120 m Streckenauffahrung (25 m² - 30 m² Querschnitt, ca. 3100 m³ und 3000 m³) für 1. und 2. Ebene
- ELK 10/750 durch sequentielles Auffahren und Verfüllen von Teilflächen (max. gleichzeitig offen ca. 1300 m³)
- Um verfüllte Teilflächen findet der Spannungsaufbau im Gebirge nur allmählich statt, so dass sich um diese herum noch nicht wieder der ursprüngliche Spannungszustand eingestellt hat, wenn die benachbarte Teilfläche zur Rückholung bereits aufgefahren wurde und offensteht. Aus den Einflüssen dieser beiden Teilflächen – eine verfüllte und eine offene – resultieren höhere gebirgsmechanische Auswirkungen als aus einer aktiven (offenen) Teilfläche erwartbar wäre.

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen zum Anschluss der ELK 10/750 im Leinesteinsalz queren auf kurzen Streckenabschnitten das carnallitische Kaliflöz Staßfurt
- wiederaufzuwältigende ELK 10/750 stehen im Leinesteinsalz

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung der Basisstrecken und ELK-Anschlüsse der 1. und 2. Ebene je über 4 a mit Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten auf der entsprechenden Ebene
- Offenhaltung jeweils einer Teilfläche für < 1 a mit anschließender Verfüllung gestaffelt über 3 a pro Ebene

➢ Einschätzung

- Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz, mit kurzen Abschnitten im carnallitischen Kalisalz oder durch vorhandene, versetzte Auffahrungen, wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die kurze Offenhaltungsdauer wird als umsetzbar angesehen
- sequentiell mit moderatem Querschnitt unter umfangreichen Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen wieder aufzuwältigender Grubenhohlraum der ELK 10/750
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die jeweils kurze Offenhaltungsdauer unter Sicherstellung der unmittelbar anschließenden Verfüllung vor folgender Auffahrung wird als umsetzbar angesehen

14) Rückholung Rückholbereich Süd ELK 4/750 und ELK 8/750

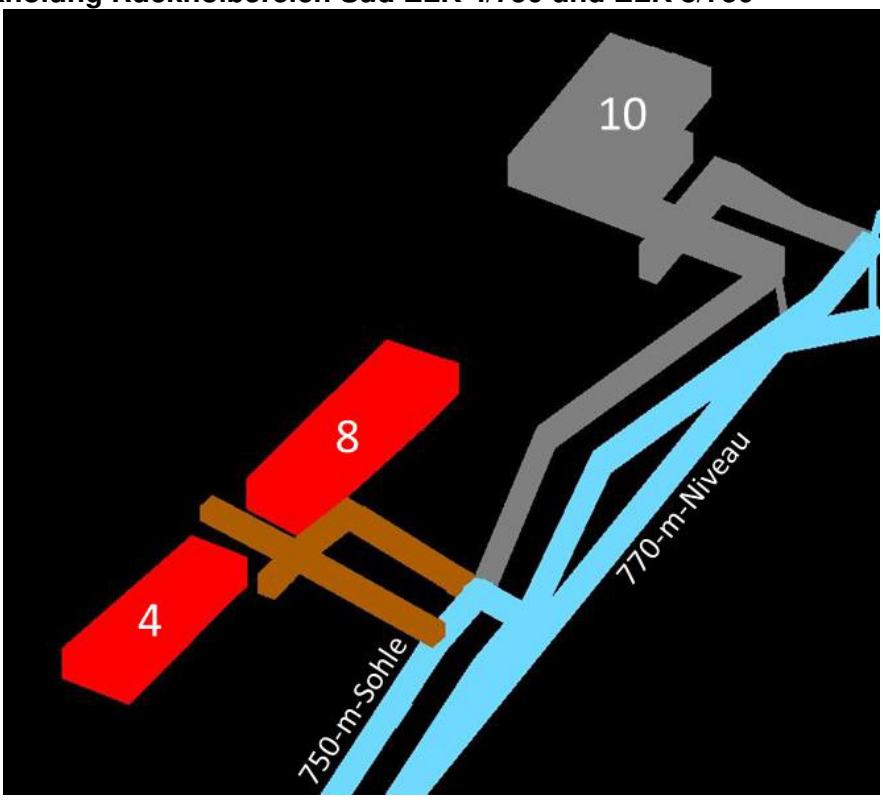


Abb. 205: Skizze der Auffahrungen für Vorrichtung von den Transportstrecken zur oberen (erste) Ebene der ELK 8/750, anschließend Auffahrung für Vorrichtung der unteren (zweite) Ebene der ELK 8/750 und ELK 4/750 nach Verfüllung Teilflächen und Vorrichtungsstrecken der oberen Ebene

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- sequentiell ca. 160 m und 130 m Streckenauffahrung (25 m² - 30 m² Querschnitt, ca. 3500 m³ und 3400 m³) für 1. und 2. Ebene
- ELK 4/750 und ELK 8/750 durch sequentielles Auffahren und Verfüllen von Teilflächen (max. gleichzeitig offen ca. 1500 m³ bei ELK 4/750 bzw. ca. 1900 m³ bei ELK 8/750)
- Um verfüllte Teilflächen findet der Spannungsaufbau im Gebirge nur allmählich statt, so dass sich um diese herum noch nicht wieder der ursprüngliche Spannungszustand eingestellt hat, wenn die benachbarte Teilfläche zur Rückholung bereits aufgefahren wurde und offensteht. Aus den Einflüssen dieser beiden Teilflächen – eine verfüllte und eine offene – resultieren höhere gebirgsmechanische Auswirkungen als aus einer aktiven (offenen) Teilfläche erwartbar wäre.

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen zum Anschluss der ELK 4/750 und ELK 8/750 im carnallitischen Kaliflöz Staßfurt und Leinesteinsalz
- wiederaufzuwältigende ELK 4/750 und ELK 8/750 stehen im Leinesteinsalz

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung der Basisstrecken und ELK-Anschlüsse der 1. Ebene über 4 a und 2. Ebene über 6 a mit Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten auf der entsprechenden Ebene
- Offenhaltung jeweils einer Teilfläche für < 1 a mit anschließender Verfüllung gestaffelt über 4 a für 1. Ebene und 6 a für 2. Ebene

➢ Einschätzung

- Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz und carnallitischen Kalisalz oder durch vorhandene, versetzte Auffahrungen, wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die kurze Offenhaltungsdauer wird als umsetzbar angesehen
- sequentiell mit moderatem Querschnitt unter umfangreichen Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen wieder aufzuwältigender Grubenhohlraum der ELK 4/750 und ELK 8/750
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die jeweils kurze Offenhaltungsdauer unter Sicherstellung der unmittelbar anschließenden Verfüllung vor folgender Auffahrung wird als umsetzbar angesehen

15) Rückholung Rückholbereich Süd ELK 5/750 und ELK 6/750

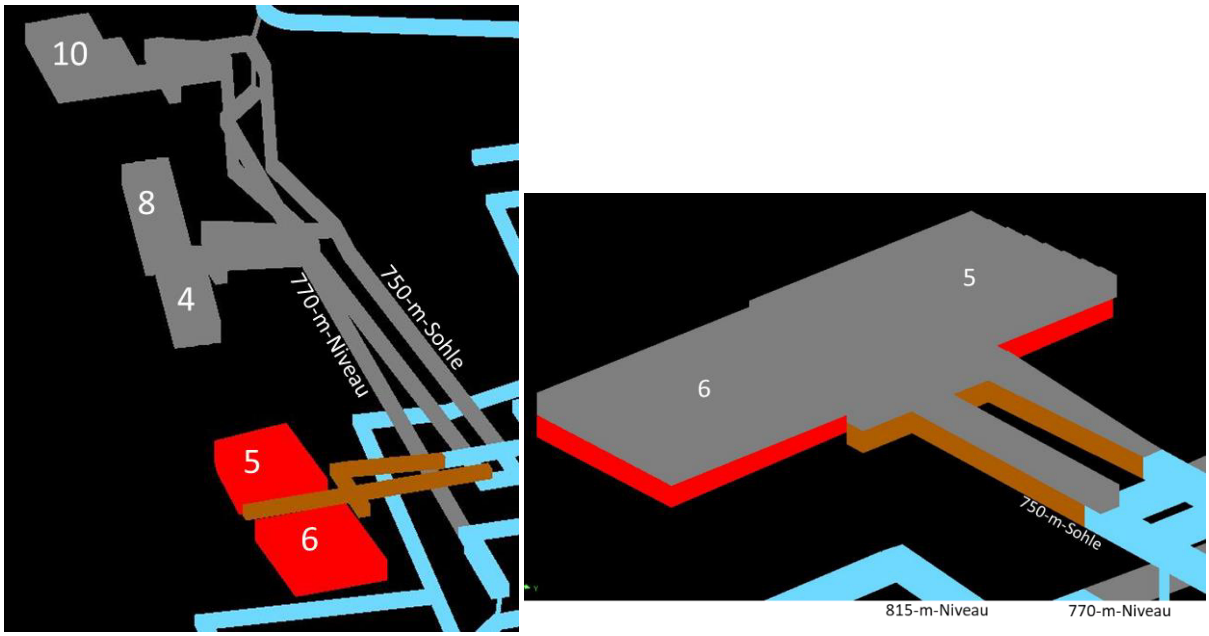


Abb. 206: Skizze der Auffahrungen für Vorrichtung von den Transportstrecken zur oberen (erste) Ebene der ELK 5/750 und ELK 6/750, anschließend Auffahrung für Vorrichtung der unteren (zweite) Ebene nach Verfüllung Teilflächen und Vorrichtungsstrecken der oberen Ebene

I. Anzahl / Volumen Auffahrungen minimieren

- sequentiell je ca. 190 m Streckenauffahrung (25 m² - 30 m² Querschnitt, je ca. 4700 m³) für 1. und 2. Ebene
- ELK 5/750 und ELK 6/750 durch sequentielles Auffahren und Verfüllen von Teilflächen (max. gleichzeitig offen je ca. 1500 m³ bei ELK 5/750 und ELK 6/750)
- Um verfüllte Teilflächen findet der Spannungsaufbau im Gebirge nur allmählich statt, so dass sich um diese herum noch nicht wieder der ursprüngliche Spannungszustand eingestellt hat, wenn die benachbarte Teilfläche zur Rückholung bereits aufgefahren wurde und offensteht. Aus den Einflüssen dieser beiden Teilflächen – eine verfüllte und eine offene – resultieren höhere gebirgsmechanische Auswirkungen als aus einer aktiven (offenen) Teilfläche erwartbar wäre.

II. Auffahrung möglichst im Steinsalz

- Auffahrungen zum Anschluss der ELK 5/750 und ELK 6/750 im carnallitischen Kaliflöz Staßfurt und Leinesteinsalz
- wiederaufzuwältigende ELK 5/750 und ELK 6/750 stehen im Leinesteinsalz

III. Offenhaltungszeitraum minimieren

- Offenhaltung der Basisstrecken und ELK-Anschlüsse der 1. und 2. Ebene je über 9 a mit Verfüllung nach Abschluss der Rückholarbeiten auf der entsprechenden Ebene
- Offenhaltung jeweils einer Teilfläche für < 1 a mit anschließender Verfüllung gestaffelt über 9 a für 1. Ebene und 8 a für 2. Ebene

➢ Einschätzung

- Neuauffahrung von Einzelstrecken mit moderatem Querschnitt im unverritzten Steinsalz und carnallitischen Kalisalz oder durch vorhandene, versetzte Auffahrungen, wird den erkundeten Gebirgsverhältnissen entsprechend dimensioniert, ggf. ausgebaut
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die kurze Offenhaltungsdauer wird als umsetzbar angesehen
- sequentiell mit moderatem Querschnitt unter umfangreichen Sicherungs- und Ausbaumaßnahmen wieder aufzuwältigender Grubenhohlraum der ELK 5/750 und ELK 6/750
  - ➢ standsichere Aufrechterhaltung über die jeweils kurze Offenhaltungsdauer unter Sicherstellung der unmittelbar anschließenden Verfüllung vor folgender Auffahrung wird als umsetzbar angesehen

Anhang M Schrittfolgepläne

M 1 Schrittfolgeplan Gebinderückholung

Tab. 59: Schrittfolgeplan Gebinderückholung: Lösen, Laden und Transport und Ableitung techn. Anforderungen an Arbeitsschritte

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Anmerkung: Verschiedene Schritte werden in der Praxis mehrfach wiederholt. Die Darstellung entspricht jedoch einem vereinfachten Ablauf, bei dem die Schritte nur je einmal stattfinden.	***Anmerkung: Es handelt sich um eine im Rahmen der Konzeptplanung ermittelte Auswahl auf der Basis der grundlegenden Arbeitsschritte. Im Zuge der Detailplanung sind detaillierte Untersuchungen zu Störungen und deren Konsequenzen und Vermeidung sowie zu erforderlichen Interventionsmöglichkeiten durchzuführen.***	Anmerkungen: 1) Die technischen Anforderungen beziehen sich auf sicherheitstechnische und ggf. zusätzlich erforderliche Ausrüstung, nicht auf die betrieblich erforderliche Ausrüstung. Die aufgeführte Ausrüstung ist prinzipiell als Ausrüstung zusätzlich zur betrieblich erforderlichen Ausrüstung zu verstehen. 2) Die technischen Anforderungen zur Beherrschung von Störungen sind nicht zwangsläufig aus dem zugehörigen Störungsszenario abgeleitet. Die technischen Anforderungen sind aus den sicherheitstechnisch bedeutsamen Szenarien abgeleitet und decken die Anforderungen der sicherheitstechnisch weniger relevanten Szenarien mit ab.
1) Bereitstellung des IB in der Basisstrecke nach	Ausfall der Beleuchtungs-/Kameratechnik	Es ist für eine ausreichend robuste und redundante

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Einschleusen über die VPS	Ausfall Plateauwagen (Fahrantrieb/ Schienensystem)	Beleuchtung und Kamerasicht zu sorgen Schienensystem sollte wartungsfrei sein Fahrantrieb der Plateauwagen regelmäßig überprüfen
Anschlagen des leeren Innenbehälters (IB) an den Kran, IB steht in Umverpackung in VPS (Übergabepunkt) bereit	Einzelschritte siehe folgende Zeilen	
Positionieren der Kran-Traverse über IB	Fehlpositionierung der Lastaufnahmemittel → Lastanschlag nicht möglich	Positionserfassung und -überwachung
Absenken der Kran-Traverse auf leeren IB	Hubwerk defekt Hubhöhenüberwachung defekt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks Einhaltung der vorgeschriebenen Wartungs- und Instandhaltungsintervalle
Verriegeln der Lastanschlagpunkte	Verriegelung der Lastanschlagpunkte defekt (verriegelt nicht) Verriegelungsmechanismus verschmutzt	Überwachung der Endlagen des Verriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte unter gleichzeitiger leittechnischer Verriegelung der Hubbewegung

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		Redundante (alternative) fernbediente Funktion des Verriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte oder fernhantierte manuelle Notentriegelung Reinigung des Verriegelungsmechanismus
Anheben des leeren IB (bis auf Transportstreckenhöhe)	Hubwerk defekt Kollision von IB (bspw. mit VPS)	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks (inkl. Seile) Notablassen technisch ermöglichen (z. B. Notöffnen der Bremsen und Kupplungen oder ggf. Ablassen über Hubwagen) Steuerungstechnische Verriegelung von Fahrbewegung und Hubbewegung des Krans (z. B. bei unzureichender Hubhöhe) Positionserfassung und -überwachung
Verfahren des Krans mit angeschlagenem leeren IB	Fahrantrieb defekt Kollision von IB (z. B. mit Lutten oder Versorgungsleitungen im Streckenquerschnitt)	Positionserfassung und -überwachung Steuerungstechnische Verriegelung von Fahrbewegung und Hubbewegung des Krans

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Fahrantriebs
Absenken und Absetzen des leeren IB auf flurgeführtes Transportfahrzeug (Plateauwagen)	Hubwerk defekt Kippen des IB infolge Fehlpositionierung des flurgeführten Transportfahrzeugs (außerhalb Reichweite Kran)	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks Visuelle Kontrolle der Lage und Ebenheit der Übergabeposition Lagekontrolle der Krantraverse vor dem Abschlagen des IB (visuell, Sensor) Einführ- und Positionierhilfen an Übergabeposition Abfrage des flurgeführten Transportfahrzeugs über Endlagenschalter
Abschlagen des leeren IB von der Krantraverse	Entriegelung der Lastanschlagpunkte defekt (entriegelt nicht) Verriegelungsmechanismus verschmutzt	Überwachung der Endlagen des Öffnungsmechanismus unter gleichzeitiger Verriegelung der Hubbewegung Redundante (alternative) fernbediente Funktion des Entriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		Möglichkeit zum Wiederverriegeln der bereits geöffneten Lastanschlagpunkte Reinigung des Verriegelungsmechanismus
Anheben der Krantraverse und Positionierung des Krans auf Parkposition	Hubwerk defekt Fehlpositionierung des Krans bzgl. Parkposition	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks
2) Einbringen des IB in die Teilfläche, hier am Beispiel gleisgeführtes Flurförderfahrzeug		
Verriegeln des leeren IB auf Flurförderfahrzeug	Verriegelungsmechanismus defekt	Überwachung des Verriegelungsmechanismus Redundante fernbediente Funktion des Verriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte Möglichkeit zum Nottransport des IB bei nur teilweiser Verriegelung
Verfahren des Flurförderfahrzeuges mit leeren IB bis in die Teilfläche (Ortsbrust) über radioaktive Transportstrecke (bei ELK-naher Anordnung direkt, bei ELK-ferner Anordnung ggf. vorherige Aufnahme des	Kollision des IB mit dem Manipulator Kollision des IB mit Ausbauelementen in der Teilfläche	Positionsüberwachung des Manipulator-Auslegers (Verriegelung gegen IB) Visuelle Kontrolle und ggf. messtechnisches Abtasten der Teilfläche

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Außendeckels mittels Verdeckelungs-Roboter)	Kollision des Flurförderfahrzeugs mit anderen Flurförderfahrzeugen oder Komponenten Ausfall des Antriebs Entgleisen beim Auf-/ Abfahren von der Drehweiche Verdeckelungs-Roboter defekt	Auslegung des IB gegen Kleinkollisionen Positionsüberwachung der Flurförderfahrzeuge Visuelle Kontrolle Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) „Abschleppen“ des Flurförderfahrzeugs Interventionsmöglichkeit für Verdeckelungs-Roboter vor Ort gegeben
Positionieren der Drehweiche in Richtung ankommender IB	Drehweiche defekt/verschmutzt Fehlpositionierung Festsetzen der Drehscheibe aufgrund von nicht instandgesetzten Schäden/ Verschmutzungen	Positionserfassung und –überwachung Regelmäßige Reinigung der Gleise Regelmäßige Wartung Verriegelung der Weiche bei korrekter Position
Verfahren des IB auf Drehweiche bis an die Puffer	Ausfall des Antriebs des Flurförderfahrzeugs Entgleisen des IB beim Übergang Gleis-Weiche	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme)
Drehen der Drehweiche mit IB in Richtung TF	Drehweiche defekt/verschmutzt Fehlpositionierung	Positionserfassung und –überwachung Regelmäßige Reinigung der Gleise

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
	Festsetzen der Drehscheibe aufgrund von nicht instandgesetzten Schäden/Verschmutzungen	Regelmäßige Wartung
Verfahren des IB von der Drehweiche in die TF	Ausfall des Antriebs Entgleisen des IB beim Übergang Weiche-TF-Gleis	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) Verriegelung der Weiche bei korrekter Position
Positionieren des Flurförderfahrzeugs mit IB unterhalb des Manipulators	Flurförderfahrzeug reißt herunterhängende Versorgungsleitungen ab	Alle Zu- und Versorgungsleitungen des Manipulators aus dem Fahrbereich konstruktiv heraushalten
3) Entfernen des (Innen-) Deckels vom IB		
Absenken und Andocken einer Aufnahmevorrichtung unterhalb des Manipulators auf (Innen-) Deckel	Absenkmechanismus blockiert Andocksystem blockiert/ funktioniert nicht	Regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Absenk- und Aufnahmevorrichtung
Entriegeln des (Innen-) Deckels	Verriegelung ist verklemmt	Verriegelung regelmäßig reinigen und warten
Anheben der Traverse mit angedocktem (Innen-) Deckel	Deckel verkantet Traverse sitzt nicht bündig an Deckel stürzt ab	Überwachung des korrekten Sitzes der Hebetraverse
Positionieren des Flurförderfahrzeugs mit IB in der TF an der Ortsbrust	Ausfall des Antriebs Fehlpositionierung	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B.

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
	Flurförderfahrzeug mit IB kann nicht in den Arbeitsbereich des Manipulators fahren	durch redundante Antriebe, Speichersysteme) Positionserfassung und -überwachung Freihalten des Arbeitsbereiches für das Beladen des IB
4) Verfahren des Werkzeugmagazins (WM) auf Flurförderfahrzeug von Parkposition in der Basisstrecke bis in die Teilfläche (Ortsbrust), hier am Beispiel gleisgeführtes Flurförderfahrzeug	Fahrantrieb Flurförderfahrzeug defekt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe einschl. Bremsen (z. B. Fail-Safe-Prinzipien, Redundanz, Überdimensionierung, Notentriegelungen, Rückholeinrichtung (Abschleppen))
Positionieren der Krankatze oberhalb des WM in der Basisstrecke	Ausfall der Beleuchtungs-/Kameratechnik, Entstaubung Fehlpositionierung des Krans	Es ist für eine ausreichend robuste und redundante Beleuchtung und Kamerasicht zu sorgen Positionserfassung und -überwachung
Anschlagen der Lasttraverse an WM	Verriegelung der Lastanschlagpunkte defekt (verriegelt nicht)	Überwachung der Endlagen des Verriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte unter gleichzeitiger leittechnischer Verriegelung der Hubbewegung Redundante fernbediente Funktion des Verriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte oder fernhantierte manuelle Notentriegelung

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Anheben des WM	Hubwerk defekt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks Notablassen technisch ermöglichen (z. B. Notöffnen der Bremsen und Kupplungen oder Kappen der Seile)
Absetzen des WM auf Gleise der Basisstrecke	Hubwerk defekt Drehgestell/ Achsen des WM sind verzogen und Aufgleisen nicht möglich	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks Notablassen technisch ermöglichen (z. B. Notöffnen der Bremsen und Kupplungen oder Kappen der Seile) Stabile Ausführung der Radachsen und regelmäßige Achsenkontrolle
Abschlagen des WM von der Lasttraverse	Entriegelung der Lastanschlagpunkte defekt (entriegelt nicht)	Überwachung der Endlagen des Öffnungsmechanismus unter gleichzeitiger Verriegelung der Hubbewegung

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		Redundante fernbediente Funktion des Entriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte Möglichkeit zum Wiederverriegeln der bereits geöffneten Lastanschlagpunkte
Anheben der Lasttraverse	Hubwerk defekt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks Notablassen technisch ermöglichen (z. B. Notöffnen der Bremsen und Kupplungen oder Kappen der Seile)
Verfahren des WM von Basisstrecke in die TF (Arbeitsschritte bzgl. Drehweiche wie bei Verfahren des IB)	Fahrantrieb Flurförderfahrzeug defekt Drehscheibe defekt – WM kann nicht von Basisstrecke in TF gedreht werden	Robuste Auslegung der Fahrantriebe einschl. Bremsen (z. B. Fail-Safe-Prinzipien, Redundanz, Überdimensionierung, Notentriegelungen, Rückholeinrichtung (Abschleppen))
5) Ggf. Einfahren weiterer EHB-geführter Arbeitsmittel (Brandschutz und Entstaubung) in die Teilfläche (Ortsbrust), hier am Beispiel EHB-Parkbereich. Wechselseitiger		

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Einsatz der Arbeitsmittel wird über verfahrbare Schiene unterhalb der Krananlage gewährleistet.		
Positionieren der verfahrbaren Schiene in der Basisstrecke (zwischen EHB-Parkbereich und TF)	Fehlpositionierung der Schiene Antrieb Schiene defekt Verkanten der EHB durch Verformung der Schienen	Es ist für eine ausreichend robuste und redundante Beleuchtung und Kamerasicht zu sorgen Positionserfassung und –überwachung Übergänge der Schienen etwas schmaler als Toleranz für Verformungen
Verfahren der EHB aus der Parkposition (Brandschutz oder Entstaubung) bis auf die verfahrbare Schiene	Fahrantrieb EHB defekt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe (z. B. Überdimensionierung, Fail-Safe-Prinzipien) Ggf. Interventions-EHB (Abschleppen) oder Rückziehen
Ggf. positionieren der verfahrbaren Schiene auf anderen Schienenstrang	Antrieb Schiene defekt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe einschl. Bremsen (z. B. Fail-Safe-Prinzipien, Redundanz, Überdimensionierung)
Verfahren der EHB (Brandschutz oder Entstaubung) in die TF	Fahrantrieb EHB defekt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe (z. B. Überdimensionierung, Fail-Safe-Prinzipien) Ggf. Interventions-EHB (Abschleppen) oder Rückziehen

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Anschluss der Entstaubungseinheit an das TF-Element	Fehlpositionierung des Ausbläserohres der Entstaubung an das TF-Element	Demontage des Ausbläserrohres mit Manipulator
6) Lösen und Laden eines in Salzgrus eingebetteten Gebindes (grob)	Ausfall der Beleuchtungs-/Kameratechnik, Entstaubung Defekt am Manipulator (z. B. Auslegerzylinder, etc.) oder dessen Hydraulik Festsetzen eines Werkzeuges im Abfall Abbrechen eines Werkzeuges/Werkzeugteiles Signifikant erhöhte Ableitungen	Es ist für eine ausreichend robuste und redundante Beleuchtung und Kamerasicht zu sorgen Robuste und redundante Auslegung v. Steuerung/Antrieben und Werkzeugen, Möglichkeit zum Not-Rückziehen des Manipulators Automatische Schutzvorrichtungen (Notabschaltung) bei Maschinenschäden (Hydraulikverlust, Fehlerstrom, etc.) Notentriegelung und Abwerfen des festgesetzten Werkzeuges vom Manipulator Durch unterschiedliche Freiräumtechniken ist ein fernbedienter Werkzeugwechsel notwendig Relevante Werkzeuge müssen im Nahbereich des Manipulators gelagert werden

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		Feinfühliges und behutsames Vorgehen beim Freiräumen und Lösen (Einsatz geeigneter Werkzeuge) Überwachung der Aerosolkonzentration am Arbeitsort sowie in der ELK mit vordefinierten Schwellwerten Ggf. Unterbrechung der Arbeiten Gefilterte Ableitung aus der ELK Absaugung/Entstaubung
Werkzeugwechsel (ggf. mehrfach)	Werkzeugwechsel nicht möglich (Verklemmen des Schnellverschlusses, Rotator blockiert) Position des Werkzeugwagens ist falsch	Überwachung des erfolgten Werkzeugwechsels Regelmäßige Wartung der Schnellwechseleinrichtung und des Rotators
Lösen des Salzgruses mittels Werkzeug	Gebindezerstörung mit erhöhter Freisetzung und signifikant erhöhter Ableitung	Geeignete Werkzeugauswahl Geeigneter Einsatz des gewählten Werkzeugs (Drehzahl, Vorschub etc.) Minimaler Kraft-/Energieeintrag Radiologische Überwachung zur Erkennung von erhöhten Freisetzungen

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		Erhöhte Absaugrate Verwendung weiterer Filterstufen Ggf. Abschalten des Werkzeugs und Werkzeugwechsel Positionswechsel des Manipulators Visuelle Kontrolle beim Lösen
Aufnehmen von kontaminiertem Salzgruses mit Ladewerkzeug	Ausfall Auslegerzylinder Verhaken von Teilen des Auslegers mit Teilen der EHB	Robuste und redundante Auslegung von Steuerung/Antrieben Konstruktive Maßnahmen (z. B. Abweiser) Versorgungsleitung des Manipulators/ EHB nur in konstruktiv geschützter Bauweise
Positionierung des Ladewerkzeugs mit Salzgrus über leeren IB	Kollision des Manipulators/Werkzeuges mit IB Ausfall der Hydraulik Verhaken von Teilen des Auslegers mit Teilen der EHB	Behutsames Verfahren des Auslegers Visuelle Kontrolle Robuste und redundante Auslegung von Steuerung/Antrieben Konstruktive Maßnahmen (z. B. Abweiser)
Laden des Salzgruses in IB	Kollision des Manipulators/Werkzeuges mit IB	Auslegung des IB gegen Kleinkollisionen

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Anheben des Werkzeugs	Kollision des Manipulators mit Teilen der EHB Ausfall der Antriebssysteme des Manipulators lässt kein Rückziehen der Systemeinheit zu	Behutsames Verfahren des Auslegers Visuelle Kontrolle, Endschalterfunktion Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) Konstruktive Maßnahmen (z. B. Abweiser)
Wiederholung der Schritte unter Berücksichtigung des zulässigen Füllstands des IB		
Manipulator in Transportstellung bringen	Defekt am Manipulator (z. B. Auslegerzylinder, etc.)	Redundante Robuste Auslegung von Steuerung/Antrieben Möglichkeit zum Not-Rückziehen des Manipulators
Positionieren des Flurförderfahrzeugs mit IB unterhalb des Manipulators	Durch Gebirgsbewegungen induzierte Fehlstellung der Ausbauelemente passt der IB nicht unter den Manipulator	Überwachung der korrekten Einbauweise und Richtung der Teilflächen Ausreichende Baufreiheit zwischen TF Sohle und Unterkante Manipulator einplanen
7) Verdeckeln des IB		
Absenken und Auflegen der Aufnahmevorrichtung unterhalb des Manipulators mit (Innen-) Deckel auf IB	Absenkmechanismus blockiert	Regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Absenk- und Aufnahmevorrichtung

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
	Andocksystem blockiert/ funktioniert nicht	
Verriegeln des (Innen-)Deckels	Verriegelung ist verklemmt Schließen des (Innen-) Deckels des IB nicht möglich (z. B. max. Füllstand überschritten, Verklemmung)	Verriegelung regelmäßig reinigen und warten Visuelle Kontrolle der Beladung (Kamera) Möglichkeit zur Teil-Entladung des IB Möglichkeit zum Interventionstransport eines IB bei nicht geschlossenem Deckel schaffen
Anheben der Aufnahmevorrichtung	Aufnahmevorrichtung hängt fest Hebefunktion defekt	Überwachung des Hebevorganges per Video
Abtransport des mit Salzgrus beladenen IB aus ELK	Fahrantrieb Flurförderfahrzeug defekt Hubwerk defekt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe einschl. Bremsen (z. B. Fail-Safe-Prinzipien, Redundanz, Überdimensionierung, Notentriegelungen, Rückholeinrichtung (Abschleppen)) Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
	Kollision des IB mit (technischen) Komponenten	Visuelle Kontrolle und ggf. messtechnisches Abtasten der Fahrstrecke Auslegung des IB gegen Kleinkollisionen
8) Freilegen eines Gebindes (fein)	Ausfall der Beleuchtungs-/Kameratechnik	Es ist für eine ausreichend robuste und redundante Beleuchtung und Kamerasicht zu sorgen Durch unterschiedliche Lösetechniken ist ein fernbedienter Werkzeugwechsel notwendig Relevante Werkzeuge müssen im Nahbereich des Manipulators gelagert werden
	Defekt am Manipulator (z. B. Auslegerzylinder, etc.)	Redundante Robuste Auslegung von Steuerung/Antrieben Möglichkeit zum Not-Rückziehen des Manipulators
Werkzeugwechsel (ggf. mehrfach)	Werkzeugwechsel nicht möglich Hydraulischer Schnellwechsler schließt nicht	Überwachung des erfolgten Werkzeugwechsels Endschalter und Überwachung Hydraulikversorgung
Freilegen eines Gebindes	Gebindezerstörung mit erhöhter Freisetzung und	Geeignete Werkzeugauswahl

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
	signifikant erhöhter Ableitung	Geeigneter Einsatz des gewählten Werkzeugs (Drehzahl, Vorschub etc.) Minimaler Kraft-/Energieeintrag Radiologische Überwachung zur Erkennung von erhöhten Freisetzungen Erhöhte Absaugrate Verwendung weiterer Filterstufen Ggf. Abschalten des Werkzeugs und Werkzeugwechsel Positionswechsel des Auslegers Visuelle Kontrolle beim Lösen
9) Beladen des leeren IB mit Gebinden	Ausfall der Beleuchtungs-/Kameratechnik Defekt am Manipulator (z. B. Auslegerzylinder, etc.)	Es ist für eine ausreichend robuste und redundante Beleuchtung und Kamerasicht zu sorgen Redundante Robuste Auslegung von Steuerung/Antrieben Möglichkeit zum Not-Rückziehen des Manipulators

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Werkzeugwechsel auf Ladewerkzeug für Gebinde (z. B. Fassgreifer)	Werkzeugwechsel nicht möglich	Überwachung des erfolgten Werkzeugwechsels Regelmäßige Reinigung der Versorgungsanschlüsse
Aufnehmen des Gebindes	Gebindezerstörung mit erhöhter Freisetzung und signifikant erhöhter Ableitung	Geeignete Werkzeugauswahl Geeigneter Einsatz des gewählten Werkzeugs Radiologische Überwachung zur Erkennung von erhöhten Freisetzungen Ggf. Vorgangsunterbrechung und Werkzeugwechsel Visuelle Kontrolle beim Laden Überwachung/ Begrenzung des Anpressdruckes des Fassgreifers
Zurückfahren des Manipulators in Beladestellung	Ausfall der Antriebe Beschädigung des seitlichen Schienensystems	Redundante Auslegung der Antriebe Visuelle Kontrolle des Schienensystems (QS bei TF-Montage)
Positionierung des Gebindes über IB	Kollision des Manipulator-Auslegers mit dem IB	Behutsames Verfahren des Auslegers und visuelle Kontrolle des IB beim Beladen

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		Auslegung des IB gegen Kleinkollisionen
Ablegen des Gebindes in den IB	Undefinierte Positionierung des Gebindes innerhalb IB Unzulässige mechanische Einwirkung auf den IB beim Beladen Gebinde verkeilt sich beim Einladen in den IB	Visuelle Kontrolle des IB-Beladungszustands Auslegung des IB gegen Kleinkollisionen Behutsames Verfahren des Auslegers Visuelle Kontrolle des IB beim Beladen
Anheben des Werkzeugs	Kollision des Manipulator-Auslegers mit dem IB-Hebezeug Ausfall der Antriebssysteme des Manipulators lässt kein Rückziehen zu Kippen des IB durch Rückzug des Manipulator-Werkzeugs	Behutsames Verfahren des Auslegers und visuelle Kontrolle des IB beim Beladen Auslegung des IB gegen Kleinkollisionen Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) IB bleibt fest auf Flurförderfahrzeug
Vorfahren des Manipulators in Arbeitsstellung	Ausfall der Antriebe/Hydraulik	Redundante Auslegung der Antriebe Visuelle Kontrolle des Schienensystems (QS bei TF-Montage)
Wiederholung der Schritte für nächstes Gebinde (ggf.) unter		

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Berücksichtigung der max. Zuladung und des Füllstands des IB		
Manipulator in Transportstellung bringen (Auslegerstellung)	Fehlpositionierung Ausfall des Auslegerantriebs	Redundante Überwachung der Auslegerposition (visuell, Endschalter) Redundante Auslegung des Antriebs
Positionieren des Flurförderfahrzeugs mit IB unterhalb des Manipulators	Durch Gebirgsbewegungen induzierte Fehlstellung der Ausbauelemente passt der IB nicht unter den Manipulator	Überwachung der korrekten Einbauweise und Richtung der Teilflächen Ausreichende Baufreiheit zwischen TF Sohle und Unterkante Manipulator einplanen
10) Verdeckeln des IB		
Absenken und Auflegen der Aufnahmevorrichtung unterhalb des Manipulators mit (Innen-) Deckel auf IB	Absenkmechanismus blockiert Andocksystem blockiert/ funktioniert nicht	Regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Absenk- und Aufnahmevorrichtung
Verriegeln des (Innen-) Deckels	Verriegelung ist verklemmt Schließen (Innen-) Deckels des IB nicht möglich (z. B. max. Füllstand überschritten, Verklemmung)	Verriegelung regelmäßig reinigen und warten Visuelle Kontrolle der Beladung (Kamera) Möglichkeit zur Teil-Entladung des IB Möglichkeit zum Interventionstransport eines IB bei nicht geschlossenem Deckel schaffen

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Anheben der Aufnahmevorrichtung	Aufnahmevorrichtung hängt fest Hebefunktion defekt	Überwachung des Hebevorganges per Video
11) Ausbringen des beladenen IB (Arbeitsschritte bzgl. Drehweiche siehe Einbringen des IB)	Fahrantrieb Flurförderfahrzeug defekt Ausfall der Beleuchtungs-/Kameratechnik Fehlpositionierung am Übergabepunkte zur Beladevorrichtung VPS	Robuste Auslegung der Fahrantriebe einschl. Bremsen (z. B., Fail-Safe-Prinzipien, Redundanz, Überdimensionierung, Notentriegelungen, Rückholeinrichtung) Es ist für eine ausreichend robuste und redundante Beleuchtung und Kamerasicht zu sorgen Interventions-Fahrzeug (Abschleppen) Visuelle Kontrolle der Positionierung (Kamera) Positionsüberwachung des Flurförderfahrzeugs
Nur bei ELK-naher Lage des Übergabepunktes		
Ausbringen des IB aus der TF über die Basisstrecke bis zum ELK-nahen Übergabepunkt (Krananlage vor/ hinter VPS) auf Flurförderfahrzeug (dann weiter mit „Übergabe des beladenen IB an VPS“)	Fahrantrieb Flurförderfahrzeug defekt Schienensystem verschmutzt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe einschl. Bremsen (z. B., Fail-Safe-Prinzipien, Redundanz, Überdimensionierung, Notentriegelungen, Rückholeinrichtung) Reinigungswagen

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		Bürsten- /Reinigungssystem am Flurförderfahrzeug
Nur bei ELK-ferner Lage des Übergabepunktes		
Ausbringen des IB bis zum Verdeckelungs-Roboter	Fahrantrieb Flurförderfahrzeug defekt Schienensystem verschmutzt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe einschl. Bremsen (z. B., Fail-Safe-Prinzipien, Redundanz, Überdimensionierung, Notentriegelungen, Rückholeinrichtung) Reinigungswagen Bürsten- / Reinigungssystem an Flurförderfahrzeug
Festes Verschrauben des Deckels mittels Verdeckelungs-Roboter	Defekt an Verdeckelungs-Roboter fehlerhafte Positionierung	Interventionsmöglichkeit für Verdeckelungs-Roboter vor Ort gegeben Manuelles Verschrauben vorsehen
Ausbringen des fest verdeckelten IB durch die Basisstrecke bis zum ELK-fernen Übergabepunkt (Krananlage an VPS), dann weiter mit „Übergabe des beladenen IB an VPS“	Fahrantrieb Flurförderfahrzeug defekt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe einschl. Bremsen (z. B., Fail-Safe-Prinzipien, Redundanz, Überdimensionierung, Notentriegelungen, Rückholeinrichtung)
12) Einbringen vom Spritzmanipulator in die Teilfläche (bis zur Ortsbrust), hier am Beispiel gleisgeführtes Flurförderfahrzeug	Fahrantrieb defekt Fahrzeug entgleist aufgrund verdreckter Schienen	Robuste Auslegung der Fahrantriebe einschl. Bremsen (z. B., Fail-Safe-Prinzipien, Redundanz,

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		Überdimensionierung, Notentriegelungen, Rückholeinrichtung) Reinigungswagen Bürsten- / Reinigungssystem an Flurförderfahrzeug
Positionieren der Krankatze oberhalb des Spritzmanipulators in der Basisstrecke	Fehlpositionierung der Krankatze	Visuelle Kontrolle der Positionierung (Kamera) Positionserfassung und -überwachung
Anschlagen der Lasttraverse an Spritzmanipulator	Verriegelung der Lastanschlagpunkte defekt (verriegelt nicht) Verriegelung verschmutzt	Überwachung der Endlagen des Verriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte unter gleichzeitiger leittechnischer Verriegelung der Hubbewegung Redundante fernbediente Funktion des Verriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte oder fernhantierte manuelle Notentriegelung
Anheben des Spritzmanipulators	Hubwerk defekt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks Notablassen technisch ermöglichen (z. B. Notöffnen

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		der Bremsen und Kupplungen oder Kappen der Seile)
Absetzen des Spritzmanipulators auf Gleise in Basisstrecke	Hubwerk defekt Gleise verschmutzt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks Notablassen technisch ermöglichen (z. B. Notöffnen der Bremsen und Kupplungen oder Kappen der Seile) Reinigungswagen Bürsten- /Reinigungs-system am Flurförderfahrzeug
Abschlagen des Spritzmanipulators	Entriegelung der Lastanschlagpunkte defekt (entriegelt nicht)	Überwachung der Endlagen des Öffnungsmechanismus unter gleichzeitiger Verriegelung der Hubbewegung Redundante fernbediente Funktion des Entriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte Möglichkeit zum Wiederverriegeln der bereits geöffneten Lastanschlagpunkte

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Anheben der Lasttraverse	Hubwerk defekt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks Notablassen technisch ermöglichen (z. B. Notöffnen der Bremsen und Kupplungen oder Kappen der Seile)
Verfahren des Spritzmanipulators von Basisstrecke in die TF (Arbeitsschritte bzgl. Drehweiche wie bei Verfahren des IB)	Ausfall des Antriebs Gleise verschmutzt sohlengeführter Spritzmanipulator kommt nicht in Arbeitsreichweite heran	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) „Abschleppen“ des Flurförderfahrzeugs Reinigungswagen Bürsten- /Reinigungssystem am Flurförderfahrzeug
Positionierung des Spritzmanipulators an der Ortsbrust	Fehlpositionierung an der Ortsbrust	Visuelle Kontrolle der Positionierung (Kamera) Positionsüberwachung des Flurförderfahrzeugs
Positionierung des Spritzmanipulator-Auslegers	Fehlpositionierung des Auslegers	Visuelle Kontrolle der Positionierung (Kamera) Positionserfassung und -überwachung

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Einbringen von beispielsweise Sicherungsmörtel zur Gebindesicherung	Ausfall der Pumpe Verstopfen der Düse Verstopfen der Leitung durch falsche Baustoffmischung	Konstruktive Auslegung der Pumpen (z. B. durch Redundanz) Konstruktion muss für schnelle Reparatur ausgelegt sein Baustoff sollte nicht zu schnell abbinden
Einfahren und positionieren des Auslegers	Ausfall der Antriebssysteme des Auslegers Beschädigung, Ausfall oder Blockade der Kinematik	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme)
Ausfördern des Flurförderfahrzeugs mit Spritzmanipulator (analog WM)	Ausfall des Antriebs	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) „Abschleppen“ des Flurförderfahrzeugs
13) Einbringen von Schilden zur Begrenzung und Schutz der TF-Strecke auf Flurförderfahrzeug in die Teilfläche (bis zur Ortsbrust)		
Verfahren des Flurförderfahrzeugs von Basisstrecke in TF analog Spritzmanipulator	Ausfall des Antriebs	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) „Abschleppen“ des Flurförderfahrzeugs

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Aufnahme des Schildes mit Manipulator	Siehe Werkzeugwechsel	
Positionierung und Einhaken des Schildes an der Teilfläche	Einhaken nicht möglich	Bei mit Staub zugesetzter Einhaköse – freiblasen mit Druckluft
Entriegeln des Schildes an der Teilfläche	Entriegeln nicht möglich Schild verklemmt / deformiert	Robuste Auslegung ggf. Fehlerbehebung außerhalb der TF
Aufnahme des Schildes mit Manipulator und Ablage auf Flurförderfahrzeug	Kollision des Manipulator-Auslegers mit Flurförderfahrzeug	Behutsames Verfahren des Auslegers Visuelle Kontrolle des Vorgangs
Ausfördern des Flurförderfahrzeugs mit Schilden (analog WM) bzw. Ablage innerhalb der TF	Ausfall des Antriebs Gleise verschmutzt	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) „Abschleppen“ des Flurförderfahrzeugs
Ein- und Ausbringen weiterer Ortsbrustsicherungsmittel wie z. B. Luftkissen etc. (analog s.o.)	Siehe Ablauf „Einbringung von Schilden“	
14) Übergabe des IB an Kran am Übergabepunkt		
Entriegeln des IB auf Flurförderfahrzeug	Entriegelungsmechanismus defekt	Überwachung des Entriegelungsmechanismus Redundante fernbediente Funktion des Entriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Anschlagen des IB an Lasttraverse	Verriegelung der Lastanschlagpunkte defekt (verriegelt nicht) falsche Positionierung	Überwachung der Endlagen des Verriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte unter gleichzeitiger leittechnischer Verriegelung der Hubbewegung Redundante fernbediente Funktion des Verriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte oder fernhantierte manuelle Notentriegelung
Anheben des IB	Hubwerk defekt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks Notablassen technisch ermöglichen (z. B. Notöffnen der Bremsen und Kupplungen oder Kappen der Seile)
Verfahren/Positionieren des IB über VPS	Kollision von IB und VPS	Positionserfassung und -überwachung Steuerungstechnische Verriegelung von Fahrbewegung des Krans bei unzureichender Hubhöhe
15) Übergabe des beladenen IB an VPS		

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Beladevorrichtung der VPS öffnen	Defekt an Beladevorrichtung der VPS	Notabstellplatz für IB im Bereich vor der VPS einrichten Interventionsmöglichkeit der Beladevorrichtung von der Schleuse aus gegeben
Positionierung des beladenen IB über VPS	Fahrantrieb des Krans defekt Kollision von IB (z. B. mit Lutten oder Versorgungsleitungen im Streckenquerschnitt)	Robuste Auslegung der Fahrantriebe (z. B. Überdimensionierung, Fail-Safe-Prinzipien) Positionsüberwachung / visuelle Kontrolle Ggf. Verriegelung der unzulässigen Kran-/IB-Positionen Auslegung des IB gegen Kleinkollisionen
Absenken und Absetzen des beladenen IB in Umverpackung	Hubwerk defekt Hubhöhenüberwachung defekt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks (inkl. Seile) Notablassen technisch ermöglichen (z. B. Notöffnen der Bremsen und Kupplungen oder Kappen der blockierten Seile)

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		Technische Voraussetzung für Interventionsmaßnahmen einrichten
Abschlagen des beladenen IB	Entriegelung der Lastanschlagpunkte defekt (entriegelt nicht)	Überwachung der Endlagen des Öffnungsmechanismus unter gleichzeitiger Verriegelung der Hubbewegung Redundante fernbediente Funktion des Entriegelungsmechanismus der Lastanschlagpunkte oder fernhantierte manuelle Notentriegelung Möglichkeit zum Wiederverriegeln der bereits geöffneten Lastanschlagpunkte
Lasttraverse in obere Endlage fahren	Hubwerk defekt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks
Kran aus Arbeitsbereich der VPS fahren (um den Deckel der Beladevorrichtung schließen zu können)	Fahrantrieb Kran defekt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe (z. B. Überdimensionierung, Fail-Safe-Prinzipien)
Fortsetzung: Schrittfolgeplan „Behälterabfertigung in der VPS“		
16) Vorbereitung Untergrund für neue Ausbauelemente		

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Erstellen eines Unterschnittes	Ausfall der Fräse oder des Lösewerkzeuges Ausfall des kompletten Manipulatorsystems	Regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Rückholtechnik Einhaltung von Ablaufplänen (Verhinderung des Einbaus von neuen Elementen ohne Unterschnitt bzw. Aufschüttung)
Ggf. aufschütten eines Untergrundes mit ausreichend Freiraum zum Einhängen der neuen Ausbauelemente	Ausfall Ladewerkzeuge Abtransport des gelösten Salzes nicht möglich	Regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Rückholtechnik Einhaltung von Ablaufplänen (Verhinderung des Einbaus von neuen Elementen ohne Unterschnitt bzw. Aufschüttung)
Nach Einhängen der Ausbauelemente, verfüllen des Hohlraums unterhalb des Ausbauelementes durch: siehe folgende Zeilen	Ausfall Injektionstechnik Verstopfen der Leitungen und Auslässe in den Ausbauelementen	Regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Verfülltechnik Ausblasen/Spülen aller Leitungen nach dem Verfüllen Kontrolle der Auslässe an den Ausbauelementen vor dem Einbau (ggf. Schutzmembran)
Verblasen des Hohlraums mit Baustoff oder Salzgrus über Öffnungen im Sohlenbereich der Ausbauelemente	Ausfall Blastechnik Verstopfen der Leitungen bzw. Auslässe in den Ausbauelementen	Reinigung der Blastechnik nach Verwendung
Alternativ: Zuschaufeln mit Salzgrus über Manipulator		

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
17) Einbringen/Montage von Ausbauelementen		
Einfördern der Ausbauelemente über GGS und konventionelle Transportstrecke auf Plateauwagen (PW) bis in die Teilfläche, hier am Beispiel gleisgeführtes Flurförderfahrzeug	Ausfall des Antriebs Gleise verschmutzt Ausfall Bremssystem Blockieren des Drehkranzes auf dem Plateauwagen	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) „Abschleppen“ des Flurförderfahrzeugs Reinigungswagen Bürsten- /Reinigungssystem am Flurförderfahrzeug Staubdichter Drehkranz auf dem Plateauwagen
Einschleusen der Ausbauelemente aus GGS *(siehe Schrittfolgeplan „Komponentenabfertigung in der Großgeräteschleuse“)*		
Verfahren der Ausbauelemente bis in die Basisstrecke vor Drehweiche	Ausfall des Antriebs Gleise verschmutzt Abrutschen des Ausbauelementes vom Transportfahrzeug	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) „Abschleppen“ des Flurförderfahrzeugs Reinigungswagen Bürsten- /Reinigungssystem am Flurförderfahrzeug Halterung des Ausbauelementes muss ausreichend stark dimensioniert sein

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Positionierung der Drehweiche in Richtung Basisstrecke	Drehweiche defekt Fehlpositionierung	Positionserfassung und –überwachung Regelmäßige Wartung und Instandhaltungsmaßnahmen an der Weiche
Verfahren des PW1 (Plateauwagen 1) auf Drehweiche bis Puffer	Ausfall des Antriebs Entgleisen des PW1 beim Auffahren auf die Drehweiche	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme)
Positionierung der Drehweiche Richtung Schienenführung TF	Drehweiche defekt	Positionserfassung und - überwachung Regelmäßige Wartung und Instandhaltungsmaßnahmen an der Weiche
Verfahren des PW1 in die TF (PW2 (Plateauwagen 2) bis vor die Drehweiche)	Ausfall des Antriebs Entgleisen des PW1 beim Abfahren von der Drehweiche	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) Verriegelung der Drehweiche in der Endposition Regelmäßige Kontrolle des Gleisüberganges auf Defekte
Positionierung der Drehweiche in Richtung Basisstrecke	Ausfall des Antriebs Fehlpositionierung	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) Positionserfassung und -überwachung

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Verfahren des PW2 auf Drehweiche bis Puffer	Ausfall des Antriebs Entgleisen des PW2 beim Auffahren auf die Drehweiche	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) Verriegelung der Drehweiche in der Endposition Regelmäßige Kontrolle des Gleisüberganges auf Defekte
Positionierung der Drehweiche Richtung TF	Drehweiche defekt Fehlpositionierung	Positionserfassung und -überwachung Regelmäßige Wartung und Instandhaltungsmaßnahmen an der Weiche
Verfahren des PW2 in die TF	Ausfall des Antriebs Entgleisen des PW2 beim Abfahren von der Drehweiche	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) Verriegelung der Drehweiche in der Endposition Regelmäßige Kontrolle des Gleisüberganges auf Defekte
Verfahren der Ausbauelemente zur Ortsbrust (PW1 + PW2)	Ausfall des Antriebs	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme)
Aufnahme eines Ausbauelements über Elementgreifer mit Manipulator	Fehlpositionierung	Positionsüberwachung / visuelle Kontrolle

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
	Ausfall des Auslegerantriebs	Redundante Überwachung der Auslegerposition (visuell, Endschalter) Redundante Auslegung des Antriebs
Positionierung des Ausbauelements	Fehlpositionierung Instabile Sohlenverhältnisse Schiefstellung des Ausbauelementes	Positionsüberwachung / visuelle Kontrolle Kontrolle der Position des Ausbauelements in der Teilfläche per Wasserwage oder Lasermessung Ggf. vor dem Einbau des Sohlenelementes Einbau einer Ausgleichsschicht aus Salz oder Baustoff Nach Einhaken des Elementes verpressen des Bereiches um das Ausbauelement herum Belastungstest des neuen TF Ausbauelements per Manipulator (Drucktest)
Einhaken des Ausbauelements	Einhaken nicht möglich Keine ausreichende Baufreiheit um die Teilfläche vorhanden	Bereich um den neuen Ausbaubereich notfalls vor dem Einbau nachschneiden (ausreichende Baufreiheit besorgen) Freiblasen der Ösen vor dem Einsetzen der neuen Ausbauelemente
Wiederholung der Schritte und Aufbau von unten nach oben	Ausbauelement passt nicht	Siehe vorherige Zeilen

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
	Ausbauelement beschädigt	
Verbinden der Teilflächenelemente mit Baustoff	Baustoff quillt in Lüftungsschlitze Baustoff verteilt sich nicht vollumfänglich Leckage durch Beschädigung eines Elementes (Baustoff fließt in TF oder ELK) Platzen von Versorgungsschläuchen oder defekte Packer	Lüftungsschlitze untereinander abdichten (z. B. Gummilippe) Regelmäßiger Wechsel der verwendeten Injektions-/ Verpressmaterialien Ggf. anderes Verbindungsmittel als Baustoff verwenden (Harze oder Bauschaum statt Mörtel)
18) Generelle Punkte während der aufgeführten Arbeitsschritte		
Belüftung/ Bewetterung		
Reinigung der Belüftungskanäle und Bewetterungsanlagen	Lüftungskanäle in den TF-Elementen sind verstopft Filterelemente der Absauganlagen verstopft	Regelmäßiges Reinigen der Lüftungskanäle mittels z. B. Rohrfräse oder Spirale Alternativ Druckluftkanonen in den Lüftungskanälen Regelmäßiges Reinigen und Austauschen der Staubfilter in den Absauganlagen Entstaubung möglichst in einem geschlossenen

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		System in einen Bigbag oder IB, Wechsel möglichst ohne Personaleinsatz
Verfahren/Nachziehen der Energieversorgung in der Teilfläche		
Versetzen der Energieversorgung in der Teilfläche	EHB oder sohlenbasierter Energiezug ist durch Einbauten oder Material in der Teilfläche blockiert Fahrantrieb blockiert Versorgungsleitungen nicht getrennt	Fahrbereich des Energiezuges nicht mit Material oder Einbauten blockieren Regelmäßige Kontrolle der Fahrbereitschaft Kabelführung ordentlich herstellen, vor dem Umsetzen ordnungsgemäßes Abschlagen und Verlegen der Kabel nach Stromlossetzung der Anlage
Umsetzen der Rückholtechnik		
Zurückfahren der Rückholtechnik in die Endstellung in der Basisstrecke	Ausfall der Fahrantriebe Ausfall Energieversorgung Beschädigung von Ausbauelementen während des Zurückfahrens	Gewährleistung eines freien Durchgangs nach Abschluss der Teilfläche Verfahren der Rückholtechnik nur in der „Null-/ Ausgangsstellung“ Langsames Verfahren mit Beachtung von eingebauten Versorgungsleitungen
Abbau der Rückholtechnik	Gegenseitiges Blockieren der Demontagegewerke mit der Teilflächenabdichtung/-verfüllung	Klare Planung aller Arbeiten im Vorhinein Einhaltung von Ablaufplänen

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
	Absturz von nicht gesicherten EHB Einheiten oder Teilen der Rückholtechnik	Sicherung aller Teile, welche bei der Montage/ Demontage einer Absturzgefahr unterliegen
Versetzen der kompletten Energieversorgung in der TF und Basisstrecke	Ausfall der Hydraulik Ausfall von Überwachungseinrichtungen Manipulatoreinrichtung ist nicht mehr selbstständig verfahrbar	Kurzzeitige Versorgung der Hydraulik/ Rückholtechnik über Akkupack (für Hydraulik) Konstruktive Absicherung (Rückschlagventile) gegen plötzlichen Verlust von Hydraulikdruck aufgrund von stromlosen Pumpen
Verfüllung der rückgeholten Teilfläche		
Einbau des Abdichtungsbauwerkes	Antransport des Materials nicht möglich Gegenseitiges Blockieren bei parallelem Umsetzen der Rückholtechnik Fixierung des Abdichtungsbauwerkes in den Ausbauelementen nicht möglich	Lagerung von Material möglichst in der Basistrecke Koordinierung der Arbeiten mit denen der Rückholtechnikumsetzung Fixierpunkte des Abdichtungsbauwerkes möglichst bereits in den ersten Ausbauelementen der Teilfläche
Verfüllen der Teilfläche	Baustoff kann nicht vor Ort bereitgestellt werden Verfüllleitungen verstopfen Abdichtungsbauwerk schließt nicht dicht	Abdichtungsbauwerk sowie alle Verfülleitungen gegen Austritt von Baustoff abdichten

Schrittfolgeplan (TFO-MA)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
		Verfülleitungen vor und nach dem Einsatz reinigen. Bei Defekt austauschen und Drucktest vorher durchführen Baustoff möglichst vor Ort fertig anliefern, lange Pumpstrecken vermeiden
Ausfall/Defekt des Hydraulikaggregates der Rückholtechnik	Plötzlicher Stabilitätsverlust der Rückholtechnik (Absinken des Manipulators) Funktionslosigkeit der Anbaugeräte Beschädigungen an Anbaugeräten durch zu geringen Druck	Rechtzeitiges Abschalten bei Druckverlust Ausreichend dimensionierter Hydrauliktank Redundantes Pumpensystem und Rückschlagventile Systemaufbau so konstruieren, dass es schnell zugänglich ist
Vermessungsarbeiten an der Teilfläche	Ungenauer Einbau von Ausbauelementen Falscher Richtungsverlauf von Teilflächen Auslassen von ELK Teilen/nicht mehr erreichbare Kammerteile Defekte in den Ausbauelementen durch geotechnische Einflüsse von außen	Regelmäßige Vermessung der Teilflächen Eingebaute Messpunkte in den Ausbauelementen Regelmäßiges Nachmessen bereits beim Einbau neuer Ausbauelemente Einsatz von Dehnungsmessstreifen, Konvergenzmesspunkten, seismischer Überwachungstechnik

M 2 Schrittfolgeplan Behälterabfertigung in der VPS

Tab. 60: Schrittfolgeplan (Behälterabfertigung in der VPS) und Ableitung techn. Anforderungen an Arbeitsschritte

Schrittfolgeplan (Behälterabfertigung in der VPS)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Anmerkung: Verschiedene Schritte werden ggf. mehrfach wiederholt. Die Darstellung entspricht einem vereinfachten Ablauf, bei dem die Schritte nur je einmal stattfinden.		
Ausschleusen einer mit Salzgrus oder Gebinden befüllten Umverpackung auf Flurförderfahrzeug (Beginn am Übergabepunkt)	Defekt eines Schleusentores Gegenseitige Verriegelung der Tore funktioniert nicht	Manuelle Notentriegelung Sicherheitstechnische Überwachung der gegenseitigen Verriegelung der Tore untereinander
Beladevorrichtung der VPS schließen	Schließzylinder defekt	Interventionsmöglichkeit der Beladevorrichtung von der Schleuse aus gegeben Schließzylinder austauschen o. ä. Maßnahmen zur einfachen Instandsetzung
Abdocken des Innendeckels	Innendeckel verklemmt Fehlpositionierung des Innendeckels	Interventionsmöglichkeit der Beladevorrichtung von der Schleuse aus gegeben Manuelle Notentriegelung o. ä. Maßnahmen zur einfachen Instandsetzung Visuelle Überwachung der Lage des Innendeckels

Schrittfolgeplan (Behälterabfertigung in der VPS)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Abdocken der Umverpackung mittels Hubvorrichtung	Hubwerk VPS defekt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Manuelle Notabsenkfunktion Interventionsmöglichkeit der Beladevorrichtung von der Schleuse aus gegeben
Umverpackung aus VPS in Verdeckelungsstation fahren	Fahrantrieb VPS defekt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe (z. B. Überdimensionierung, Fail-Safe-Prinzipien) Interventionsmöglichkeit von der Schleuse aus gegeben
Außendeckel der Umverpackung auflegen	Fehlpositionierung des Außendeckels der Umverpackung	Manuelle Notentriegelung o. ä. Maßnahmen zur einfachen Instandsetzung Interventionsmöglichkeit von der Schleuse aus gegeben Visuelle Überwachung der Lage des Außendeckels
Bei zusammenhängender Schleuse (i. d. R. ELK-naher Übergabepunkt) weiter mit „Zusammenhängende Schleuse“, s.u. Bei aufgeteilten Schleusenbereichen (i. d. R. ELK-ferner Übergabepunkt) weiter mit „Aufgeteilte Schleusenbereiche“, s.u.		
Zusammenhängende Schleuse:		

Schrittfolgeplan (Behälterabfertigung in der VPS)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Umverpackung aus Verdeckelungsstation in Arbeitsbereich fahren	Fahrantrieb Verdeckelungsstation defekt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe (z. B. Überdimensionierung, Fail-Safe-Prinzipien) Interventionsmöglichkeit von der Schleuse aus gegeben
Abfertigungsreihenfolge der Umverpackung im Arbeitsbereich (Drehtisch): ODL-Messung, Deckel qualifiziert verschrauben, Oberflächenkontaminationsmessung, Massenbestimmung	Fahrantrieb Schleusenbereich defekt Drehantrieb Drehtisch defekt Messeinrichtungen defekt Schraubwerkzeug defekt Signifikant erhöhte Kontamination/Dosisleistung im Arbeitsbereich	Robuste Auslegung der Fahrantriebe (z. B. Überdimensionierung, Fail-Safe-Prinzipien) Vorhaltung von Reservewerkzeug und -messmitteln Überwachung der Aerosolkonzentration im Arbeitsbereich der Schleuse mit vordefinierten Schwellwerten Überwachung der Ortsdosisleistung im Arbeitsbereich der Schleuse Strahlenschutzausrüstung des Personals bei Arbeiten im Arbeitsbereich der Schleuse Organisatorische Maßnahmen (z. B. Verwendung von mobilen Abschirmungen)
Dekontamination der Außenflächen der Umverpackung im Arbeitsbereich (ggf.)		
Abfertigung der Umverpackung (Oberflächenkontaminationsmessung) im Arbeitsbereich und Freigabe für den innerbetrieblichen Transport	Messeinrichtungen defekt	Vorhaltung von Reservemessmitteln

Schrittfolgeplan (Behälterabfertigung in der VPS)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Ausschleusen der Umverpackung	Fahrantrieb Schleusenbereich defekt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe (z. B. Überdimensionierung, Fail-Safe-Prinzipien) Interventionsmöglichkeit von der Schleuse aus gegeben
Aufgeteilte Schleusenbereiche (Verdeckelungsbereich getrennt von sonstiger Abfertigung der Umverpackung, zwischen den Bereichen ist ein Transport notwendig)		
Außendeckel auf Umverpackung in Verdeckelungsstation auflegen und extern mittels Verschraubungsroboter hinter Verdeckelungsstation qualifiziert verschrauben (ggf. kann auch bereits innerhalb der Verdeckelungsstation qualifiziert verschraubt werden)	Verschraubungseinheit defekt	Interventionsmöglichkeit von der Schleuse aus gegeben
Umschlagen der qualifiziert verdeckelten Umverpackung auf Flurförderfahrzeug	Hubwerk defekt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks
Transport der qualifiziert verdeckelten Umverpackung über Strecke (bis zu mehrere Hundert Meter) bis zum Arbeitsbereich der Schleuse	Ausfall des Antriebs	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme)

Schrittfolgeplan (Behälterabfertigung in der VPS)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
(zweiter Teil der Schleuse) z. B. mittels Flurförderfahrzeug		„Abschleppen“ des Flurförderfahrzeugs
Umschlagen der qualifiziert verdeckelten Umverpackung von Flurförderfahrzeug	Hubwerk defekt	Fail-Safe-Auslegung und Überwachung der Hubwerksfunktionen Ggf. Notantrieb oder vollständig redundante Ausführung des Hubwerks
Abfertigung der Umverpackung im Arbeitsbereich Abfertigungsreihenfolge der Umverpackung im Arbeitsbereich (Drehtisch): ODL-Messung, Oberflächenkontaminationsmessung, Massenbestimmung	Fahrantrieb des Schleusenbereichs defekt Drehantrieb Drehtisch defekt Messeinrichtungen defekt Schraubwerkzeug defekt Signifikant erhöhte Kontamination/Dosisleistung im Arbeitsbereich	Robuste Auslegung der Fahrantriebe (z. B. Überdimensionierung, Fail-Safe-Prinzipien) Vorhaltung von Reservewerkzeug und -messmitteln Überwachung der Aerosolkonzentration im Arbeitsbereich der Schleuse mit vordefinierten Schwellwerten Überwachung der Ortsdosisleistung im Arbeitsbereich der Schleuse Strahlenschutzausrüstung des Personals bei Arbeiten im Arbeitsbereich der Schleuse Organisatorische Maßnahmen (z. B. Verwendung von mobilen Abschirmungen)
Dekontamination der Außenflächen der Umverpackung im Arbeitsbereich (ggf.)		

Schrittfolgeplan (Behälterabfertigung in der VPS)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Abfertigung der Umverpackung (Oberflächenkontaminationsmessung) im Arbeitsbereich und Freigabe für den innerbetrieblichen Transport	Messeinrichtungen defekt	Vorhaltung von Reservemessmitteln
Ausschleusen der Umverpackung	Schleusentore defekt Gegenseitige Verriegelung der Tore funktioniert nicht Flurgeführtes Fahrzeug zum Abtransport defekt	Manuelle Notentriegelung Sicherheitstechnische Überwachung der gegenseitigen Verriegelung der Tore untereinander Vorhaltung von Reservefahrzeugen (außerhalb der Schleuse)

M 3 Schrittfolgeplan Komponentenabfertigung in der GGS

Tab. 61: Schrittfolgeplan (Komponentenabfertigung in der Großgeräteschleuse) und Ableitung technischer Anforderungen an Arbeitsschritte

Schrittfolgeplan (Komponentenabfertigung in der Großgeräteschleuse)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Anmerkung: Die Abläufe für das Einschleusen finden in umgekehrter Reihenfolge zum Ausschleusen statt mit Ausnahme der „Abfertigung der Komponente“ sowie „Dekontamionation der Komponente“, s.u. Verschiedene Schritte werden ggf. mehrfach wiederholt. Die Darstellung entspricht einem vereinfachten Ablauf, bei dem die Schritte nur je einmal stattfinden.		
Ausschleusen einer Komponente über die Großgeräteschleuse	Defekt eines Schleusentores Gegenseitige Verriegelung der Tore funktioniert nicht	Manuelle Notentriegelung Sicherheitstechnische Überwachung der gegenseitigen Verriegelung der Tore untereinander
Transport der Komponente mit Flurförderfahrzeug über konventionelle Transportstrecke (ggf. mit Gefälle bei oberer Rückholebene)	Ausfall des Antriebs	Konstruktive Auslegung des Antriebssystems (z. B. durch redundante Antriebe, Speichersysteme) „Abschleppen“ des Flurförderfahrzeugs
Öffnen des Schleusentores 3	Schleusentor defekt Gegenseitige Verriegelung der Tore funktioniert nicht	Manuelle Notentriegelung Sicherheitstechnische Überwachung der gegenseitigen Verriegelung der Tore untereinander

Schrittfolgeplan (Komponentenabfertigung in der Großgeräteschleuse)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Einfahren des Flurförderfahrzeugs mit der Komponente in den Schleusbereich B	Fahrantrieb defekt Kontaminationsverschleppung in den Schleusbereich	Robuste Auslegung der Fahrantriebe (z. B. Überdimensionierung, Fail-Safe-Prinzipien) Interventionsmöglichkeit von der Schleuse aus gegeben Abkleben der Fahrbereiche im Schleusbereich mit Vinylfolie
Schließen des Schleusentores 3	Schleusentor defekt Gegenseitige Verriegelung der Tore funktioniert nicht	Manuelle Notentriegelung Sicherheitstechnische Überwachung der gegenseitigen Verriegelung der Tore untereinander
Öffnen des Schleusentores 4 zur Heißen Werkstatt	Schleusentor defekt Gegenseitige Verriegelung der Tore funktioniert nicht	Manuelle Notentriegelung Sicherheitstechnische Überwachung der gegenseitigen Verriegelung der Tore untereinander
Einfahren des Flurförderfahrzeugs mit der Komponente in die Heiße Werkstatt	Fahrantrieb defekt Kontaminationsverschleppung in die Heiße Werkstatt	Robuste Auslegung der Fahrantriebe (z. B. Überdimensionierung, Fail-Safe-Prinzipien) Interventionsmöglichkeit von der Schleuse aus gegeben Abkleben der Fahrbereiche in der Heißen Werkstatt mit Vinylfolie
Schließen des Schleusentores 4	Schleusentor defekt Gegenseitige Verriegelung der Tore funktioniert nicht	Manuelle Notentriegelung Sicherheitstechnische Überwachung der gegenseitigen Verriegelung der Tore untereinander

Schrittfolgeplan (Komponentenabfertigung in der Großgeräteschleuse)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Parken und ggf. Entladen des Flurförderfahrzeugs mit Komponenten	Lasthebemittel defekt (für Entladen)	Auslegung und Überwachung des Lasthebemittels
Abfertigung der Komponente: ODL-Messung, Oberflächenkontamination-messung	Messeinrichtungen defekt Ungewolltes Öffnen des Schleusentores	Vorhaltung von Reserve-messmitteln Steuerungstechnische Verriegelung und Überwachung des Tores Strahlenschutzausrüstung des Personals bei Arbeiten in der Heißen Werkstatt
Dekontamination der Komponente (ggf.) und radiologische Freigabe für den innerbetrieblichen Transport	Ungewolltes Öffnen des Schleusentores	Steuerungstechnische Verriegelung und Überwachung des Tores Strahlenschutzausrüstung des Personals bei Arbeiten in der Heißen Werkstatt
Ggf. Demontage von Großkomponenten in Einzelkomponenten und Verpacken dieser	Hebemittel defekt Werkzeug defekt Ungewolltes Öffnen des Schleusentores	Auslegung und Überwachung des Hebemittels Vorhalten von Reservewerkzeug Steuerungstechnische Verriegelung und Überwachung des Tores Strahlenschutzausrüstung des Personals bei Arbeiten in der Heißen Werkstatt
Ggf. Umschlagen der verpackten Einzelkomponenten auf (kontaminationsfreies) Flurförderfahrzeug zum Ausschleusen	Hebemittel defekt	Auslegung und Überwachung des Hebemittels

Schrittfolgeplan (Komponentenabfertigung in der Großgeräteschleuse)	Mögliche Störungen	Techn. Anforderung an Arbeitsschritt (zur Beherrschung von Störungen)
Ausschleusen der verpackten Einzelkomponenten	Schleusentore defekt Gegenseitige Verriegelung der Tore funktioniert nicht Flurgeführtes Fahrzeug zum Abtransport defekt	Manuelle Notentriegelung Sicherheitstechnische Überwachung der gegenseitigen Verriegelung der Tore untereinander Strahlenschutzausrüstung des Personals bei Arbeiten in der Großgeräteschleuse Vorhaltung von Reservefahrzeugen (außerhalb der Heißen Werkstatt)

Anhang N Strahlenexposition

N 1 Strahlenexposition des Personals

In einem ersten Schritt sollen die Betrachtungen dazu dienen, einen Überblick über die dosisrelevanten Nuklide zu erhalten (vgl. Tab. 62). Dazu erfolgt eine exemplarische Berechnung der Dosisleistung anhand des Modells eines 200-l-Fasses nach folgendem Vorgehen und mit den genannten Parametern:

- Nuklidspezifische Gesamtaktivität aus der Datenbank Assekat wurde auf alle eingelagerten Gebinde gleichverteilt.
- Berechnung der Kontakt-Dosisleistung eines 200-l-Fasses.
- Die Aktivität befindet sich in einer Betonmatrix homogen verteilt im 200-l-Fass mit der mittleren Dichte 1 g/cm³.
- Als Abschirmung wird der Fassmantel sowie die Blechabschirmung des Innenbehälters und des Konradcontainers insgesamt mit 6,5 mm berücksichtigt.
- Ggf. in den IB eingeladener Salzgrus, der eine zusätzliche abschirmende Wirkung hat, wird nicht berücksichtigt.
- Für die folgenden Betrachtungen werden die nuklidspezifischen Aktivität aus der Datenbank Assekat mit Bezugsdatum 01.01.2030 verwendet.
- Bzgl. der Anzahl der in einen Innenbehälter eingeladenen Fässer entsprechend Behälterkonzept (7 Stück 200-l-Fässer) erfolgt später eine Summation der Einzeldosen.

Tab. 62: Übersicht über dosisbestimmende Nuklide der äußeren Strahlenexposition des Personals bei der Behälterabfertigung (Dosisleistung je Einzelgebinde in einer Umverpackung)

Nuklid	Ges. Akt. [Bq]	Mittlere Akt. je Geb. [Bq]	Kontakt-DL [mSv/h]	Anteil [%]
Cs-137	1,76E+14	1,42E+09	4,09E-01	98,68%
Co-60	3,41E+11	2,74E+06	3,51E-03	0,85%
Eu-154	3,75E+11	3,01E+06	1,96E-03	0,47%
Am-241	2,25E+14	1,81E+09	2,60E-06	0,00%
Kr-85	3,19E+11	2,56E+06	2,28E-06	0,00%
Ra-226	2,42E+11	1,94E+06	1,86E-06	0,00%
Pu-239	3,91E+13	3,14E+08	6,28E-07	0,00%
Th-228	3,15E+11	2,53E+06	3,69E-07	0,00%
U-234	1,69E+12	1,36E+07	3,30E-08	0,00%
Th-230	1,47E+11	1,18E+06	1,75E-08	0,00%
Th-232	3,15E+11	2,53E+06	7,39E-09	0,00%
Pu-241	5,50E+14	4,42E+09	0,00E+00	0,00%

Lediglich die drei Nuklide Cs-137, Co-60 und Eu-154 tragen zur Ortsdosisleistung und damit zur äußeren Strahlenexposition des Personals bei der Behälterabfertigung relevant bei, die übrigen Nuklide liefern keinen relevanten Dosisbeitrag. Mit größer werdendem Abstand wird die Dosisleistung geringer, dies ist in Tab. 63 dargestellt.

Tab. 63: Dosisbestimmende Nuklide der äußeren Strahlenexposition des Personals bei der Behälterabfertigung in verschiedenen Abständen (Dosisleistung je Einzelgebinde in einer Umverpackung)

	Mittlere DL je Gebinde [mSv/h]			
Abstand	**Kontakt**	**1 m**	**2 m**	**3 m**
Cs-137	4,09E-01	3,26E-02	1,05E-02	5,05E-03
Co-60	3,51E-03	2,70E-04	8,70E-05	4,22E-05
Eu-154	1,96E-03	1,52E-04	4,9E-05	2,37E-05
Summe	4,15E-01	3,30E-02	1,02E-02	5,12E-03

Für eine rechnerische Abschätzung der Kollektivdosis sowie maximaler Individualdosen bei der Behälterabfertigung von rückgeholten Gebinden unterschiedlicher Einlagerungskammern werden die notwendigen Arbeitsschritte folgend definiert. Die Arbeitsschritte (AS) zur Behälterabfertigung sind teilweise als automatisiert angenommen, es sind jedoch auch manuelle Arbeitsvorgänge erforderlich. Für die Abschätzung der Strahlenexposition bei der Behälterabfertigung sind die einzelnen Arbeitsschritte sowie deren Dauern und die Anzahl an benötigten Personen zu definieren, dies ist in der folgenden Tab. 64 dargestellt. Die Dauern der Arbeitsschritte sowie der Abstand zur UVP (als Quelle) wurden auf Basis von Erfahrungen konservativ abgeschätzt. Für die Arbeitsschritte (AS) mit Personalbeteiligung erfolgt im Folgenden eine rechnerische Abschätzung der Kollektivdosis.

Tab. 64: Defintion von Arbeitsschritten, Personenanzahlen, Dauern und Abständen bei der Behälterabfertigung

Arbeitsschritt (AS)	Anzahl Personal	Dauer AS [min]	Abstand bei AS [m]
Nahtätigkeiten (ggf. auch Nachziehen der Verschraubung)	1	10	1
ODL-Messungen an UVP	1	30	2
Wischtestnahme an UVP	1	30	1
Umschlagen UVP	4	10	3
Transport UVP im Grubengebäude	2	60	3
Summe		140	

Für die Berechnung mit MicroShield wurden zwei unterschiedliche Fälle betrachtet:

- 200-l-Fass (homogene Quelle, Betonmatrix mit mittlerer Dichte 1 g/cm³) in IB und Container (insgesamt 6,5 mm Blechstärke) und später Summation der Einzeldosen entsprechend Behälterkonzept (7 Stück 200-l-Fässer),
- 200-l-Fass (homogene Quelle, Betonmatrix mit mittlerer Dichte 1 g/cm³) in VBA mit 20 cm Betonstärke in IB mit Container (insgesamt 6,5 mm Blechstärke) und später Summation der Einzeldosen entsprechend Behälterkonzept (2 Stück VBA).

Es wurden die Dosiskonversionsfaktoren für beide Fälle in 1 m, 2 m und 3 m Abstand berechnet (siehe Tab. 65 und Tab. 66).

Tab. 65: Nuklidspezifische Dosiskonversionsfaktoren der dosisrelevanten Nuklide für den Fall 200-l-Fass in IB und Container für verschiedene Abstände

	Dosiskonversionsfaktoren [mSv/h/Bq]		
Abstand	**1 m**	**2 m**	**3 m**
Cs-137	2,30E-11	7,38E-12	3,57E-12
Co-60	9,85E-11	3,18E-11	1,54E-11
Eu-154	5,05E-11	1,63E-11	7,88E-12

Tab. 66: Nuklidspezifische Dosiskonversionsfaktoren der dosisrelevanten Nuklide für den Fall 200-l-Fass in VBA in IB und Container für verschiedene Abstände

	Dosiskonversionsfaktoren [mSv/h/Bq]		
Abstand	**1 m**	**2 m**	**3 m**
Cs-137	1,74E-12	6,52E-13	3,34E-13
Co-60	1,33E-11	4,97E-12	2,54E-12
Eu-154	6,18E-12	2,31E-12	1,18E-12

Im Kapitel 9.1.4.2 in Tab. 20 ist die kammerspezifische Bestimmung der Kollektivdosis sowie maximale Individualdosis bei 3-Schicht-Betrieb dargestellt. Zur Berechnung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Es wurden gebindespezifisch die chargengemittelten Inventare (Cs-137, Co-60, Eu-154) berücksichtigt.
- Weiterhin wurden die vorher definierten Arbeitsschritte, Dauern und Personeneinsätze sowie Abstände zur Umverpackung bei den Arbeitsschritten berücksichtigt.
- Alle Fasstypen wurden für die Dosisabschätzung wie 200-l-Fässer berücksichtigt.

- VBA wurden mit dem vorher genannten Ansatz separat berücksichtigt.
- Mögliche gegenseitige Abschirmungen mehrerer Fässer in einer Umverpackung wurden nicht berücksichtigt.
- Die Summation der Einzeldosen erfolgt entsprechend Behälterkonzept (7 Stück 200-l-Fässer bzw. 2 Stück VBA).

In Tab. 67 sind die Zeitdauern für die Rückholung der jeweiligen ELK dargestellt.

Tab. 67: Zeitdauern für die Rückholung der jeweiligen ELK inkl. aller verfahrensbedingter Nebentätigkeiten

ELK	Anzahl Gebinde	Abgeschätzte Dauer der Rückholung [a]
1/750	10933	3,2
2/750	7450	1,7
2/750 Na2	36900	12,9
4/750	6340	1,8
5/750	9561	7,4
6/750	7611	7,9
7/750	4356	6,7
8/750	11278	6,3
10/750	4664	5,1
11/750	9399	4,8
12/750	7464	3,0
7/725	8530	6,8

Für die kammerspezifische Bestimmung der Interventionsdosis wurden gebindespezifisch die chargengemittelten Inventare (Cs-137, Co-60, Eu-154) berücksichtigt und über alle Gebinde der betreffenden ELK gemittelt. Die Ergebnisse der Betrachtungen sind im Kapitel 9.1.4.2 in Tab. 22 für Fall 1 und in Tab. 23 für Fall 2 dargestellt. Des Weiteren wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Dauer der Einzelintervention wird jeweils mit 1 h angenommen sowie ein Personaleinsatz von 2 Personen.
- Alle Fasstypen werden für die Dosisabschätzung mit vorher beschriebenem Modell wie 200-l-Fässer berücksichtigt.
- VBA werden mit dem vorher genannten Modell separat berücksichtigt.
- Für beide Fälle werden zusätzliche Blechabschirmungen in Form von mobilen Abschirmungen für Interventionsmaßnahmen (können bedarfsweise aufgebaut werden), abschirmende Einbauten und Komponenten, sowie den ggf. vorhandenen IB, berücksichtigt.

N 2 Strahlenexposition der Bevölkerung

N 2.1 Ableitungsnuklidvektoren

Für die Berechnung der Strahlenexposition einer repräsentativen Person in der Umgebung der Anlage sind Ausbreitungsberechnungen gemäß § 100 Abs. 3 StrlSchV [28] durchzuführen, siehe Kapitel 9.1.4.3. Für die Durchführung von Berechnungen der Strahlenexposition der Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft sind Nuklidvektoren zu bestimmen, die eine hinreichend genaue Bestimmung der Strahlenexposition anhand einer begrenzten Anzahl von Nukliden erlauben und ELK-spezifische Betrachtungen durchführen lassen.

Nachfolgend wird eine Analyse der Inventare aller Einlagerungskammern vorgestellt, mit dem Ziel eine abdeckende Anzahl geeigneter Radionuklide zu ermitteln. Dabei war zu berücksichtigen, dass für die aufwändigen Berechnungen im Partikelmodell nur begrenzte Zeit zur Verfügung stand, jedoch zahlreiche Einflussgrößen zu untersuchen waren.

Um ein Maß für den Fehler infolge nicht berücksichtigter Nuklide zu gewinnen, wurde zunächst auf der Basis der Nuklidzusammensetzung des Gesamtinventars eine mögliche Abschneidegrenze untersucht. Dazu wurde das Vielfache der Einzelnuklidinventare herangezogen. Den Zusammenhang zwischen der Anzahl der berücksichtigten Nuklide und der Abschneidegrenze der Betrachtungen in Vielfachen des höchsten Einzelnuklidinventars zeigt die Abb. 207.

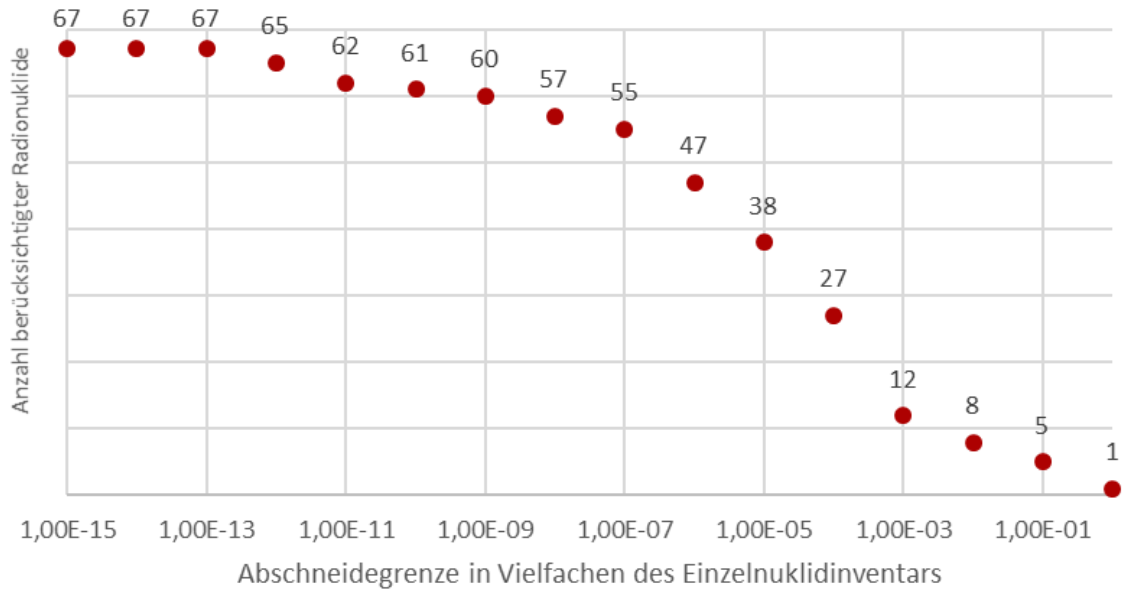


Abb. 207: Anzahl der berücksichtigten Nuklide und der Abschneidegrenze der Betrachtungen in Vielfachen des höchsten Einzelnuklidinventars

Nachfolgend ist in Tab. 68 beispielhaft aufgeführt, welche Radionuklide berücksichtigt werden, wenn eine Abschneidegrenze von 1E-2 (entsprechend 1%) und 1E-3 (entsprechend 1‰) zugrunde gelegt wird (rot markierte Felder in der Tabelle).

Tab. 68: Berücksichtigte Radionuklide (rot markiert) bei einer Abschneidegrenze von 1 % (linke Seite) und 1 ‰ (rechte Seite) des höchsten Einzelgebindeinventars

Berücksichtigte Radionuklide (rot markiert) bei einer Abschneidegrenze von 1% des höchsten Einzelgebindeinventars

Nuklid	Gesamtakt. [Bq]	Akt. pro Gebinde [Bq]
Pu-241	5,50E+14	4,42E+09
Am-241	2,25E+14	1,81E+09
Cs-137	1,76E+14	1,42E+09
Sr-90	9,10E+13	7,31E+08
Ni-63	6,00E+13	4,82E+08
Pu-238	5,17E+13	4,16E+08
Pu-240	4,33E+13	3,48E+08
Pu-239	3,91E+13	3,14E+08
C-14	2,40E+12	1,93E+07
Sm-151	2,26E+12	1,81E+07
U-234	1,69E+12	1,36E+07
U-238	1,57E+12	1,26E+07
Eu-154	3,75E+11	3,01E+06
Co-60	3,41E+11	2,74E+06
Kr-85	3,19E+11	2,56E+06

Berücksichtigte Radionuklide bei einer Abschneidegrenze von 1‰ des höchsten Einzelgebindeinventars

Die Berechnungen zur Abschätzung von Parametereinflüssen auf die Strahlenexposition wurden mit den so bestimmten 8 Radionukliden zuzüglich ausgewählter Einzelnuklide durchgeführt. Die Abdeckung für die einzelnen Einlagerungskammern zeigt Tab. 69, wo für die jeweilige ELK das Abschneidekriterium 1 % des höchsten Einzelinventars individuell markiert ist. Für die meisten Einlagerungskammern decken die gewählten 8 Nuklide auch die am meisten vorkommenden Radionuklide der jeweiligen ELK ab. Bei einigen Kammern liegt ein breiterer Nuklidvektor vor, der zusätzlich noch U-234 und U-238 besitzt. Auffällig ist die starke Verschiebung des Nuklidvektors der ELK 4/750, die allerdings aufgrund der hohen Anzahl von Nulleinträgen (siehe Kapitel 2.2 und [21]) nicht als repräsentativ anzusehen ist.

Tab. 69: Darstellung der zu berücksichtigen Radionuklide (rot markiert) im Nuklidvektor bei Anwendung der 1 %-Abschneidegrenze für die Einlagerungskammern der 725- und 750-m-Sohle in Bq

Nuklidaktivitäten am 01.01.2030													
ELK	HWZ (d)	1/750	2/750	2/750 Na2	4/750	5/750	6/750	7/750	8/750	10/750	11/750	12/750	7/725
Pu-241	5,24E+03	7,29E+13	8,37E+13	1,19E+13	1,47E+07	4,70E+13	5,01E+13	1,22E+14	1,88E+13	4,94E+11	5,93E+13	2,97E+13	6,57E+13
Am-241	1,58E+05	3,45E+13	3,86E+13	4,39E+12	9,32E+06	1,90E+13	1,85E+13	4,40E+13	7,58E+12	2,08E+11	2,38E+13	1,29E+13	2,60E+13
Cs-137	1,10E+04	2,47E+12	3,74E+12	2,31E+12	7,70E+09	8,22E+12	5,90E+13	5,67E+13	8,91E+11	1,06E+12	3,50E+13	6,67E+12	1,41E+12
Sr-90	1,05E+04	1,53E+12	4,72E+11	2,94E+11	2,15E+08	1,92E+12	3,34E+13	3,47E+13	2,69E+11	5,35E+11	1,24E+13	3,76E+12	6,39E+11
Ni-63	3,67E+04	8,84E+11	1,66E+12	3,42E+12	2,30E+10	8,38E+12	1,34E+13	3,70E+12	8,34E+11	4,91E+11	2,47E+13	2,92E+12	3,77E+11
Pu-238	3,20E+04	5,42E+12	5,16E+12	1,12E+12	1,57E+06	5,49E+12	1,81E+12	1,45E+13	2,29E+12	5,37E+10	5,95E+12	8,79E+11	8,79E+12
Pu-240	2,40E+06	5,89E+12	8,80E+12	8,34E+11	1,29E+06	3,32E+12	5,03E+12	7,86E+12	1,36E+12	3,77E+10	4,90E+12	3,96E+12	4,23E+12
Pu-239	8,80E+06	6,36E+12	8,64E+12	7,54E+11	5,82E+05	2,78E+12	3,72E+12	5,76E+12	1,42E+12	4,32E+10	4,79E+12	3,80E+12	3,28E+12
C-14	2,09E+06	4,50E+10	6,30E+10	3,83E+11	1,48E+09	2,40E+11	3,54E+11	1,54E+11	2,04E+11	3,85E+10	7,48E+11	1,47E+11	4,07E+10
Sm-151	3,29E+04	2,53E+10	1,11E+10	2,70E+09	0,00E+00	3,01E+10	1,08E+12	6,58E+11	6,81E+09	1,91E+10	2,50E+11	1,51E+11	8,19E+09
U-234	8,94E+07	3,26E+11	5,03E+09	2,61E+11	2,20E+11	1,13E+10	6,03E+09	6,76E+09	3,57E+11	1,59E+10	2,57E+10	1,57E+10	1,23E+11
U-238	1,64E+12	2,96E+11	3,89E+09	2,67E+11	2,06E+11	4,36E+09	4,81E+09	3,21E+09	3,49E+11	1,30E+10	1,44E+10	1,53E+10	1,01E+11
Eu-154	3,14E+03	3,09E+09	1,06E+09	8,58E+08	9,40E+05	8,31E+09	8,66E+10	1,98E+11	7,99E+08	7,80E+08	6,44E+10	5,14E+09	3,34E+09
Co-60	1,92E+03	2,37E+09	6,53E+09	1,52E+11	2,20E+07	1,54E+10	4,95E+10	2,24E+10	2,27E+09	1,50E+09	8,52E+10	6,29E+09	1,78E+09
Kr-85	3,93E+03	3,31E+02	7,88E+01	1,17E+02	0,00E+00	3,19E+03	1,01E+04	6,99E+04	2,56E+02	8,34E+01	2,41E+04	3,19E+11	1,55E+03

Bezogen auf die relativen Anteile ergibt sich folgendes Bild, siehe Tab. 70. Die Differenz der Spaltenwerte zu 100 % ergibt ein Maß des Fehlers der Berechnung. Dieser liegt außer bei ELK 4/750 unter 5 % bezogen auf die relativen Nuklidanteile. Unter Berücksichtigung von Dosiskoeffizienten und Expositionspfaden kann die Abweichung bezogen auf die Strahlenexposition größer sein.

Tab. 70: ELK-spezifische Darstellung der Nuklidanteile der relevantesten ELK spezifischen Nuklidvektoren (auf Grundlage der Anwendung der 1 %-Abschneidegrenze) mit Bezugsdatum 01.01.2030

ELK	1/750	2/750	2/750 Na2	4/750	5/750	6/750	7/750	8/750	10/750	11/750	12/750	7/725
Pu-241	5,57E-01	5,55E-01	4,51E-01	2,82E-05	4,87E-01	2,68E-01	4,19E-01	5,39E-01	1,60E-01	3,44E-01	4,53E-01	5,93E-01
Am-241	2,64E-01	2,56E-01	1,67E-01	1,79E-05	1,97E-01	9,93E-02	1,52E-01	2,17E-01	6,76E-02	1,38E-01	1,97E-01	2,34E-01
Cs-137	1,89E-02	2,48E-02	8,81E-02	1,48E-02	8,53E-02	3,16E-01	1,95E-01	2,55E-02	3,45E-01	2,03E-01	1,02E-01	1,27E-02
Sr-90	1,17E-02	3,13E-03	1,12E-02	4,12E-04	1,99E-02	1,79E-01	1,20E-01	7,69E-03	1,74E-01	7,21E-02	5,75E-02	5,77E-03
Ni-63	6,76E-03	1,10E-02	1,30E-01	4,41E-02	8,68E-02	7,17E-02	1,27E-02	2,39E-02	1,60E-01	1,44E-01	4,46E-02	3,41E-03
Pu-238	4,14E-02	3,42E-02	4,26E-02	3,01E-06	5,69E-02	9,68E-03	5,01E-02	6,57E-02	1,74E-02	3,45E-02	1,34E-02	7,93E-02
Pu-240	4,51E-02	5,83E-02	3,17E-02	2,48E-06	3,44E-02	2,69E-02	2,71E-02	3,89E-02	1,22E-02	2,84E-02	6,05E-02	3,82E-02
Pu-239	4,86E-02	5,73E-02	2,87E-02	1,12E-06	2,88E-02	1,99E-02	1,99E-02	4,06E-02	1,40E-02	2,78E-02	5,82E-02	2,96E-02

Die finalen Berechnungen der Strahlenexposition fußen auf einer Berücksichtigung von 47 Radionukliden entsprechend einer Abschneidegrenze von 1E-6 und umfassen die in Tab. 71 aufgeführten Radionuklide sowie die im Kapitel 2.2 diskutierten Edelgase Radon und Thoron. Außerdem wurde Pb-210, das weit verbreitet als Zerfallsprodukt des Rn-222 im Salz, z. B. Ablagerung in Klüften, auftreten kann, berücksichtigt. Separate Betrachtungen erfolgten außerdem für C-14, H-3 und Kr-85.

Tab. 71: Entsprechend einer Abschneidegrenze von 1E-6 definierte Liste an 47 Radionukliden, die zur Berechnungen der Strahlenexposition berücksichtigt wurden (rot markiert: Radionuklide bei einer Abschneidegrenze von 1%)

Berücksichtigte Nuklide				
Pu-241	U-238	H-3	Am-242m	Ac-227
Am-241	Eu-154	Pu-242	Eu-155	Pa-231
Cs-137	Co-60	Tc-99	Cl-36	U-232
Sr-90	Kr-85	U-235	Cm-243	
Ni-63	Th-228	Nb-94	Ba-133	
Pu-238	Th-232	Ni-59	Np-237	
Pu-240	Ra-228	Am-243	Sn-126	
Pu-239	Ra-226	U-236	Eu-152	
C-14	Cm-244	Ag-108m	Se-79	
Sm-151	Pb-210	Cd-113m	Cs-135	
U-234	Th-230	Zr-93	U-233	

N 2.2 Ausbreitungsberechnungen

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift Tätigkeiten (kurz: AVV Tätigkeiten) [67] legt die genaue Vorgehensweise bei der prospektiven Berechnung der Strahlenexposition der Einzelpersonen der Bevölkerung nach § 100 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) fest. Die Berechnungen wurden mit Go ARTM 2.0 [68] durchgeführt, das die vorgenannten Berechnungsvorschriften berücksichtigt. Die Auswertung erfolgte für alle Altersgruppen und Expositionspfade sowie an den ungünstigsten Einwirkstellen. Nachfolgend sind beispielhaft Expositionen für die in der Regel abdeckende Altersgruppe ≤ 1 a (die den Muttermilchpfad umfasst) sowie für die Altersgruppe > 17 a (Erwachsene) dargestellt.

Wesentliche Eingangsgrößen für die Modellierung der Umgebung waren:

- das digitale Geländemodell mit einer Ausdehnung: 20 x 20 km, horizontale Auflösung: 50 m, vertikale Auflösung: 1 m, Georef.: GK Zone 3 (siehe Abb. 208),
- die geplante Abfallbehandlung, die als geschlossener Quader mit den Abmessungen L x B x H: 254 x 225 x 20 m umgesetzt wurde (siehe Abb. 209),
- Schacht Asse 5 östlich von Remlingen 15 entsprechend „Plan zur Rückholung“ [54]; angenommene Höhe des Schachtförderturms: ca. 60 m, keine weiteren Nebengebäude an diesem Ort berücksichtigt; Ablufttrum 25 m Süd vom Förderturm Schacht Asse 5, angenommene Höhe: 75 m (siehe Abb. 210 und Abb. 211).

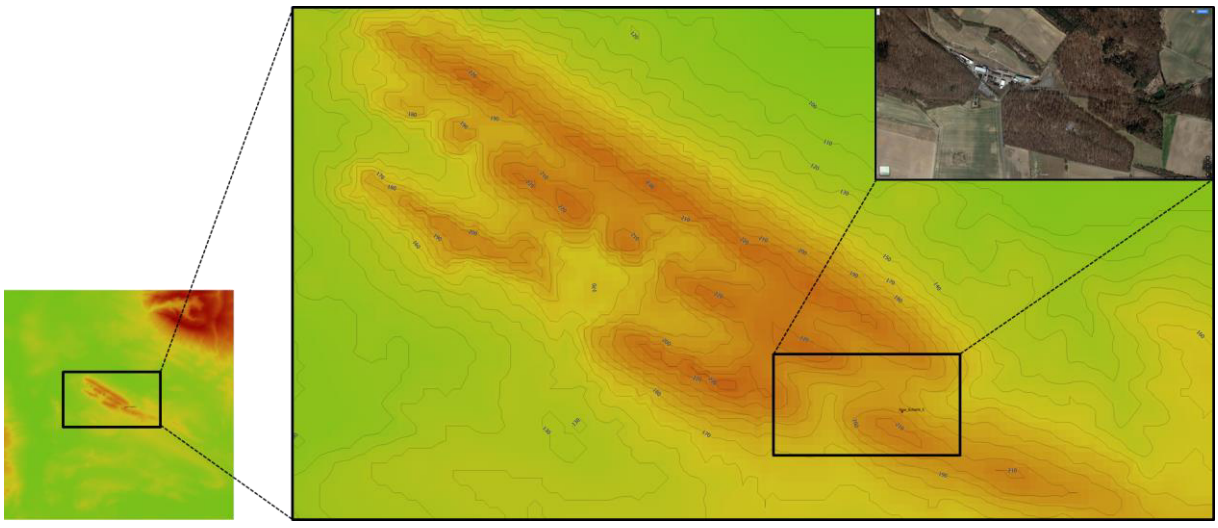


Abb. 208: Modellierung der Umgebung der Anlage

Abb. 209: Nach Rückholplan [54] vorgesehene Lage und ungefähre Abmessung der Abfallbehandlung

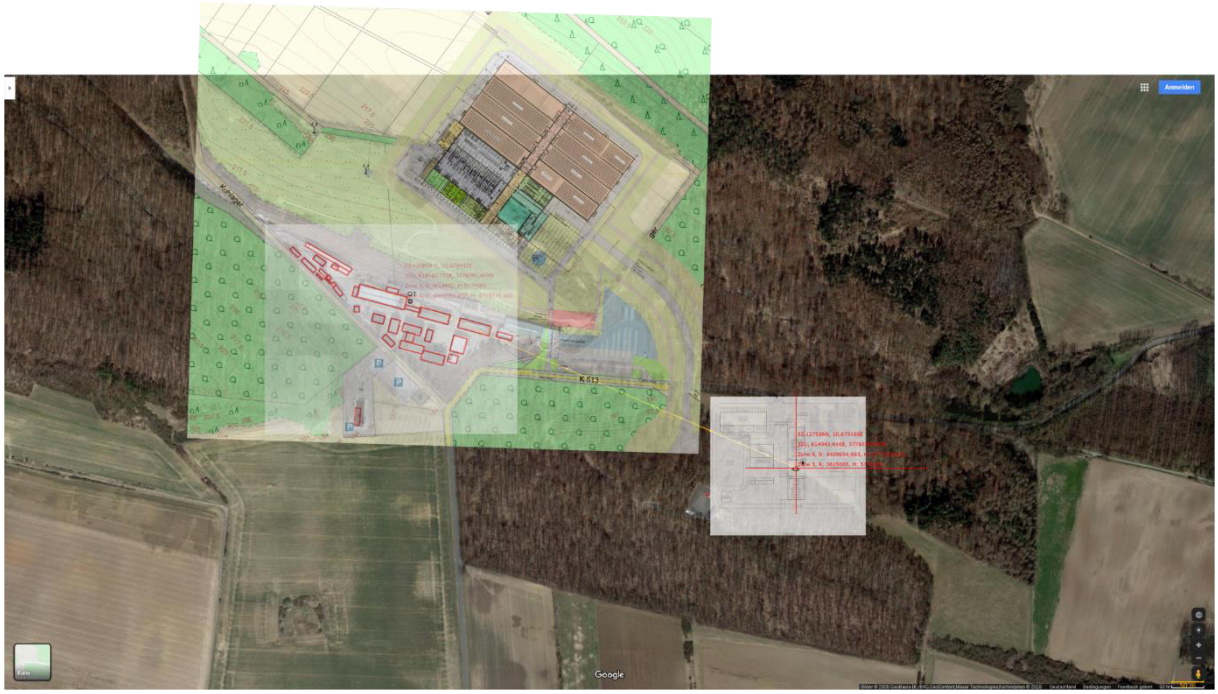


Abb. 210: Überlagertes Modell des Betriebsgeländes inkl. Zwischenlager und Schacht Asse 5 im Satellitenbild

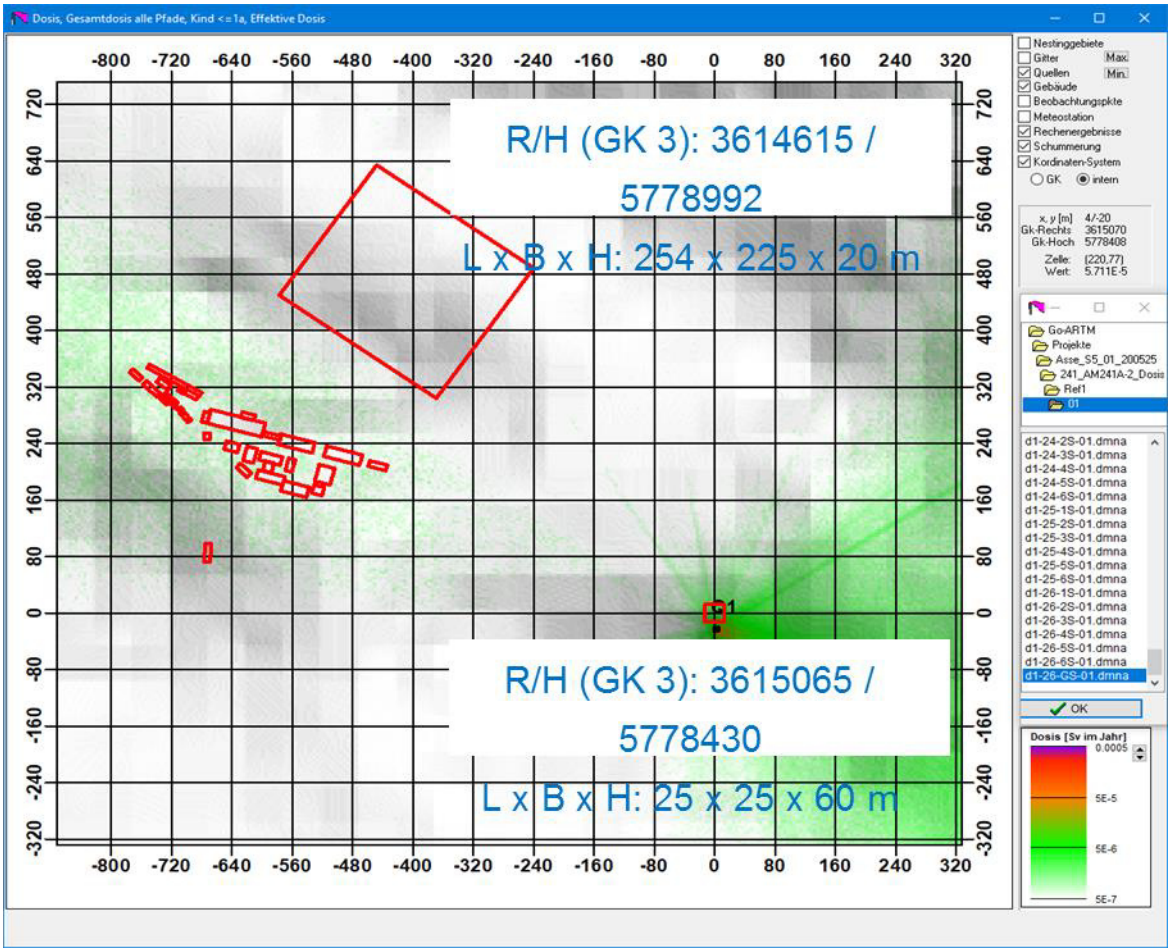


Abb. 211: Modellierung des Geländes und der Gebäude mit Go ARTM 2.0

Für die vorgenannte Orographie und für die Gebäude wurden zunächst Windfeldberechnungen durchgeführt. Anhand der berechneten Windfelder und der von BGE beispielhaft zur Verfügung gestellten Wetterdaten des Jahres 2017 wurden ortsaufgelöste Konzentrationen ermittelt. Die Rechenraster wurden teilweise automatisiert (siehe Abb. 212 für ein Beispiel), teilweise zur Verbesserung der Rechengüte manuell mit höherer Auflösung gewählt, wobei die Mindestanforderungen der AVV Tätigkeiten eingehalten werden. Zur Qualitätskontrolle wurden Vergleichsrechnungen der Ableitungen des Jahres 2017 betrachtet [69].

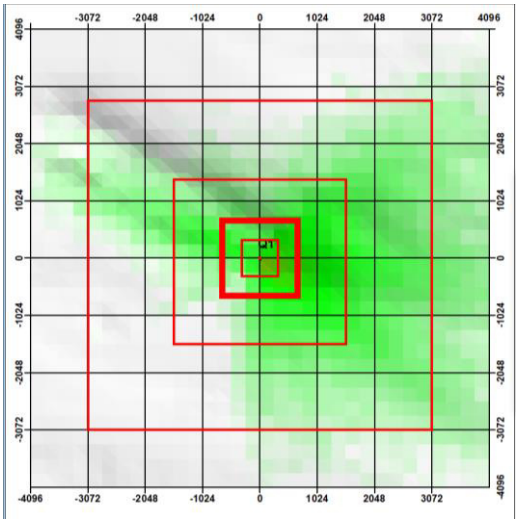


Abb. 212: Beispielhaftes Rechengitter in ARTM [68]

Als Betriebsgelände wurde ein Gelände mit einem Durchmesser von 55 m um das Ablufttrum (analog zum bisherigen Betriebsgelände) sowie zum Vergleich mit 100 m betrachtet.

Im Ergebnis der Berechnungen ist festzustellen, dass tendentiell die nasse Deposition dominiert und zu Maxima im Bereich des Zauns des Betriebsgeländes in südöstlicher Richtung (nordwestliche Winde) führt. Die trockene Deposition führt zu stärkeren Depositionen in nordwestlicher Richtung (südöstliche Winde).

Bei den Altersgruppen dominiert i. d. R. die Altersgruppe ≤ 1 a. Nachfolgend werden deshalb exemplarisch Berechnungsergebnisse für diese Altersgruppe und die Altersgruppe der Erwachsenen (> 17 a) ausgewiesen.

N 2.3 Ableitung von Sondernukliden

Eine Sonderrolle aufgrund ihres Auftretens in verschiedenen chemisch-physikalischen Formen sowie der mit deren Eigenschaften verbundenen speziellen Expositionsmodelle spielen die Radionuklide H-3 und C-14. Außerdem wird in diesem Kapitel das radioaktive Edelgas Kr-85 betrachtet.

Nennenswerte Inventare an eingelagerten Kr-85 befinden sich in lediglich 8 Gebinden in der ELK 12/750 mit insgesamt 3,2E+11 Bq. In allen übrigen Einlagerungskammern liegen die Inventare unter 1E+5 Bq. Der für den ungünstigsten Fall berechnete Dosisfaktor für kontinuierliche Ableitung beträgt für Kr-85 ca. 3,9E-22 Sv/Bq, woraus sich bei Ableitung des maximalen Inventars eine theoretische effektive Dosis von maximal ca. 2E-4 µSv ergibt. Für die übrigen Einlagerungskammern ist der Beitrag mehr als 6 Größenordnungen kleiner. Bei Kurzzeitableitung etwa durch Zerstörung eines der acht Gebinde mit 4E+10 Bq würden sich theoretische

Werte < 1 µSv ergeben. Aufgrund der geringen Relevanz sind weitergehende Betrachtungen verzichtbar.

Das Inventar an eingelagertem C-14 liegt außer für die ELK 4/750 in den Einlagerungskammern zwischen ca. 4E+10 bis maximal 3,5E+11 Bq, wobei die maximale Einlagerung in ELK 11/750 in Form von Graphitkugeln vorliegt. Die gemessene Ableitung von C-14 liegt rückläufig bei ca. 1E+9 Bq/a (10 % Ausschöpfung der genehmigten Ableitung). Wird von den Freisetzungsmöglichkeiten abgesehen, die aufgrund des physikalischen Zustands als eingeschränkt einzuschätzen sind, und wird eine kontinuierliche Freisetzung des gesamten Inventars angenommen, so wird mit dem ungünstigsten Dosisfaktor von 1,5E-17 Sv/Bq einen maximalen Beitrag zur eff. Dosis im Kalenderjahr von ca. 5 µSv erhalten. Wird berücksichtigt, dass weder das gesamte Inventar aller eingelagerten Gebinde noch das gesamte Inventar eines Gebindes im bestimmungsgemäßen Betrieb freigesetzt werden, liegt der Dosisbeitrag deutlich unterhalb von 1 µSv und kann im Rahmen der hier durchgeführten Betrachtungen vernachlässigt werden.

Die Einlagerungskammern 7, 6 und 11 besitzen gemäß Assekat mit 1,6E+10 bis 4,1E+10 Bq die größten eingelagerten H-3-Inventare zum Bezugszeitpunkt, vgl. Kapitel 2.2. Neuere Betrachtungen weisen jedoch auf höhere eingelagerte Tritium-Inventare bis zu 1,7E+12 Bq in ELK 12 hin, vgl. Kapitel 2.2. Die gemessene Ableitung von H-3 liegt rückläufig in der Größenordnung von 4E+10 Bq/a (4 % Ausschöpfung der zurzeit genehmigten Ableitung). Wird eine kontinuierliche Freisetzung des gesamten Inventars angenommen, so ergibt sich mit dem ungünstigsten Dosisfaktor von 5,7E-19 Sv/Bq ein maximaler Beitrag zur effektiven Dosis im Kalenderjahr von ca. 1 µSv. Wird berücksichtigt, dass weder das gesamte Inventar aller eingelagerten Gebinde noch das gesamte Inventar eines Gebindes im bestimmungsgemäßen Betrieb freigesetzt werden, liegt der Dosisbeitrag deutlich unterhalb von 1 µSv und kann im Rahmen der hier durchgeführten Betrachtungen vernachlässigt werden.

N 2.4 Ableitung natürlicher gasförmiger Stoffe und deren Folgeprodukte

N 2.4.1 Übersicht

Die nachfolgenden Betrachtungen umfassen mögliche Ableitungen von Rn-222 und Rn-220. Rn-220, auch als Thoron bezeichnet, ist ein radioaktives Edelgas, das aus der Th-232-Zerfallsreihe gebildet wird. Die Tab. 72 zeigt die entsprechende Zerfallsreihe. Das Endprodukt ist das stabile Pb-208. Für die Bildung des Rn-220 relevant ist das im radioaktiven Gleichgewicht vorliegende Ra-228. Für einige Einlagerungskammern liegt offenbar kein vollständiges Gleichgewicht vor, so dass nachfolgend in Tab. 74 als relevantes Mutternuklid Th-228 angegeben ist.

Tab. 72: Th-232-Zerfallsreihe

Radionuklid	Relevanter Zerfall	Halbwertszeit	E [MeV]	Zerfallsprodukt
Th-232	α	$1{,}405 \cdot 10^{10}$ a	4,083	Ra-228
Ra-228	β^-	5,75 a	1,325	Ac-228
Ac-228	β^-	6,15 h	2,127	Th-228
Th-228	α	1,9131 a	5,520	Ra-224
Ra-224	α	3,66 d	5,789	Rn-220
Rn-220	**α**	**55,6 s**	6,405	Po-216
Po-216	α	0,145 s	6,906	Pb-212
Pb-212	β^-	10,64 h	0,574	Bi-212
Bi-212	β^- 64,06 % α 35,94 %	60,55 min	2,254 6,207	Po-212 Tl-208
Po-212	α	$2{,}99 \cdot 10^{-7}$s	8,954	Pb-208
Tl-208	β^-	3,083 min	5,001	Pb-208
Pb-208		Stabil		

Rn-222, früher auch als „Radon“ – in dieser Weise zu unterscheiden vom chemischen Element Radon – bezeichnet, ist ein radioaktives Edelgas, das aus der Zerfallsreihe des U-238 gebildet wird. Die Tab. 73 zeigt die Zerfallsreihe vom Ra-226 an, das mit einer Halbwertzeit von 1602 a das für die Bildung des Rn-222 relevante Mutternuklid ist. Das Endprodukt der Zerfallsreihe ist das stabile Pb-206.

Tab. 73: U-238-Zerfallsreihe (Auszug)

Radionuklid	Zerfall	Halbwertszeit	E [MeV]	Zerfallsprodukt
Ra-226	α	1602 a	4,871	Rn-222
Rn-222	**α**	**3,8235 d**	5,590	Po-218
Po-218	α 99,98 % β^- 0,02 %	3,05 min	6,115 0,265	Pb-214 At-218
At-218	α 99,90 % β^- 0,10 %	1,5 s	6,874 2,883	Bi-214 Rn-218
Rn-218	α	35 ms	7,263	Po-214
Pb-214	β^-	26,8 min	1,024	Bi-214
Bi-214	β^- 99,98 % α 0,02 %	19,9 min	3,272 5,617	Po- 214 Tl-210
Po-214	α	164 µs	7,883	Pb-210
Tl-210	β^- 99,9930 % β^-n 0,0070 %	1,30 min	5,484 0,299	Pb-210 Pb-209
Pb-210	β^- ≈ 100 % α $1{,}9 \cdot 10^{-6}$ %	22,3 a	0,064 3,792	Bi-210 Hg-206
Bi-210	β^- 99,99987 % α 0,00013 %	5,013 d	1,161 5,036	Po-210 Tl-206
Hg-206	β^-	8,15 min	1,308	Tl-206
Po-210	α	138,376 d	5,407	Pb-206
Tl-206	β^-	4,199 min	1,533	Pb-206
Pb-206		stabil		

Für die nachfolgenden Betrachtungen ist die Bildung der radioaktiven Edelgase Thoron (Rn-220) und Radon (Rn-222) aus den zum Zeitpunkt der Rückholung (Stichtag 01.01.2030) vorhandenen Inventaren Ra-228 (bzw. Th-228) und Ra-226 in den Einlagerungskammern relevant. Wechselwirkungen zwischen den Einlagerungskammern der 750-m-Sohle werden nicht explizit berücksichtigt, da keine belastbaren Daten dazu vorliegen. Ein Beispiel für solche möglichen Wechselwirkungen zwischen der ELK 7/725 und der ELK 2/750Na2 ist im Bericht [8] ausführlicher diskutiert. Bei der Bewertung der Ableitungen natürlicher radioaktiver Edelgase ist deshalb ein konservativer Aufschlag zu berücksichtigen, um solche Effekte auszugleichen.

Tab. 74: Ra-226 und Th-228-Inventare der Einlagerungskammern der 750-m-Sohle und der ELK 7/725

ELK	Ra-226 (Radon-Mutter) [Bq]	Th-228 (Thoron-Mutter) [Bq]
7/750	7,96E+09	6,33E+07
6/750	1,21E+10	4,88E+09
11/750	3,51E+09	3,93E+10
2/750	6,22E+09	2,07E+10
1/750	5,52E+10	1,13E+10
7/725	3,11E+09	1,33E+10
5/750	3,02E+09	1,60E+09
12/750	5,52E+09	4,20E+10
8/750	2,42E+09	1,51E+11
2/750 Na2	8,73E+10	1,22E+10
10/750	4,52E+09	1,42E+10
4/750	1,69E+09	1,43E+10

N 2.4.2 Radon (Rn-222 und Folgeprodukte)

Eine Auswertung der Inventare an Ra-226 gemäß Datenbank Assekat Version 9.2 mit Stand 02/2015 ergibt folgendes Bild, vgl. Abb. 7: Es dominieren die Einlagerungskammern 2/750Na2 und 1/750 mit 8,7E10 Bq und 5,5E10 Bq. Die Inventare der übrigen Einlagerungskammern liegen annähernd eine Größenordnung darunter. Ein näherer Blick zu den eingelagerten Gebindechargen mit den größten Aktivitäten zeigt, dass wenige Hinweise auf absorbierende oder rückhaltende Einlagerung vorliegen, vgl. Tab. 3 in Kapitel 2.2. Für einige Gebinde gibt es solche Hinweise, z. B. auf verlötete Gebinde, siehe Bericht AP05/06-VR [8].

Eine Abschätzung der Ableitung des in den jeweiligen Einlagerungskammern während eines Luftwechselzyklus gebildeten Rn-222-Inventars ist in nachfolgender Tab. 75 aufgelistet und ergibt eine im Kalenderjahr gebildete Aktivität von etwa 1E+11 Bq (ELK 4/750) bis maximal ca. 5,8E+12 Bq (ELK 2/750Na2). Aufgrund der relativ langen Halbwertszeit des Rn-222 von 3,8 d spielen sowohl die Luftwechselzahlen als auch Abklingeffekte bei der Ableitung bis zum Expositionsort im Unterschied zu Rn-220 (siehe nachfolgenden Anhang N 2.4.3) keine relevante Rolle.

Tab. 75: ELK-spezifische Übersicht abgeschätzter jährlicher Ableitungen von Rn-222

ELK	Rn-222-Ableitung [Bq/a]
7/750	5,27E+11
6/750	7,99E+11
11/750	2,32E+11
2/750	4,12E+11
1/750	3,66E+12
7/725	2,06E+11
5/750	2,00E+11
12/750	3,65E+11
8/750	1,60E+11
2/750 Na2	5,78E+12
10/750	2,99E+11
4/750	1,12E+11

Der Dosisfaktor für Rn-222 und Folgeprodukte berechnet mit dem Radon-Postprozessor in Go ARTM 2.0 [68] beträgt für die dargestellten Bedingungen 8,3E-19 Sv/Bq. Daraus ergeben sich die in nachfolgender Tab. 76 aufgeführten Dosisbeiträge von 0,1 µSv (ELK 4/750) bis maximal ca. 4,8 µSv pro Jahr für die ELK 2/750Na2.

Tab. 76: Erwartete Dosisbeiträge für eine Einzelperson der Bevölkerung der Einlagerungskammern durch Ableitung von Rn-222

ELK	Eff. Dosis [µSv/a]
7/750	0,4
6/750	0,7
11/750	0,2
2/750	0,3
1/750	3,0
7/725	0,2
5/750	0,2
12/750	0,3
8/750	0,1
2/750 Na2	4,8
10/750	0,2
4/750	0,1

Pb-210 wurde pauschal kammerunabhängig berücksichtigt unter der Annahme, dass Pb-210 als Radonzerfallsprodukt allgemein vorliegt und demzufolge potentiell bei allen Arbeiten an und mit Salzgrus freigesetzt wird. Es wurde eine Ableitung von 1E+9 Bq pro Jahr und ELK angenommen.

N 2.4.3 Thoron (Rn-220 und Folgeprodukte)

Eine Auswertung gemäß Datenbank Assekat Version 9.3.1 mit Stand 02/2015 der Inventare an Ra-228 (vgl. Abb. 8, Abb. 9 in Kapitel 2.2) in den Einlagerungskammern ergibt folgendes Bild:

Es dominiert die Einlagerungskammer 8/750 mit 1,5E+11 Bq gefolgt von allen übrigen Einlagerungskammern der 750-m-Sohle außer den ELK 5/750, 6/750 und 7/750 mit Inventaren zwischen ca. 1 bis 4E+11 Bq Ra-228.

Ein näherer Blick zu den eingelagerten Gebindechargen zeigt (vgl. Tab. 4 und Bericht zu AP05/06-VR [8]), dass es sich um Abfälle unterschiedlicher Herkunft, Zusammensetzung und Konditionierung handelt, beispielsweise Thorium-Glühstrümpfe und Konzentrate.

Für die Abschätzung der Höhe der Thoron-Ableitungen wird angenommen, dass das Inventar nur mit geringer Rückhaltung durch die Gebinde in den Einlagerungskammern vorliegt. Diese konservative Annahme wird in Ermangelung besserer, belastbarer Daten gewählt, da die zur Einlagerung ergriffenen Rückhaltungsmaßnahmen für einige solcher Gebinde (Torf, Betonierung) ihre Wirksamkeit verbraucht haben bzw. keine nennenswerte Rückhaltung erwarten lassen und im Zuge der Rückholung abdeckende Schichten entfernt werden müssen. Zur quantitativen Abschätzung wurde eine Modellierung anhand der Luftwechsel und Transportdauern bis zum Abwettertrum durchgeführt.

Außerdem wird angenommen, dass die in der ELK entstehenden Zerfallsprodukte des Rn-220 durch die Filterung der Sonderbewetterung vollständig gefiltert werden. Dies ist gerechtfertigt, da der Beitrag der unmittelbar aus dem Zerfall gebildeten Aerosole zur effektiven Dosis gering ist und der Filterfaktor mit > 99,9 % (bezogen auf 0,3 µm MAD) eine erhebliche Reduktion des Aerosolanteils bewirkt.

Für den weiteren Prozess wird in einem vereinfachten Modell unterstellt, dass mit der Bewetterung 5 % des Luftvolumens einer ELK durch die Bewetterung ausgewechselt wird.

Je nach Dauer des Transportes der Edelgase von der ELK zum Ableitbauwerk ergeben sich unterschiedliche Ableitungsaktivitäten. Die Transportdauern wurden mit mindestens ca. 8 min. über Schacht Asse 5 abgeschätzt.

Tab. 77: ELK-spezifische Übersicht abgeschätzter jährlicher Ableitungen von Rn-220

ELK	Theoretisch abgeleitete Aktivität von Thoron [Bq]
7/750	3,11E+09
6/750	2,40E+11
11/750	1,93E+12
2/750	1,02E+12
1/750	5,56E+11
7/725	6,55E+11
5/750	7,85E+10
12/750	2,07E+12
8/750	7,43E+12
2/750 Na2	6,00E+11
10/750	6,97E+11
4/750	7,05E+11

Eine explizite Berechnung der Strahlenexposition der Folgeprodukte des Thorons ist mit Go ARTM 2.0 nicht möglich. Es wurden deshalb Plausibilitätsbetrachtungen zur Abschätzung der Strahlenexposition durchgeführt. Die Ausbreitung von Rn-220 in der Umgebung ist identisch mit der des Rn-222, lediglich der Zerfall während der Ausbreitung spielt eine Rolle. Für die als ungünstigste Aufpunkte identifizierten Nahbereiche sind bei typischen Windgeschwindigkeiten kaum mehr als eine Halbwertzeit zu unterstellen, d. h. die Aktivitätskonzentration des Rn-220 am Aufpunkt ist etwa halb so groß wie die des Rn-222. Hingegen ist der Dosiskonversionskoeffizient, der aus der Aktivitätskonzentration die effektive Dosis berechnet, für Rn-220 (und Folgeprodukte) etwa einen Faktor 10 für Erwachsene ab 15 Jahren[18] größer als für Rn-222 (und Folgeprodukte) [70]. Der ebenfalls zu berücksichtigende Gleichgewichtsfaktor, der den relativen Anteil Alpha-strahlender Folgeprodukte ausdrückt, liegt für Radon bei 0,4 [71]. Die Gleichgewichtsfaktoren von Thoron sind tendenziell niedriger, teilweise auch deutlich niedriger als für Radon. Eine belastbare Quantifizierung kann jedoch aufgrund der großen Bandbreite der Gleichgewichtsfaktoren und dem speziellen Anwendungsfall gegenwärtig nicht vorgenommen werden, sodass konservativ wie für Radon gerechnet wird. Darauf basierend wurden die in nachfolgender Tabelle aufgeführten theoretischen Strahlenexpositionen berechnet.

[18] Dosiskonversionsfaktor von 81,7 nSv x m³/(Bq x h) für Rn-220 gegenüber 7,7 nSv x m³/(Bq x h) für Rn-222 [70]

Tab. 78: Erwartete Dosisbeiträge der Einlagerungskammern durch Ableitung von Rn-220

ELK	Eff. Dosis Rn-220 [µSv/a]
7/750	0,0
6/750	1,0
11/750	8,0
2/750	4,2
1/750	2,3
7/725	2,7
5/750	0,3
12/750	8,5
8/750	30,7
2/750 Na2	2,5
10/750	2,9
4/750	2,9

N 2.5 Kontinuierliche Freisetzung von Aerosolen

Das verwendete Modell der kontinuierlichen Freisetzung geht davon aus, dass trennende und zerstörende Freilegung und Lösen von Gebinden mit Werkzeugen im laufenden Betrieb erfolgt. Es wird dabei angenommen, dass ein Freischnitt von Gebinden längs der Ortsbrust mittels Trennschnitt durch Gebinde erfolgt. Die Aktivität der betreffenden Gebinde wird als kammergemittelte und homogen verteilt angenommen. Der Anteil so zu behandelnder Gebinde wurde unter Berücksichtigung der Einlagerungssituation (verstürzt, gestapelt, versetzt) und der Gebindetyp (VBA oder nVBA) kammerspezifisch geschätzt. In der nachfolgenden Tab. 79 sind diese Annahmen zusammengefasst.

Tab. 79: ELK-spezifische Übersicht von Annahmen zur Berechnung kontinuierlicher Aerosol-Freisetzungen infolge zerstörender Freilegung der Gebinde

ELK	Inventar pro ELK [Bq]	Anteil ELK-Inventar an Gesamt-inventar [%]	Anz. Gebinde	Mittlere Akt. pro Gebinde [Bq]	Anz. VBA	Einlage-rungs-technik	Anteil kom-plizierter TF-Vorschübe mit Trennnot-wendigkeit [%]
7/750	2,9E+14	22,90	4356	6,7E+10	3138	liegend gestapelt	3,0
6/750	1,9E+14	15,00	7611	2,5E+10	4799	verstürzt, VBA liegend gestapelt	3,0
11/750	1,7E+14	13,42	9399	1,8E+10	4731	verstürzt, VBA liegend gestapelt	3,0
2/750	1,5E+14	11,84	7450	2,0E+10	153	liegend gestapelt	0,4
1/750	1,3E+14	10,26	10933	1,2E+10	0	liegend gestapelt	0,4
7/725	*1,1E+14*	*8,76*	*8530*	*1,3E+10*	*35*	*verstürzt*	*1,0*
5/750	9,6E+13	7,58	9561	1,0E+10	1198	verstürzt, VBA liegend gestapelt	2,0
12/750	6,5E+13	5,13	7464	8,7E+09	717	liegend gestapelt	0,4
8/750	3,5E+13	2,76	11278	3,1E+09	0	verstürzt	1,0
2/750 Na2	2,6E+13	2,05	36900	7,0E+08	0	verstürzt	1,0
10/750	3,1E+12	0,24	4664	6,6E+08	8	verstürzt	1,0
4/750	5,2E+11	0,04	6340	8,2E+07	0	stehend gestapelt	0,2
Σ	**1,3E+15**	**100,0**	**124486**		**14779**		

Für alle Betrachtungen wurde einheitlich ein Filterfaktor von 99,9% angenommen. Sofern die Partikelgrößenverteilung belastbar bekannt ist, können sinnvoll angepasste Filter und Filterfaktoren berücksichtigt werden, mit dem Ziel, eine optimale Rückhaltung bei angemessenem Aufwand zu erreichen. Insgesamt ergeben sich damit die in nachfolgender Tab. 80 dargestellten Freisetzungen und gefilterte Ableitungen.

Tab. 80: ELK-spezifische kontinuierliche Aerosol-Freisetzungen infolge zerstörender Freilegung der Gebinde und entsprechend gefilterte Ableitungen bei einem Filterfaktor von 99,9 %

ELK	Aerosole kontinuierlich	
	Freisetzung pro ELK [Bq]	Gefilterte Ableitung pro ELK [Bq]
7/750	2,41E+11	2,41E+08
6/750	1,58E+11	1,58E+08
11/750	1,42E+11	1,42E+08
2/750	1,66E+10	1,66E+07
1/750	1,44E+10	1,44E+07
5/750	5,33E+10	5,33E+07
12/750	7,21E+09	7,21E+06
8/750	9,71E+09	9,71E+06
2/750 Na2	7,21E+09	7,21E+06
10/750	8,60E+08	8,60E+05
4/750	2,89E+07	2,89E+04

N 2.6 Diskontinuierliche Freisetzung von Aerosolen

Im Modell der diskontinuierlichen Freisetzung wurde basierend auf den Betrachtungen zur Häufigkeitsverteilung der Aktivität auf die Gebinde (siehe Anhang O 4) angenommen, dass aus 1 % der Gebinde der Sicherheitsklasse I (Aktivität größer 1E+9 Bq/Gebinde) und 1 ‰ der Gebinde mit Sicherheitsklasse II (Aktivität > 1E+11 Bq/Gebinde) jeweils 1 % der betreffenden Gebindeinventare freigesetzt wird.

Analog wie für die kontinuierliche Ableitung wurde einheitlich ein Filterfaktor von 99,9 % angenommen. Damit ergeben sich die in folgender Tab. 81 aufgelisteten Freisetzungen und gefilterte Ableitungen.

Tab. 81: ELK-spezifische diskontinuierliche Aerosol-Freisetzungen infolge zerstörender Freilegung der Gebinde und entsprechend gefilterte Ableitungen bei einem Filterfaktor von 99,9 %

ELK	Aerosole diskontinuierlich	
	Freisetzung pro ELK [Bq]	Gefilterte Ableitung pro ELK [Bq]
7/750	2,51E+10	2,51E+07
6/750	1,09E+10	1,09E+07
11/750	8,25E+09	8,25E+06
2/750	1,21E+10	1,21E+07
1/750	9,29E+09	9,29E+06
5/750	8,64E+09	8,64E+06
12/750	3,62E+09	3,62E+06
8/750	3,23E+09	3,23E+06
2/750 Na2	1,80E+09	1,80E+06
10/750	4,07E+07	4,07E+04
4/750	4,16E+06	4,16E+03

Anhang O Ereignisanalyse und Störfallbetrachtung

O 1 Ereignisanalyse

Die für das Vorhaben relevanten sicherheitsbedeutsamen Vorgänge und Ereignisse wurden im Rahmen einer Vorgangs- und Ereignisanalyse identifiziert und beschrieben. Hierzu wurden unter den im technischen Konzept dargestellten Randbedingungen die Vorgänge, Arbeitsprozesse und mögliche Ereignisse für die Betriebsbereiche Teilfläche und Basisstrecke, Radioaktivtransportstrecke (zwischen Basisstrecke und Verpackungsstation) und sonstiges Grubengebäude ermittelt. Übertägige Prozesse wurden im Rahmen der Analyse nicht betrachtet. Eine entsprechende Betrachtung und Analyse kann zu einem späteren Zeitpunkt der Planung durchgeführt werden. In Tab. 82 sind solche Vorgänge und Ereignisse dargestellt, die eine potentielle Gefährdung des Schutzziels „Strahlenexposition und Kontamination der Bevölkerung“ darstellen. In einem zweiten Schritt wurden diese Ereignisse aufgrund einer qualitativen Einschätzung des sicherheitstechnischen Potentials und der Einordnung in den Prozessablauf des regulären Rückholprozesses einem Betriebszustand bzw. einem potentiellen Störfall zugeordnet. Entsprechend der Zuordnung erfolgt die Behandlung, Analyse und das Aufzeigen der Beherrschung in den entsprechenden Unterkapiteln zum bestimmungsgemäßen Betrieb (siehe Anhang O 2) bzw. zu Störfallbetrachtungen (siehe Anhang O 3). Die lfd.-Nr. der Ereignisse aus Tab. 82 lassen sich in den Tabellen der entsprechenden Kapitel widerfinden.

Es lassen sich solche Vorgänge identifizieren, die direkt mit dem Rückholprozess verbunden sind und zu dauerhaften Ableitungen führen (siehe Tab. 82, lfd.-Nr. 1, 3, 5) sowie solche, die zu kurzzeitig erhöhten Ableitungen führen. All diese beschriebenen Vorgänge mit Ableitungen in die Umgebung der Anlage sind Teil des im technischen Konzept beschriebenen Rückholprozesses sind steuerbare bzw. regulierbare Vorgänge., Sie werden daher dem bestimmungsgemäßen Betrieb zugeordnet. Als Teil des bestimmungsgemäßen Betriebs wurden Ereignisse identifiziert, deren Potential an lokaler Freisetzung in die ELK/Teilfläche und der damit verbundenen Ableitung in die Umgebung der Anlage als relativ gering angesehen wird, die jedoch von dem geplanten Rückholprozess abweichen und damit einen nicht gewollten Zustand darstellen, den es zu beheben bzw. zu beherrschen gilt. Diese Ereignisse (siehe Tab. 82, lfd.-Nr. 7-11, 14, 18, 21, 23, 25, 30, 37, 38) wurden als anomaler Betriebszustand als Teil des bestimmungsgemäßen Betriebes identifiziert. Die Beherrschung bzw. Begrenzung der Ableitungen wird in Kapitel 9.1.4.3 gezeigt. Alle weiteren identifizierten Ereignisse (siehe Tab. 82, lfd.-Nr. 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 22, 24, 26-36, 39) wurden aufgrund ihres Potentials einer möglichen Schutzzielverletzung als auch der störfallartigen Ereignisabläufe (eine Steuerung bzw. Regulierung während des Ereignisablaufes ist nicht möglich) einem potentiellen Störfall zugeordnet. Die Analyse, Bewertung und Beherrschung dieser Ereignisse wird in Anhang O 3 gezeigt.

Tab. 82: Vorgänge und Ereignisse, die eine potentielle Gefährdung des Schutzziels „Strahlenexposition und Kontamination der Bevölkerung“ darstellen

lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Potentielle Relevanz für Schutzziel	Einschätzung sicherheitstechnisches Potential	
Vorgänge und Ereignisse in der Teilfläche und Basisstrecke					
1	Lösen eines Gebindes durch Einsatz von Werkzeugen	• Freisetzung aus nicht intakten Gebinden • Gebindebeschädigung mit Freisetzung • Freisetzung von kontaminierten Stäuben/Salzgrus	Lokale Freisetzung in die Teilfläche → Ableitung	Dauerhafte Ableitung möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb
2	Zerstörendes Lösen eines Gebindes, das ein hohes Aktivitätsinventar besitzt	Gebindebeschädigung mit temporär erhöhter Freisetzung	Lokale Freisetzung in die Teilfläche → Ableitung	Kurzzeitig signifikant erhöhte Ableitung möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb
3	Laden eines Gebindes, dessen Integrität beeinträchtigt ist	Beim Ladevorgang des nicht intakten Gebindes verliert das Gebinde einen Teil seines Aktivitätsinventars	Lokale Freisetzung in die Teilfläche → Ableitung	Dauerhafte Ableitung möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb
4	Laden eines Gebindes, dessen Integrität beeinträchtigt ist und das ein hohes Aktivitätsinventar besitzt	Beim Ladevorgang des nicht intakten Gebindes verliert das Gebinde einen Teil seines Aktivitätsinventars	Lokale Freisetzung in die Teilfläche → Ableitung	Kurzzeitig erhöhte Ableitung möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb
5	Laden von kontaminiertem Salzgrus	Beim Ladevorgang des kontaminierten Salzgruses kommt es zur Aufwirbelung und dadurch zur Freisetzung	Lokale Freisetzung in die Teilfläche → Ableitung	Dauerhafte Ableitung möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb
6	Fallen (oder die Böschung herunterrollen) eines Gebindes (z. B. aus Ortsbrust) auf die Sohle	Freisetzung aus nicht intakten sowie durch den Fall beschädigten Gebinden und beim Fall auf die Sohle	Lokale Freisetzung in die Teilfläche → Ableitung	Kurzzeitige Ableitung möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb
7	Fallen (oder die Böschung herunterrollen) eines Gebindes (z. B. aus oberen Bereich der Ortsbrust), das ein hohes Aktivitätsinventar besitzt, auf die Sohle	Freisetzung aus nicht intakten sowie durch den Fall beschädigten Gebinden und beim Fall auf die Sohle (Freisetzung aus Gebinden im Bereich der Sohle)	Lokale Freisetzung in die Teilfläche → Ableitung	Kurzzeitig erhöhte Ableitung möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
8	Ausfall der Sonderbewetterung	Nicht Aufrechterhaltung der gerichteten Luftströmung, Transport über radiologisch belastete	Radiologisch belastete Aerosole → Ableitung	Kurzzeitig erhöhte Ableitung möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung				
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Potentielle Relevanz für Schutzziel	Einschätzung sicherheitstechnisches Potential	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall
		Wetter über Wegsamkeiten und Undichtheiten ins Grubengebäude, ungefilterte Ableitung radiologisch belasteter Wetter mit den Grubenabwettern			
9	Ausfall der Medienversorgung	Ausfall der Spannungsversorgung führt zum Ausfall von beispielsweise radiologischer Überwachung	Keine unmittelbare radiologische Auswirkung	Unzulässiger Ausfall der radiologischen Überwachung	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
10	Umkippen des IB	IB verliert Teile seiner Ladung	Lokale Freisetzung in die Teilfläche → Ableitung	Geringe Ableitungen zu erwarten, aber nachteilige Behinderung des techn. Ablaufs	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
11	Lokaler Entstehungsbrand beim Lösen eines Gebindes	Freisetzung aus einem Gebinde mit brennbaren Inhalt	Lokale Freisetzung in die Teilfläche → Ableitung	Kurzzeitig erhöhte Ableitungen möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
12	Hoher Eintrag thermischer Energie beim Lösen eines Gebindes mit Folgebrand	Lokale Entzündung in der ELK und Teilfläche mit Brandentwicklung über einen Entstehungsbrand hinaus und Freisetzung	Entstehungsbrand → Freisetzung in die ELK und Teilfläche → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte möglich	Pot. Störfall
13	Technischer Defekt führt zu einer Brandentstehung an Ausrüstung einschließlich Transporteinheit für IB in der Teilfläche/Basisstrecke	Lokale Brandentstehung und Ausbreitung von der Teilfläche in die ELK	Brand → Freisetzung in die ELK und Teilfläche → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte möglich	Pot. Störfall
14	Technischer Defekt der Steuerung oder Überwachung oder Handhabungsfehler des Personals	Kollision eines Gebindes mit einem Hindernis beim Transport in der Teilfläche bzw. Kollision einer Ausrüstung in der Teilfläche mit aufgenommenen Abfällen	Lokale Freisetzung in die Teilfläche → Ableitung	Kurzzeitig erhöhte Ableitungen möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
15	Absturz schwerer Lasten in der Teilfläche infolge von Aufhängungsversagen oder Schienenversagen auf beladenen IB	Freisetzung aus beschädigtem IB sowie Freisetzung aus Abfällen	Freisetzung in die Teilfläche → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte nicht auszuschließen	Pot. Störfall

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung				
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Potentielle Relevanz für Schutzziel	Einschätzung sicherheitstechnisches Potential	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall
16	Absacken der Teilfläche	Freisetzung beim spontanen Absacken auf eingelagerte Gebinde	Lokale Freisetzung in die Teilfläche → Ableitung	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte nicht auszuschließen	Pot. Störfall
17	Unzulässige Last am Manipulator	unzulässige Belastung von Manipulator (auslegungsüberschreitende Last) → Versagen der Lastkette → Absturz Manipulator auf Gebinde mit anschließender Freisetzung	Freisetzung in die Teilfläche → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte nicht auszuschließen	Pot. Störfall
18	Löserfall in der ELK auf Gebinde	Zerstörung von freiliegenden Gebinden sowie Aufwirbelung loser Kontamination	Freisetzung in die ELK → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Kurzzeitig erhöhte Ableitungen möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
19	Löserfall auf Ausbau der Teilfläche	Beschädigung des Ausbaus der Teilfläche und eines darin befindlichen beladenen IB	Freisetzung in die Teilfläche → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte nicht auszuschließen	Pot. Störfall
20	Löserfall auf Rückholtechnik und Abfälle in die Teilfläche/Basisstrecke	Zerstörung des beladenen IB sowie Aufwirbelung loser Kontamination	Freisetzung in die Teilfläche/Basisstrecke → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte nicht auszuschließen	Pot. Störfall
21	Druckaufbau innerhalb eines Gebindes (Blähfass)	Explosion, Degradation eines Fasses	Freisetzung in die Teilfläche/Basisstrecke → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Kurzzeitig erhöhte Ableitungen möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
22	Beim Einladen bzw. Hantieren von Gebinden bzw. beim Transport des Containers kommt es zu einem Kritikalitätszwischenfall	Aufgrund einer überkritischen Anordnung kommt es zu einer Freisetzung	Freisetzung in die Teilfläche/Basisstrecke → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte nicht auszuschließen	Pot. Störfall

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung				
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Potentielle Relevanz für Schutzziel	Einschätzung sicherheitstechnisches Potential	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall
23	Bei der Rückholung kommt es zum Lösungszutritt in die ELK	Kontamnierte Lösung tritt aus der ELK	Kontamination der Umgebung	Strahlenschutz des Personals und der Bevölkerung	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
Vorgänge und Ereignisse in der Transportstrecke vom Ende der Basisstrecke mit Verdeckelungspunkt für den IB bis zum Übergabepunkt (VPS) für die Option kammerferner Übergabepunkt und Transport in qualifiziertem IB (bei kammernahem Übergabepunkt (VPS) entfallen die folgenden Betrachtungen)					
24	Löserfall beim Transport in Transportstrecke zum Übergabepunkt (VPS) auf IB	Zerstörung des beladenen IB	Freisetzung in die Transportstrecke zur Schleuse → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte nicht auszuschließen	Pot. Störfall
25	Technischer Defekt der Steuerung oder Überwachung oder Handhabungsfehler des Personals	Kollision eines Gebindes mit einem Hindernis beim Transport in der Transportstrecke zum Übergabepunkt (VPS) bzw. Kollision einer Ausrüstung in der Transportstrecke mit aufgenommenen Abfällen	Lokale Freisetzung in die Transportstrecke zur Schleuse → Ableitung	Kurzzeitig erhöhte Ableitungen möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
26	Lastabsturz des beladenen IB beim Hub in die VPS (Übergabepunkt) in der Transportstrecke infolge von Hebezeugversagen bzw. Versagen eines Teils der Lastkette	Absturz eines Gebindes beim Vertikaltransport (Hub in die Beladevorrichtung)	Freisetzung in die Transportstrecke zur Schleuse → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte möglich	Pot. Störfall
27	Ein technischer Defekt an einer Transproteinrichtung zum Transport von der Teilfläche zum Übergabepunkt (VPS) führt zu einem ausgedehnten Brand	Brand eines Transportmittels mit beladenem IB und Freisetzung aus dem IB	Brand → lokale Freisetzung in die Transportstrecke zur Schleuse → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte möglich	Pot. Störfall
28	Ein technischer Defekt an einer Transproteinrichtung zum Transport von der Teilfläche zum Übergabepunkt (VPS) führt zu einem ausgedehnten Brand in dessen Folge es zu einem Löserfall kommt	Brand eines Transportmittels mit beladenem IB und anschließendem Löserfall auf die beladenen IB	Brand → Löserfall → lokale Freisetzung in die Transportstrecke zur Schleuse → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte möglich	Pot. Störfall

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung				
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Potentielle Relevanz für Schutzziel	Einschätzung sicherheitstechnisches Potential	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall
29	Absturz schwerer Lasten in der Transportstrecke von der Teilfläche zum Übergabepunkt (VPS) auf beladenen IB	Freisetzung aus beschädigtem IB sowie Freisetzung aus Abfällen	Freisetzung in die Transportstrecke zur Schleuse → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte nicht auszuschließen	Pot. Störfall
30	Druckaufbau innerhalb eines Gebindes (Blähfass)	Explosion, Degradation eines Fasses innerhalb des IB und Zerstörung des IB	Freisetzung in die Transportstrecke zur Schleuse → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Kurzzeitig erhöhte Ableitungen möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
Vorgänge und Ereignisse im sonstigen Grubenraum (Vorgänge und Ereignisse in der Transportstrecke für die Option kammernaher Übergabepunkt (VPS) und Transport mit qualifizierter Umverpackung sind durch die folgenden Betrachtungen abgedeckt)					
31	Technischer Defekt der Technik zum Umschlagen und Transport bzw. Handhabungs des Personals bei diesen Vorgängen	Absturz der Umverpackung bzw. Lasten auf Umverpackung	Lokale Freisetzung in die Anlage → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte nicht auszuschließen	Pot. Störfall
32	Technischer Defekt am Transportfahrzeug oder Handhabungsfehler des Personals im sonstigen Grubenraum	Kollision eines Gabelstaplers bei der Handhabung von beladenen Umverpackungen bzw. eines Streckenfahrzeugs mit beladener Umverpackung mit einem Hindernis	Lokale Freisetzung in die Anlage → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte nicht auszuschließen	Pot. Störfall
33	Technischer Defekt am Gabelstapler bzw. am Streckenfahrzeug oder Handhabungsfehler des Personals im sonstigen Grubenraum	Kollision eines Gabelstaplers bei der Handhabung von beladenen Umverpackungen bzw. eines Streckenfahrzeugs mit beladener Umverpackung mit einem Hindernis mit anschließendem Folgebrand	Kollision → Brand → lokale Freisetzung in die Anlage → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte möglich	Pot. Störfall
34	Ein technischer Defekt führt zu einem Fahrzeugbrand	Brand eines Fahrzeugs mit beladener Umverpackung	Brand → lokale Freisetzung in die Anlage → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte möglich	Pot. Störfall
35	Ein technischer Defekt führt zu einem Fahrzeugbrand in dessen Folge es zu einem Löserfall kommt	Brand eines Fahrzeugs mit beladener Umverpackung und anschließendem Löserfall auf die beladene Umverpackung	Brand → Löserfall → lokale Freisetzung in die Anlage → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte möglich	Pot. Störfall

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung				
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Potentielle Relevanz für Schutzziel	Einschätzung sicherheitstechnisches Potential	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall
36	Brand im Filterraum	Durch einen technischen Defekt im Filterraum bzw. einen Brand in der Transportstrecke mir Funkenflug fängt ein Filter Feuer	Brand → lokale Freisetzung in die Anlage → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Überschreitung der genehmigten Ableitungswerte	Pot. Störfall
37	Aufgrund von Materialermüdung kommt es zu einem Leck in einer Lutte der radiologischen Sonderbewetterung aus der TF vor den radiologischen Filtern (druckseitig nach Zwischenlüfter am Zyklonabscheider)	Leck in Lutte der radiologischen Sonderbewetterung aus der TF vor den radiologischen Filtern führt zur Kontamination von Grubenwettern in der radiologischen Abwetterstrecke	Lokale Freisetzung in die Anlage → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Kurzzeitig erhöhte Ableitungen möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
38	Aufgrund von Materialermüdung kommt es zu einem Leck in radiologischer Abwetterlutte nach den radiologischen Filtern (druckseitig nach Zwischenlüfter nach/neben Filterstation)	Leck in radiologischer Abwetterlutte nach den radiologischen Filtern (druckseitig nach Zwischenlüfter nach/neben Filterstation) führt zur Kontamination von Grubenwettern im sonstigen Grubenraum	Lokale Freisetzung in die Anlage	Strahlenschutz des Personals	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)
39	Druckaufbau innerhalb eines Gebindes (Blähfass)	Explosion, Degradation eines Fasses innerhalb der UVP (in IB)	lokale Freisetzung in die Anlage → Freisetzung in die Umgebung (üT)	Kurzzeitig erhöhte Ableitungen möglich	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)

O 2 Bestimmungsgemäßer Betrieb

Der bestimmungsgemäße Betrieb umfasst sowohl den Normalbetrieb als auch davon abweichende Betriebszustände, die jedoch aufgrund vorgesehener Auslegungen und Maßnahmen wieder in den Normalbetrieb rückgeführt werden können. Diese Zustände werden im Folgenden als anomaler Betriebszustand bezeichnet. Eine abschließende Zuordnung der Betriebszustände kann erst bei fortgeschrittener Planung spätestens jedoch im Rahmen der Genehmigungsplanung erfolgen. In Tab. 83 sind die Vorgänge und Ereignisse aufgelistet, die im Rahmen der Ereignisanalyse dem bestimmungsgemäßen Betrieb oder einem anomalen Betriebszustand zugeordnet wurden. In Spalte 5 werden Auslegungen sowie technische und organisatorische Maßnahmen beschrieben, die die Ableitungen in die Umgebung der Anlage aufgrund von lokalen Freisetzungen vermeiden bzw. unterhalb der genehmigten Ableitungswerte begrenzen. Die Beherrschung wird in Spalte 6 dargelegt.

Identifizierte Vorgänge, die Teil des bestimmungsgemäßen Betriebes sind und mit einer lokalen Freisetzung in die ELK/Teilfläche verbunden sind (siehe Tab. 83, lfd.-Nr. 1 bis 6) stellen steuerbare bzw. regulierbare Vorgänge dar. Ein Eingreifen in den beschriebenen Vorgangsablauf (z. B. Unterbrechen des Vorgangs) ist jederzeit möglich. Zusätzlich sind in Tab. 83 Maßnahmen beschrieben, die einerseits dem Eintreten eines solchen Ereignisses, z. B. einer unbeabsichtigten Gebindezerstörung, entgegenwirken (z. B. behutsame Vorgehensweisen, Wahl entsprechender Werkzeuge, Positionserfassung und Kontrolle etc.) und andererseits die Auswirkungen bei Eintritt begrenzen und die Freisetzung minimieren (z. B. Filterung, lokale Absaugung und Entstaubung). Des Weiteren werden technische Vorkehrungen beschrieben, die ein solches Ereignis frühzeitig detektieren und damit die Möglichkeit bieten, entsprechende Maßnahmen zu ergreifen. Beispielsweise bestehen bei lokaler Freisetzung höherer Aktivitätsinventare Möglichkeiten der Zuschaltung von Filterstufen bzw. Erhöhung der lokalen Absaugleistung. Vorgänge dieser Art werden durch Überwachung der Aerosolkonzentration direkt am Arbeitsort sowie in der Teilfläche mit vordefinierten Schwellwerten für kontinuierliche aber auch erhöhten Kurzzeitableitungen überwacht und die Vorgehensweise bei der Rückholung entsprechend gesteuert.

Für Ereignisse, die aufgrund ihrer Abweichung zum geplanten Rückholprozess als anomaler Betriebszustand identifiziert wurden, werden technische Auslegungen und Maßnahmen in Tab. 83 beschrieben, die einen solchen Zustand vermeiden bzw. die Auswirkungen eines solchen Zustandes im Rahmen des Betriebes beherrschbar machen.

Tab. 83: Vorgänge, die Teil des bestimmungsgemäßen Betriebes sind und die mit einer lokalen Freisetzung in die ELK/Teilfläche verbunden sein können sowie Maßnahmen, die dem Eintreten eines solchen Ereignisses entgegenwirken

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtige auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
Vorgänge und Ereignisse in der Teilfläche und Basisstrecke					
1	Lösen eines Gebindes durch Einsatz von Werkzeugen	• Freisetzung aus nicht intakten Gebinden • Gebindebeschädigung mit Freisetzung • Freisetzung von kontaminierten Stäuben/ Salzgrus	Bestimmungsgemäßer Betrieb	• Lage- und Konturdetektion • Visuelle Kontrolle der Gebindeintegrität • Feinfühliges und behutsames Vorgehen beim Lösen (Einsatz geeigneter Werkzeuge, computergestützte Werkzeugführung) • Überwachung der Aerosolkonzentration rad. Stoffe am Arbeitsort sowie in der Teilfläche mit vordefinierten Schwellwerten • Ggf. Unterbrechung der Arbeiten • Gefilterte Ableitung aus der ELK und Teilfläche • Lok. Absaugung/Entstaubung am Arbeitsort, ggf. Mitführen der Absaugung	Ableitungen im Rahmen der genehmigten kontinuierlichen Ableitungswerte
2	Zerstörendes Lösen eines Gebindes, das ein hohes Aktivitätsinventar besitzt	Gebindebeschädigung mit temporär erhöhter Freisetzung	Bestimmungsgemäßer Betrieb	• Lage- und Konturdetektion • Visuelle Kontrolle der Gebindeintegrität • Feinfühliges und behutsames Vorgehen beim Lösen (Einsatz geeigneter Werkzeuge, computergestützte Werkzeugführung) • Gefilterte Ableitung aus der ELK und Teilfläche • Lok. Absaugung/Entstaubung am Arbeitsort, ggf. Mitführen der Absaugung • Überwachung der Aerosolkonzentration rad. Stoffe am Arbeitsort sowie in der Teilfläche und den Abwettern mit vordefinierten Schwellwerten • Möglichkeit des Zuschaltens weiterer Filterstufen und/oder Erhöhung der Absaugleistung • Ggf. Unterbrechung der Arbeiten	Begrenzte Ableitung unterhalb von genehmigten Kurzzeitableitungen (z. B. Tageswerte)
3	Laden eines Gebindes, dessen Integrität beeinträchtigt ist	Beim Ladevorgang des nicht intakten Gebindes verliert das Gebinde einen	Bestimmungsgemäßer Betrieb	• Visuelle Kontrolle der Gebindeintegrität • Wahl geeigneter Werkzeuge (wie Löffel-, 2-Schalengreifer)	Ableitungen im Rahmen der genehmigten kontinuierlichen

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtige auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
		Teil seines Aktivitätsinventars		• Gefilterte Ableitung aus der ELK und Teilfläche • Lok. Absaugung/Entstaubung am Arbeitsort, ggf. Mitführen der Absaugung • Überwachung der Aerosolkonzentration rad. Stoffe am Arbeitsort sowie in der Teilfläche mit vordefinierten Schwellwerten • Minimierung der Verladestrecke • Möglichst geringen Abstand zur Böschung und der Sohle beim Verladen des Gebindes einhalten	Ableitungswerte
4	Laden eines Gebindes, dessen Integrität beeinträchtigt ist und das ein hohes Aktivitätsinventar besitzt	Beim Ladevorgang des nicht intakten Gebindes verliert das Gebinde einen Teil seines Aktivitätsinventars	Bestimmungsgemäßer Betrieb	• Visuelle Kontrolle der Gebindeintegrität • Wahl geeigneter Werkzeuge (wie Löffel-, 2-Schalengreifer) • Gefilterte Ableitung aus der ELK und Teilfläche • Lok. Absaugung/Entstaubung am Arbeitsort, ggf. Mitführen der Absaugung • Überwachung der Aerosolkonzentration rad. Stoffe am Arbeitsort sowie in der Teilfläche und den Abwettern mit vordefinierten Schwellwerten • Möglichkeit des Zuschaltens weiterer Filterstufen und/oder Erhöhung der Absaugleistung • Minimierung der Verladestrecke • Möglichst geringen Abstand zur Böschung und der Sohle beim Verladen des Gebindes einhalten	Begrenzte Ableitung unterhalb von genehmigten Kurzzeitableitungen (z. B. Tageswerte)
5	Laden von kontaminiertem Salzgrus	Beim Ladevorgang des kontaminierten Salzgruses kommt es zur Aufwirbelung und dadurch zur Freisetzung	Bestimmungsgemäßer Betrieb	• Wahl geeigneter Werkzeuge (wie Löffel-, 2-Schalengreifer) • Gefilterte Ableitung aus der ELK und Teilfläche • Lok. Absaugung/Entstaubung am Arbeitsort, ggf. Mitführen der Absaugung • Überwachung der Aerosolkonzentration rad. Stoffe am Arbeitsort sowie in der Teilfläche	Ableitungen im Rahmen der genehmigten kontinuierlichen Ableitungswerte

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtige auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
				und den Abwettern mit vordefinierten Schwellwerten	
6	Fallen (oder die Böschung herunterrollen) eines Gebindes (z. B. aus Ortsbrust) auf die Sohle	Freisetzung aus nicht intakten sowie durch den Fall beschädigten Gebinden und beim Fall auf die Sohle	Bestimmungsgemäßer Betrieb	• Wahl geeigneter Werkzeuge, ggf. Einsatz verlängerter oder zusätzlicher Werkzeuge • Ortsbrustsicherungsmaßnahmen z. B. durch geeignete „Klebemittel“ • Zusätzliche Ortsbrustsicherungsmaßnahmen wie aufblasbare Luftkissen (Fixierung und Fall), Schilde an der Teilfläche etc. • Gefilterte Ableitung aus der ELK und Teilfläche • Lok. Absaugung/Entstaubung am Arbeitsort, ggf. Mitführen der Absaugung • Überwachung der Aerosolkonzentration rad. Stoffe am Arbeitsort sowie in der Teilfläche und den Abwettern mit vordefinierten Schwellwerten • Möglichkeit des Zuschaltens weiterer Filterstufen und/oder Erhöhung der Absaugleistung • Bodennahe Bewegung beim Einladen • Minimierung der Verladestrecke • Vorgehensweise durch Rückholung von oben nach unten und Erstellung von Böschungen • Bei Rückholung von liegend gestapelten Gebinden, zusätzliche Sicherung/Fixierung der untersten Reihe um ein Losrollen der gesamten Böschung zu verhindern • Bei verkippten Abfällen eine möglichst flache Böschung erstellen, um die Wahrscheinlichkeit eines Losrollens von Gebinden zu reduzieren • Arbeiten im Unterschnitt verhindert Hineinrollen in die TF	Ableitungen im Rahmen der genehmigten kontinuierlichen Ableitungswerte

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtige auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
				• (Hohe Wahrscheinlichkeit für Gebinde mit geringen Inventaren aus nicht max. Fallhöhe)	
7	Fallen (oder die Böschung herunterrollen) eines Gebindes (z. B. aus oberen Bereich der Ortsbrust), das ein hohes Aktivitätsinventar besitzt, auf die Sohle	Freisetzung aus nicht intakten sowie durch den Fall beschädigten Gebinden und beim Fall auf die Sohle (Freisetzung aus Gebinden im Bereich der Sohle)	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Wahl geeigneter Werkzeuge, ggf. Einsatz verlängerter oder zusätzlicher Werkzeuge • Ortsbrustsicherungs-maßnahmen z. B. durch geeignete „Klebemittel“ • Zusätzliche Ortsbrustsicherungsmaßnahmen wie aufblasbare Luftkissen (Fixierung und Fall), Schilde an der Teilfläche etc. • Gefilterte Ableitung aus der ELK und Teilfläche • Lok. Absaugung/Entstaubung am Arbeitsort, ggf. Mitführen der Absaugung • Überwachung der Aerosolkonzentration rad. Stoffe am Arbeitsort sowie in der Teilfläche und den Abwettern mit vordefinierten Schwellwerten • Möglichkeit des Zuschaltens weiterer Filterstufen und/oder Erhöhung der Absaugleistung • Bodennahe Bewegung beim Einladen • Minimierung der Verladestrecke • Vorgehensweise durch Rückholung von oben nach unten und Erstellung von Böschungen • Bei Rückholung von liegend gestapelten Gebinden, zusätzliche Sicherung/Fixierung der untersten Reihe um ein Losrollen der gesamten Böschung zu verhindern • Bei verkippten Abfällen eine möglichst flache Böschung erstellen, um die Wahrscheinlichkeit eines Losrollens von Gebinden zu reduzieren • Arbeiten im Unterschnitt verhindert Hineinrollen in die TF • (VBA-Problematik nicht für alle Einlagerungskammern relevant (nur für ELK 12/750, 5/750, 7/750, 11/750))	Begrenzte Ableitung unterhalb von genehmigten Kurzzeitableitungen (z. B. Tageswerte)

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtige auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
				• (Sehr seltenes Ereignis)	
8	Ausfall der Sonderbewetterung	Nicht Aufrechterhaltung der gerichteten Luftströmung, Transport radiologisch belasteter Wetter über Wegsamkeiten und Undichtheiten ins Grubengebäude, ungefilterte Ableitung radiologisch belasteter Wetter mit den Grubenabwettern	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Wettertechnisch abgetrennte Bereiche (Schleuse besitzt unabhängige Sonderbewetterung) • Lüftungstechnische Trennungen/Kontaminationsrückhaltungen • Abdichtung der Schleusen zum Grubengebäude • Einstellen der Arbeiten bei Bewetterungsausfall • Radiologische Überwachung des sonstigen Grubenraums sowie der Abwetter	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen
9	Ausfall der Medienversorgung	Ausfall der Spannungsversorgung führt zum Ausfall von beispielsweise radiologischer Überwachung	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Die Maßnahmen sind im Rahmen der weiteren Planungsstufen in Abhängigkeit der technischen Randbedingungen festzulegen	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen
10	Umkippen des IB	IB verliert Teile seiner Ladung	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Ebene Abstellfläche • Vorgehensweise bei Beladung (Manipulator in Beladestellung) • Verdeckelung des beladenen IB vor dem Transport in der TF	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen
11	Lokaler Entstehungsbrand beim Lösen eines Gebindes	Freisetzung aus einem Gebinde mit brennbarem Inhalt	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Bedarfsgerechter Kraft- und Energieeintrag (Minimierung thermischer Energieeintrag) • Detektion von Entstehungsbränden • Brandbekämpfungsausrüstungen fest an Ortsbrust installiert • Ggf. Einsatz einer zusätzlichen „Brandbekämpfungseinheit“ vor Ort • Minimierung von Brandlasten • Geschultes Bedienpersonal • Nutzung von Werkzeugen mit geringer vor Werkzeugen mit erhöhter Zerstörungskraft	Begrenzte Ableitung unterhalb von genehmigten Kurzzeitableitungen (z. B. Tageswerte)

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtige auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
14	Technischer Defekt der Steuerung oder Überwachung oder Handhabungsfehler des Personals	Kollision eines Gebindes mit einem Hindernis beim Transport in der Teilfläche bzw. Kollision einer Ausrüstung in der Teilfläche mit aufgenommenen Abfällen	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Begrenzung der Fahrgeschwindigkeit beim Transport in der Teilfläche • Kollisionsüberwachung • Verwendung eines IB mit Deckel mit Auslegung gegen Kleinkollisionen • Auslegung und Überwachung des Förderfahrzeugs • Minimierung von gleichzeitig zu hantierenden nicht ortsfesten Ausrüstungen	Vermeidung des Eintritts sowie Minimierung der Auswirkung
18	Löserfall in der ELK auf Gebinde	Zerstörung von freiliegenden Gebinden sowie Aufwirbelung loser Kontamination	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Potential von Löserfall im gesamten Bereich der ELK aufgrund des Rückholverfahrens nur bei nicht verfüllten ELK relevant • Sicherung der Firste im Arbeitsbereich z. B. durch Nachschneiden, ggf. Ankern, Bullflexschläuche • Erforderlichenfalls „Abdichten“ des restlichen Firstspaltes durch z. B. Blasversatz • Ggf. vorlaufende Injizierung/Vergütung der Schweben oder des Hangenden oberhalb der ELK • Gefilterte Ableitung aus der ELK und Teilfläche • Überwachung der Aerosolkonzentration rad. Stoffe am Arbeitsort sowie in der Teilfläche und den Abwettern mit vordefinierten Schwellwerten • Möglichkeit des Zuschaltens weiterer Filterstufen und/oder Erhöhung der Absaugleistung	Minimierung der Auswirkung sowie begrenzte Ableitung unterhalb von genehmigten Kurzzeitableitungen (z. B. Tageswerte)
21	Druckaufbau innerhalb eines Gebindes (Blähfass)	Explosion, Degradation eines Fasses	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Visuelle Prüfung auf erhebliche Formabweichungen, die auf Überdrücke in Gebinden hinweisen und ggf. auch sensorgestütze Detektion • Durchführung von definierten druckentlastenden Maßnahmen an Gebinden schon in der ELK/Teilfläche (vor Beladung in IB) • Radiologische Bewetterung des gesamten Arbeitsbereichs (Verhinderung einer Zündfähigen Atmosphäre)	Vermeidung des Eintritts sowie Minimierung der Auswirkung

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtige auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
				• Radiologische Filterung der Abwetter • Eine „Druckentlasung“ kann durch das Lösen und Laden bei der Rückholung selbst schon erfolgt sein	
23	Bei der Rückholung kommt es zum Lösungszutritt in die ELK	Kontamnierte Lösung tritt aus der ELK	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Im techn. Konzept beschriebens Vorgehen zur Minimierung von Lösungszutritten (z.B Lage der Strecken) • Lokalisiation von Lösungszutrittsstellen im Rahmen der Erkundung • Abpumpen von etwaigen Lösungen in der ELK	Vermeidung des Eintritts sowie Minimierung der Auswirkung
Vorgänge und Ereignisse in der Transportstrecke von Ende der Basisstrecke mit Verdeckelungspunkt für den IB bis zum Übergabepunkt (VPS) für die Option kammerferner Übergabepunkt und Transport in qualifiziertem IB (bei kammernahem Übergabepunkt (VPS) entfallen die folgenden Betrachtungen)					
24	Technischer Defekt der Steuerung oder Überwachung oder Handhabungsfehler des Personals	Kollision eines Gebindes mit einem Hindernis beim Transport in der Transportstrecke zum Übergabepunkt (VPS) bzw. Kollision einer Ausrüstung in der Transportstrecke mit aufgenommenen Abfällen	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Begrenzung der Fahrgeschwindigkeit beim Transport zum Übergabepunkt (VPS) • Regelmäßige Schulung des Personals • Kollisionsüberwachung • Verwendung eines verdeckelten IB mit Auslegung gegen Kollisionen • Auslegung und Überwachung des Förderfahrzeugs	Vermeidung des Eintritts sowie Minimierung der Auswirkung
30	Druckaufbau innerhalb eines Gebindes (Blähfass)	Explosion, Degradation eines Fasses innerhalb des IB und Zerstörung des IB	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Visuelle und ggf. sensorgestütze Überprüfung von Drücken in Gebinden • Durchführung von definerten Druckentlastenden Maßnahmen an Gebinden schon in der ELK/Teilfläche (vor Beladung in IB) • Radiologische Bewetterung des gesamten Arbeitsbereichs (Verhinderung einer Zündfähigen Atmosphäre) • Radioligische Filterung der Abwetter • Qualitative Rückhaltung durch IB (Auslegung) • Relativ kurze Zeit des Transportes	Vermeidung des Eintritts sowie Minimierung der Auswirkung
Vorgänge und Ereignisse im sonstigen Grubenraum (Vorgänge und Ereignisse in der Transportstrecke für die Option kammernaher Übergabepunkt (VPS) und Transport mit qualifizierter Umverpackung sind durch die folgenden Betrachtungen abgedeckt)					

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtige auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
37	Aufgrund von Materialermüdung kommt es zu einem Leck in Lutte der radiologischen Sonderbewetterung aus der TF vor den radiologischen Filtern (druckseitig nach Zwischenlüfter am Zyklonabscheider)	Leck in Lutte der radiologischen Sonderbewetterung aus der TF vor den radiologischen Filtern führt zur Kontamination von Grubenwettern in der radiologischen Abwetterstrecke	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Ausführung der druckseitigen Abwetterleitungen aus doppelwandigen Lutten • Regelmäßige Inspektion und Wartung • Abluft in radiologischer Abwetterstrecke wird separat hinter den Filtern in die Lutte der radiologischen Gesamtabwetter geführt • Daher Messung und Bilanzierung der Ableitung → Entsprechende Maßnahmen können getroffen werden • Ausschließliche Nutzung der Abwetterstrecke zur Luttenführung und als Wartungsgang	Minimierung der Auswirkung sowie begrenzte Ableitung unterhalb von genehmigten Kurzzeitableitungen (z. B. Tageswerte)
38	Aufgrund von Materialermüdung kommt es zu einem Leck in radiologischer Abwetterlutte nach den radiologischen Filtern (druckseitig nach Zwischenlüfter nach/neben Filterstation)	Leck in radiologischer Abwetterlutte nach den radiologischen Filtern (druckseitig nach Zwischenlüfter nach/neben Filterstation) führt zur Kontamination von Grubenwettern im sonstigen Grubenraum	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Ausführung der druckseitigen Abwetterleitungen aus doppelwandigen Lutten • Regelmäßige Inspektion und Wartung • Geringes radiologisches Potential, da Abwetter bereits gefiltert	Beherrschung erfolgt lokal in der Anlage
39	Druckaufbau innerhalb eines Gebindes (Blähfass)	Explosion, Degradation eines Fasses innerhalb der UVP (in IB) und Zerstörung der UVP (und des IB)	Bestimmungsgemäßer Betrieb (anomaler Betriebszustand)	• Visuelle Prüfung auf erhebliche Formabweichungen, die auf Überdrücke in Gebinden hinweisen und ggf. auch sensorgestützt • Durchführung von definierten druckentlastenden Maßnahmen an Gebinden schon in der ELK/Teilfläche (vor Beladung in IB) • Möglichkeit der Identifikation von unter Überdruck stehenden Gebinden und Druckentlastung auch in der Schleuse gegeben • Keine Zündquellen im Conatiner vorhanden • Rückhaltung durch Umverpackung und IB (Auslegung)	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen

O 3 Störfallbetrachtungen

Die als potentielle Störfalle identifizierten Ereignisse werden in diesem Kapitel weitergehend im Rahmen einer Störfallanalyse bewertet und hinsichtlich ihrer Beherrschung klassifiziert.

Zur systematischen Betrachtung, Analyse und dem Aufzeigen der Beherrschung dieser ermittelten Ereignisse werden Störfalldatenblätter erstellt, auf denen für jedes einzelne Ereignis ein möglicher Ereignisablauf beschrieben, der jeweilige potentielle Störfall klassifiziert und bewertet wird. Aus dieser Klassifizierung und Bewertung leiten sich die Maßnahmen bzw. Auslegungen von Komponenten ab, die zur Beherrschung des Ereignisses zu ergreifen bzw. vorzusehen sind. Zur Ereignisklassifizierung wird sich jener Störfallklassen bedient, die im Rahmen der Störfallanalyse für das Endlager Konrad definiert wurden [72].

Klasse 1: Ereignisse, die in ihren radiologischen Auswirkungen durch die Auslegung der Anlage bzw. der Gebinde begrenzt werden.

Klasse 2: Ereignisse, die durch Auslegungsmaßnahmen an der Anlage bzw. den Gebinden vermieden werden.

Zur Beherrschung der Auswirkungen eines Ereignisses müssen somit Maßnahmen ergriffen bzw. Auslegungen vorgesehen werden, die die radiologischen Auswirkungen begrenzen bzw. den Eintritt des Ereignisses vermeiden. Für letzteres muss mindestens an einem Glied in der Ereigniskette das Versagen von z. B. einer bestimmten Komponente vermieden werden. Für den Nachweis der ausreichenden Begrenzung der radiologischen Auswirkungen eines potentiellen Störfalls, muss gezeigt werden, dass der Störfallplanungswert nicht überschritten wird und auch unterhalb dieses Wertes ausreichend minimiert ist. Gemäß § 57b AtG [1] ist der Störfallplanungswert für die Planung von Rückholungs- und Stilllegungsmaßnahmen bei der Schachtanlage Asse II abweichend von § 194 der Strahlenschutzverordnung [28] bis zum Inkrafttreten allgemeiner Verwaltungsvorschriften zur Störfallvorsorge nach § 104 Abs. 6 der Strahlenschutzverordnung [28] von der Genehmigungsbehörde im Einzelfall festzulegen. Der Begründungstext zur Lex Asse [33] ergänzt hierzu, dass die Festsetzung eines 50 mSv übersteigenden Planungswertes nur in Betracht kommt, wenn sie bei Ausschöpfung aller technischen Möglichkeiten unausweichlich ist.

Eine Zusammenstellung der in der Teilfläche und Basisstrecke, der Radioaktivtransportstrecke (zwischen Basisstrecke und Verpackungsstation) und dem sonstigen Grubengebäude identifizierten potentiellen Störfälle, ihre Klassifizierung sowie die im technischen Konzept berücksichtigten ereignisvermeidenden bzw. auswirkungsbegrenzenden Auslegungen und Maßnahmen und die Art der Beherrschung ist in Tab. 85 wiedergegeben. Eine ausführliche Diskussion und die Bewertung jedes einzelnen Ereignisses erfolgt auf den Störfalldatenblättern im Anhang O 6.

In der Teilfläche und Basisstrecke wurden alle potentiellen Störfälle der Störfallklassen (SK) 1 und 2 zugeordnet. Dementsprechend werden technische Auslegungen und Maßnahmen beschrieben, die das Ereignis vermeiden bzw. die Auswirkungen des Ereignisses begrenzen und reduzieren, teilweise soweit, sodass es zu keiner relevanten Freisetzung kommt.

In der Radioaktivtransportstrecke (zwischen Basisstrecke und Verpackungsstation) wurden alle potentiellen Störfälle der Störfallklasse 2 zugeordnet. Dementsprechend werden technische Auslegungen und Maßnahmen beschrieben, die das Ereignis vermeiden (siehe Tab. 85). Lediglich bei Hub in die VPS auf Sohlenniveau kann es zu einem Lastabsturz kommen, der in die SK 1 eingeordnet wurde. Aufgrund der Auslegung des Innenbehälters gegen Lastabstürze aus geringen Höhen können die radiologischen Auswirkungen dieses Ereignisses soweit reduziert werden, dass sie vernachlässigbar sind.

Im sonstigen Grubenraum wurden die identifizierten potentiellen Störfälle der Störfallklasse 1 und 2 zugeordnet. Für Ereignisse der Störfallklasse 2 werden technische Auslegungen und Maßnahmen beschrieben, die das Auftreten eines solchen Ereignisses vermeiden. Für Ereignisse der Störfallklasse 1 (vgl.Tab. 85, lfd-Nr.: 19, 26, 30, 32, 34, 35) werden vorkehrende Maßnahmen beschrieben, die den Lasteintrag auf die Umverpackungen begrenzen, zusätzlich wird die Umverpackung so ausgelegt, dass sie gegen die auftretenden Lasten beständig ist und somit eine mögliche Freisetzung begrenzt und minimiert wird.

Zum Aufzeigen der Einhaltung des Störfallplanungswertes wurden eigene Berechnungen angestellt. Hierzu wurde als zu betrachtendes repräsentatives Störfallszenario der Störfallklasse 1 das Ereignis mit der lfd.-Nr. 34 „Ein technischer Defekt führt zu einem Fahrzeugbrand“ ermittelt. Dieses Ereignis im sonstigen Grubenraum stellt im Vergleich zu Ereignissen in der Teilfläche oder der radioaktiven Transportstrecke (im Teil der radiologischen Bewetterung) einen konservativen Fall dar, da bei Ereignissen im sonstigen Grubenraum die Abwetter nicht gefiltert werden und somit von Filterfaktoren bei den folgenden Betrachtungen kein Kredit genommen werden kann. Das Ereignis mit der lfd.-Nr. 35 „Ein technischer Defekt führt zu einem Fahrzeugbrand in dessen Folge es zu einem Löserfall kommt“ stellt hinsichtlich der potentiellen Freisetzung keinen konservativeren Fall dar, da auch bei diesem Ereignis die resultierende Freisetzung alleine durch den Brand bedingt ist. Die beschriebenen technischen Maßnahmen und Auslegungen führen dazu, dass die Umverpackung durch den folgenden Löserfall keinen weiteren Schaden nimmt und es zu keiner zusätzlichen Freisetzung kommt.

Die Berechnungen erfolgten gemäß Störfallberechnungsgrundlagen [73] mit dem Programm NucAd (Nuclid Advice) [74] unter der Annahme einer Kaminhöhe von 75 m für die 8 relevantesten Nuklide. Betrachtet wurde die radiologisch ungünstigste Charge bzgl. ihrer Aktivitätshöhe und Nuklidzusammensetzung. Hierbei wurden VBA-Chargen nicht herangezogen, da aufgrund ihrer mechanischen Auslegung von einer größeren Rückhaltung bei dem zu unterstellenden Szenario ausgegangen werden kann. Es wurde die Charge 3812 aus der ELK 5/750 mit insgesamt 25 Gebinden (200-l-Fässer) als ungünstigste Charge ermittelt. Für die Betrachtungen im Rahmen der Störfallanalyse wurde die nuklidspezifische chargengemittelte Gebindeaktivität ermittelt und gemäß Packschema (7 Stück 200-l-Fässer in einer Umverpackung [KC]) als ungünstigste Konstellation angenommen. Die Störfalldosis wurde für die ungünstigste Altersgruppe < 1 a am Zaun der Anlage ermittelt. Als Freisetzungsszenario wurde eine gestaffelte Freisetzung von 50 % aus den Gebinden selbst (Rückhaltung durch Restintegrität und Abfallmatrix) in den IB, von 10 % aus dem Innenbehälter in den KC sowie eine Freisetzung von 1 % (maximale Freisetzung für thermischen Lastfall (Schadensfeuer) für Behälter der ABK I gemäß Systemanalyse Konrad, Teil 2 [75] aus der Umverpackung (KC) unterstellt. Unter

diesen Annahmen ergibt sich die in Tab. 84 ausgewiesene Störfalldosis < 50 mSv. Generell sollte im Zusammenhang mit der Betrachtung einer Unterschreitung des angenommenen Störfallplanungswertes von 50 mSv der § 57b AtG [1] berücksichtigt werden. Dieser besagt, dass der Störfallplanungswert für die Planung von Rückholungs- und Stilllegungsmaßnahmen bei der Schachtanlage Asse II abweichend von § 194 der Strahlenschutzverordnung [28] bis zum Inkrafttreten allgemeiner Verwaltungsvorschriften zur Störfallvorsorge nach § 104 Abs. 6 der Strahlenschutzverordnung [28] von der Genehmigungsbehörde im Einzelfall festzulegen ist. Hierzu erfolgt im Begründungstext zur Lex Asse [33] die Konkretisierung, dass die Festsetzung eines 50 mSv übersteigenden Planungswertes nur in Betracht kommt, wenn sie bei Ausschöpfung aller technischen Möglichkeiten unausweichlich ist.

Tab. 84: Ermittlung der effektiven Dosis bei einem unterstellten Störfall der betrachteten Charge 3812 unter Verwendung berechneter Dosisfaktoren und unterstellter Freisetzung

Nuklid	Dosis-faktor [Sv/Bq]	Akt. Charge 3812 [Bq]	Nuklid-vektor[19] [%]	Mittl. Geb.-akt. [Bq]	Freisetzung [Bq]	Eff. Dosis je Gebinde [mSv]	Eff. Dosis je KC [mSv]
Pu-241	4,98E-13	9,47E+12	60,9	3,79E+11	1,89E+08	0,09	0,66
Am-241	3,37E-11	3,66E+12	23,6	1,46E+11	7,32E+07	2,47	17,28
Cs-137	1,54E-11	6,45E+10	0,4	2,58E+09	1,29E+06	0,02	0,14
Sr-90	1,15E-10	4,38E+10	0,3	1,75E+09	8,75E+05	0,10	0,70
Ni-63	1,89E-13	1,45E+09	0,0	5,80E+07	2,90E+04	0,00	0,00
Pu-238	3,63E-11	1,25E+12	8,0	5,00E+10	2,50E+07	0,91	6,35
Pu-240	3,87E-11	5,96E+11	3,8	2,39E+10	1,19E+07	0,46	3,23
Pu-239	3,87E-11	4,60E+11	3,0	1,84E+10	9,21E+06	0,36	2,49
Summe		**1,55E+13**	**100**	**6,22E+11**	**3,11E+08**	**4,41**	**30,85**

Im Ergebnis der Betrachtungen kann man einschätzen, dass die berecneten effektiven Dosen aus den folgenden Gründen im Gesamtkontext konservativ sind, da

[19] Nuklidvektor auf Basis der Aktivitätsdaten der Charge 3812 der Assekat Version 9.3.1 (Stand: 02/2015)

- ein mit 7 rückgeholten Gebinden voll beladener KC unterstellt wird, was nur im Ausnahmefall möglich sein dürfte, wenn die Behälter noch sehr gute Formstabilität und Integrität aufweisen,
- alle 7 rückgeholten Gebinde die maximale Aktivität aufweisen, was statistisch sehr unwahrscheinlich ist,
- die gleichzeitige Freisetzung von 50 % aus allen eingeladenen 7 Stück Gebinden ist noch konservativer, wenn neben Restintegritäten und der Rückhaltevermögen der Abfallmatrix die Abfälle auch weitergehend konditioniert wurden (z. B. betoniert),
- die Betrachtung der max. Aktivität für jedes der 7 Gebinde konservativ ist, da nur < 3 % der Gebinde überhaupt Werte von mindestens 1 % der Maximalaktivität haben (d.h. Störfalldosiswerte von 6 mSv für 7 Gebinde bzw. 0,9 mSv für ein Gebinde) und
- ggf. ABK-II-Container zum Einsatz kommen (mit deutlich geringeren Freisetzungsanteilen von ca. mindestens 2 Größenordnungen), insbesondere, wenn durch geeignete Screening-Methoden (z. B. spektroskopische Messungen) Gebinde mit sehr hohen Inventaren begleitend identifiziert werden können.

Wird wie im letztgenannten Punkt vorausgesetzt, dass Container der ABK II zum Einsatz kommen, kann für die Freisetzung im thermischen Lastfall (Schadensfeuer) ein deutlich reduzierter Anteil im konservativsten Fall von 3E-05 (für Bitumen und Kunststoffprodukte gemäß Systemanalyse Konrad, Teil 2 [75] herangezogen werden. Selbst wenn in diesem Fall kein Kredit von der Rückhaltung durch die Restintegrität der eingeladenen Gebinde und der Abfallmatrix genommen wird, also 100% Freisetzung aus den Abfällen in den IB sowie zusätzlich keine Rückhaltung durch den Innenbehälter, also 100% Freisetzung aus dem IB in die Umverpackung (KC), beläuft sich die störfallbedingte Dosis alleine durch die Dichtheitseigenschaften eines Containers der ABK II auf ca. 1,85 mSv.

Grundsätzlich kann somit im Rahmen der Konzeptplanung die sichere Unterschreitung des Störfallplanungswertes auf dem Niveau von 50 mSv aufgezeigt werden, wenngleich Entwicklungs- und Optimierungspotential besteht. Weitere detaillierte Betrachtungen müssen im Rahmen der folgenden Planungsstufen erfolgen. Hierbei sind z. B. die sich entwickelnden technischen Möglichkeiten von Screening-Methoden zur Identifizierung von Gebinden mit sehr hohen Inventaren zu betrachten. Des Weiteren kann bei weitergehenden Betrachtungen eine probabilistische Analyse vorhandene Konservativitäten aufzeigen.

Tab. 85: Identifizierte potentielle Störfälle, ihre Klassifizierung sowie die im technischen Konzept berücksichtigten ereignisvermeidenden bzw. auswirkungsbegrenzenden Auslegungen

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtigte auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
Vorgänge und Ereignisse in der Teilfläche und Basisstrecke					
12	Hoher Eintrag thermischer Energie beim Lösen eines Gebindes mit Folgebrand	Lokale Entzündung in der ELK und Teilfläche mit Brandentwicklung über einen Entstehungsbrand hinaus und Freisetzung	Pot. Störfall SK2	• Bedarfsgerechter Kraft- und Energieeintrag (Minimierung thermischer Energieeintrag) • Detektion und sofortiges Löschen von Entstehungsbränden • Brandbekämpfungsausrüstungen fest an Ortsbrust installiert • Ggf. Einsatz einer zusätzlichen „Brandbekämpfungseinheit“ vor Ort • Minimierung von Brandlasten • Geschultes Bedienpersonal	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen
13	Technischer Defekt führt zu einer Brandentstehung an Ausrüstung in der Teilfläche	Lokale Brandentstehung und Ausbreitung von der Teilfläche in die ELK	Pot. Störfall SK2	• Temperaturüberwachung der Maschinen, Geräte und Anlagen • Maschinen, Geräte und Anlagen möglichst kapseln und mit einer automatischen Löscheinrichtung versehen • Begrenzung der Brandlasten • Vermeidung von Kurzschlüssen und Kabelbränden durch geeignete Auslegung der elektrischen Anlagen • Betriebsvorschriften zum Brand- und Explosionsschutz für die betreffenden Anlagen • Detektion von Entstehungsbränden • Brandbekämpfungsausrüstungen an Transport- bzw. Löse-/Ladetechnik vorsehen • Einsatz einer zusätzlichen „Brandbekämpfungseinheit“ • Geschultes Bedien- und Löschpersonal	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen
15	Absturz schwerer Lasten in der Teilfläche infolge von Aufhängungsversagen oder Schienenversagen auf beladenen IB	Freisetzung aus beschädigtem IB sowie Freisetzung aus Abfällen	Pot. Störfall SK2	• Robuste Auslegung von Schienen, Ausbauelementen und Manipulator • Minimierung von firstgeführter Technik • Administrative Trennung von Arbeiten zum Aufbau von Ausbauelementen und Beladung und Transport eines IB	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtigte auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
16	Absacken der Teilfläche	Freisetzung beim spontanen Absacken auf eingelagerte Gebinde	Pot. Störfall SK2	• Aufbau von Teilflächen auf sicherer Standfläche (Schaffung durch Salzhaufwerk) • Untersuchung des Baugrundes auf Hohlräume mit geeigneten Verfahren (ggf. auch im Rahmen der Vorerkundung) • Verbund der Teilflächenelemente untereinander und zu der vorherigen Lage nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip, ggf. auch verschrauben und verkleben • Ggf. Verankern der aufgefahrenen Teilflächen zu den Nachbarteilflächen sowie darüber liegenden Teilflächen bzw. in Firste und Stößen • Detektion von Ausrichtung und Bewegung der Teilfläche zum Ergreifen zusätzlicher Maßnahmen	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen
17	Unzulässige Last am Manipulator	unzulässige Belastung von Manipulator (auslegungsüberschreitende Last) → Versagen der Lastkette → Absturz Manipulator auf Gebinde mit anschließender Freisetzung	Pot. Störfall SK2	• Auslegung des Manipulators für regulär auftretende Lasten • Hublastbegrenzung • Visuelle Überwachung • Geschultes Bedienpersonal	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen
19	Löserfall auf Ausbau der Teilfläche	Beschädigung des Ausbaus der Teilfläche und eines darin befindlichen beladenen IB	Pot. Störfall SK1	• Firstsicherung der Teilfläche (Minimierung des Freiraums zwischen ELK Firste und oberhalb der Ausbauelemente) z. B. durch Bullflexschläuche, Einsatz von Spritzbeton, geeignete Schäume	Vermeidung des Eintritts sowie Minimierung der Auswirkung
20	Löserfall auf Rückholtechnik und Abfälle in die Teilfläche/Basisstrecke	Zerstörung des beladenen IB und der Rückholtechnik sowie Aufwirbelung loser Kontamination	Pot. Störfall SK2	• Geeignete Ausbauelemente der Teilfläche • Geeignete sonstige Ausbauarten (Ankerung, Netzverzug, Spritzbeton etc.)	Vermeidung des Eintritts sowie Minimierung der Auswirkung

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtigte auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
22	Beim Einladen bzw. Hantieren von Gebinden bzw. beim Transport des Containers kommt es zu einem Kritikalitätszwischenfall	Aufgrund einer überkritischen Anordnung kommt es zu einer Freisetzung	Pot. Störfall SK2	• Siehe separate Betrachtungen im Kapitel zur Kritikalität	Vermeidung des Ereignisses
Vorgänge und Ereignisse in der Transportstrecke von Ende der Basisstrecke mit Verdeckelungspunkt für den IB bis zum Übergabepunkt (VPS) für die Option kammerferner Übergabepunkt und Transport in qualifiziertem IB (bei kammernahem Übergabepunkt (VPS) entfallen die folgenden Betrachtungen)					
24	Löserfall in Transportstrecke zum Übergabepunkt (VPS) auf IB	Zerstörung des beladenen IB	Pot. Störfall SK2	• Neuauffahrungen von Strecken • Firstsicherung z. B. Systemankerung mit Netzverzug • Monitoring/regelmäßige Begutachtung der Firste über den Zeitraum der Rückholung • Ggf. Nachschneiden von Firsten, Nachankerung, Einbringen von neuem Verzug, geeigneter Ausbau	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen
25	Lastabsturz des beladenen IB beim Hub in die VPS (Übergabepunkt) in der Transportstrecke zum Übergabepunkt (VPS) infolge von Hebezeugversagen bzw. Versagen eines Teils der Lastkette	Absturz eines Gebindes beim Vertikaltransport (Hub in die Beladevorrichtung)	Pot. Störfall SK1 SK2	<u>Fall „Transportstrecke auf Sohlenniveau der VPS“</u> • Streckenauffahrung für radioaktiv Transporte von der Teilfläche zum Übergabepunkt (VPS) so realisiert, dass keine Höhendifferenzen überwunden werden müssen (horizontal) • Hub des IB in VPS nur über die für die Zuladung erforderliche Höhe (Minimierung der Höhendifferenz) • Verwendung eines IB mit Auslegung gegen Lasteintrag bei Absturz aus geringen Höhen • Bei Rückholung über mehrere Ebenen Verwendung des gleichen Hebezeugs wie bei Fall „Mit Höhendifferenz aus max. 5-15 m“ <u>Fall „Mit Höhendifferenz aus max. 5-15 m“</u> • Auslegung des für den Hubvorgang (Vertikaltransport) vorgesehenen Hebezeugs analog den erhöhten Anforderungen der KTA 3902	Vermeidung des Eintritts sowie Minimierung der Auswirkung

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtigte auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
				• Fertigungsbegleitende QS analog KTA 3903 • WKPs in Anlehnung an die KTA 3903	
27	Ein technischer Defekt an einer Transproteinrichtung zum Transport von der Teilfläche zum Übergabepunkt (VPS) führt zu einem ausgedehnten Brand	Brand eines Transportmittels mit beladenem IB und Freisetzung aus dem IB	Pot. Störfall SK2	• Flächendeckende engmaschige Installation von Feuermeldern, Feuerlöschmitteln und Feuerlöschanlagen gemäß Brandschutzkonzept • Ausschließliche Nutzung der rad. Transportstrecke für radioaktive Transporte • Gewährleistung von hoher Erreichbarkeit eines Entstehungsbrandherdes durch zweite Transportstrecke (Transportstrecke für konventionelle Transporte) • Ausrüstung des Transportfahrzeugs mit Löschvorrichtungen • Minimierung der Brandlasten • Durchführung des Transportes von qualifiziertem und unterwiesenem Personal • Verwendung eines IB mit Auslegung gegen thermische und mechanische Lasten	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen
28	Ein technischer Defekt an einer Transproteinrichtung zum Transport von der Teilfläche zum Übergabepunkt (VPS) führt zu einem Brand in dessen Folge es zu einem Löserfall kommt	Brand eines Transportmittels mit beladenem IB und anschließendem Löserfall auf die beladenen IB	Pot. Störfall SK2	• Löserfall infolge eines Brandes vermieden, da das induzierende Ereignis (Brand) vermieden ist, siehe lfd. Nr. 24	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen
29	Absturz schwerer Lasten in der Transportstrecke von der Teilfläche zum Übergabepunkt (VPS)	Freisetzung aus beschädigtem IB sowie Freisetzung aus Abfällen	Pot. Störfall SK2	• Einsatz von flurgeführter Transporttechnik • Auslegung von firstgeführter Technik sowie Ankerung (siehe Auslegung Kran) • Verwendung von erprobter und für den Anwendungszweck geeigneter Technik	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtigte auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
	auf beladenen IB			• Räumliche Trennung von Strecken für konventionelle Transporte und radioaktive Transporte • Administrative Maßnahmen (z. B. keine Transporte bei Inspektions- und Instandhaltungsarbeiten) • Beherrschung der mechanischen Last (Lastabsturz aus geringen Höhen) durch Auslegung des IB • Geschultes Personal	
Vorgänge und Ereignisse im sonstigen Grubenraum (Vorgänge und Ereignisse in der Transportstrecke für die Option kammernaher Übergabepunkt (VPS) und Transport mit qualifizierter Umverpackung sind durch die folgenden Betrachtungen abgedeckt)					
31	Technischer Defekt der Technik zum Umschlagen und Transport bzw. Handhabungsfehler des Personals bei diesen Vorgängen	Absturz der Umverpackung bzw. Lasten auf Umverpackung	Pot. Störfall SK1	• Hubhöhenbegrenzung ≤ 3 m für Umschlagstechnik (z. B. Umschlagskrananlage, Stapelfzg.) • Beherrschung der mechanischen Last (Lastabsturz ≤ 3 m) durch Auslegung der Umverpackung (ggf. ABK II) • Verwendung von erprobter und für den Anwendungszweck geeigneter Technik • Geschultes Personal	Minimierung der Freisetzung
32	Technischer Defekt am Transportfahrzeug oder Handhabungsfehler des Personals im sonstigen Grubenraum	Kollision eines Gabelstaplers bei der Handhabung von beladenen Umverpackungen bzw. eines Streckenfahrzeugs mit beladener Umverpackung mit einem Hindernis	Pot. Störfall SK1	• Geschwindigkeitsbegrenzung des Gabelstaplers oder Streckenfahrzeugs auf eine Höchstgeschwindigkeit von 2,5 m/s • Transporthöhenbegrenzung für Gabelstapler auf ≤ 3 m • Beherrschung der mechanischen Last (Lastabsturz < 3m) durch Auslegung der Umverpackung (ggf. ABK II) • Durchführung des Transportes von qualifiziertem und unterwiesenem Personal • Organisatorische Maßnahmen (z. B. Gegenverkehrsregelungen)	Minimierung der Freisetzung
33	Technischer Defekt am Gabelstapler bzw. am Streckenfahrzeug oder Handhabungsfehler des Personals	Kollision eines Gabelstaplers bei der Handhabung von beladenen Umverpackungen bzw. eines Streckenfahrzeugs mit	Pot. Störfall SK2	• Geschwindigkeitsbegrenzung des Gabelstaplers oder Streckenfahrzeugs auf eine Höchstgeschwindigkeit von 2,5 m/s • Transporthöhenbegrenzung für Gabelstapler auf ≤ 3 m • Beherrschung der mechanischen Last (Lastabsturz < 3 m)	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtigte auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
	im sonstigen Grubenraum	beladener Umverpackung mit einem Hindernis mit anschließendem Folgebrand		durch Auslegung der Umverpackung (ggf. ABK II) • Brandschutztechnische Qualifikation der Umverpackung • Durchführung des Transportes von qualifiziertem und unterwiesenem Personal • Ausrüstung des Gabelstaplers oder Streckenfahrzeugs mit transportablen Feuerlöschern • Flächendeckende Installation von Feuermeldern, Feuerlöschmitteln und Feuerlöschanlagen gemäß Brandschutzkonzept • Minimierung der Brandlasten • Ggf. Gewährleistung von hoher Erreichbarkeit des Brandherdes durch ausreichend große Streckenquerschnitte • Organisatorische Maßnahmen (z. B. Gegenverkehrsregelungen)	
34	Ein technischer Defekt führt zu einem Fahrzeugbrand	Brand eines Fahrzeugs mit beladener Umverpackung	Pot. Störfall SK1	• Brandschutztechnische Qualifikation der Umverpackung (ggf. ABK II) • Brandschutzmaßnahmen, die sicherstellen, dass das Schadensfeuer die thermischen Lastannahmen (Temperatur von 800 °C und 1 h Branddauer) nicht überschreitet: ○ Betriebsvorschriften zum Brand- und Explosionsschutz für die betreffenden Anlagen ○ Begrenzung der Brandlasten ○ Vermeidung von Kurzschlüssen und Kabelbränden durch geeignete Fahrzeugauslegung ○ Frühzeitige Detektion von Entstehungsbränden ○ Brandbekämpfungsausrüstungen an Transporttechnik/Gabelstapler vorsehen ○ Geschultes Personal ○ Administrative Brandschutzmaßnahmen (wie optisch überwachtes Fahren, begleitetes Fahren etc.)	Minimierung der Freisetzung

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtigte auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
				• Durchführung des Transportes von qualifiziertem und unterwiesenem Personal • Flächendeckende Installation von Feuermeldern, Feuerlöschmitteln und Feuerlöschanlagen gemäß Brandschutzkonzept • Minimierung der Brandlasten • Ggf. Gewährleistung von hoher Erreichbarkeit des Brandherdes durch ausreichend große Streckenquerschnitte • Organisatorische Maßnahmen	
35	Ein technischer Defekt führt zu einem Fahrzeugbrand in dessen Folge es zu einem Löserfall kommt	Brand eines Fahrzeugs mit beladener Umverpackung und anschließendem Löserfall auf die beladene Umverpackung	Pot. Störfall SK1	• Brandschutzmaßnahmen, die sicherstellen, dass das Schadensfeuer die thermischen Lastannahmen (Temperatur von 800 °C und 1 h Branddauer) nicht überschreitet: ○ Betriebsvorschriften zum Brand- und Explosionsschutz für die betreffenden Anlagen ○ Begrenzung der Brandlasten ○ Vermeidung von Kurzschlüssen und Kabelbränden durch geeignete Fahrzeugauslegung ○ Frühzeitige Detektion von Entstehungsbränden ○ Brandbekämpfungsausrüstungen an Transporttechnik/Gabelstapler vorsehen ○ Geschultes Personal ○ Administrative Brandschutzmaßnahmen (wie optisch überwachtes Fahren, begleitetes Fahren etc.) • Maßnahmen zur Begrenzung bzw. möglicherweise Vermeidung eines Löserfalls ○ Auslegung der zuvor genannten Brandschutzmaßnahmen, sodass potentielle Brände in der Entstehungsphase gelöscht werden und somit die thermischen Lastannahmen deutlich reduziert werden ○ Konstruktive Maßnahmen am Fahrzeug im Sinne von Schutzaufbauten gegen	Minimierung der Freisetzung

	Vorgänge und Ereignisse mit potentieller Freisetzung			Bewertung unter Berücksichtigung des techn. Konzeptes	
lfd. Nr.	Vorgang/ Ereignis	Folge	Zuordnung Betriebszustand oder Störfall	Im techn. Konzept berücksichtigte auswirkungsbegrenzende bzw. -vermeidende Maßnahmen/ Auslegung	Beherrschung
				herabfallende Löser - FOPS (Falling Object Protective Structure) ○ Ggf. Streckenausbau entlang entsprechender Transportstrecken mittels Mauern und Kappen oder Gleitbogenausbau • Rückhaltung gegeben durch Innenbehälter und ggf. erweiterte konstruktive Auslegung der Umverpackung	
36	Brand im Filterraum	Durch einen technischen Defekt im Filterraum bzw. einen Brand in der Transportstrecke mit Funkenflug fängt ein Filter Feuer	Pot. Störfall SK2	• Flächendeckende engmaschige Installation von Feuermeldern, Feuerlöschmitteln und Feuerlöschanlagen gemäß Brandschutzkonzept • Minimierung der Brandlasten im Filterraum • Vermeidung von Kurzschlüssen und Kabelbränden durch geeignete Auslegung • Brandbekämpfungsausrüstungen direkt am Filter vorsehen (Selbstlöscheinrichtungen) • Modularer Aufbau der Filter mit separaten Filtergehäusen • Brandentstehung durch Funkenflug aufgrund von weiter Entfernung des zentralen Filterraums zu Transportstrecken sowie Funkenabscheider vermieden, ggf. Filterbypass für radiologisch nichtrelevante Wetterführung von Rauchgasen • Geschultes Personal • Organisatorische Maßnahmen	Vermeidung des Ereignisses durch techn. Maßnahmen

O 4 Ereignisauswahl

In dem vorstehenden Kapitel zur Störfallanalyse wurde eine abdeckende deterministische Störfallanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse des Kapitels sollen eine weitergehende Einschätzung der Relevanz für verschiedene Einlagerungskammern geben. Neben der Eintrittshäufigkeit von bestimmten auslösenden Ereignissen, etwa einem Gebindeabsturz, die durch die technischen, organisatorischen und personellen Randbedingungen maßgeblich bestimmt sind, ist das Inventar der jeweils gehandhabten Gebinde zu berücksichtigen. Beim Lösen und Laden an der Ortsbrust ist nicht zuverlässig davon auszugehen, dass Kenntnisse über das oder die zu handhabenden oder in der offenen Ortsbrust befindlichen Gebinde vorliegen. Für einige Gebinde mag anhand einer noch erkennbaren Kennzeichnung eine Identifizierung möglich sein. Eine Identifizierung etwa anhand der Gammastrahlungssignatur ist bei den vorliegenden bergbaulich rauhen Bedingungen vor Ort praktisch kaum möglich, eine Ferncharakterisierung wird durch Untergrundstrahlung benachbarter Gebinde gestört, die relevanten Radionuklide der Inventare zeichnen sich durch keine oder sehr geringe Gammastrahlungsanteile aus, es steht nur eine sehr kurze Messzeit zur Verfügung und es lässt sich keine empfindliche Messtechnik einbringen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass mit nicht individuell bekannten Gebinden hantiert werden muss. Im Sinne einer probabilistischen Einordnung lässt sich nunmehr jedoch die Wahrscheinlichkeit einschätzen, ein Gebinde eines bestimmten Inventars zu handhaben. Dies gibt einen Hinweis auf die angemessene sicherheitstechnische Einordnung und Beherrschung von Ereignisabläufen insgesamt und für die unterschiedlichen Einlagerungskammern.

Zunächst wurde dazu das gesamte eingelagerte Inventar der Schachtanlage Asse II für alle Einzelgebinde untersucht. Bei Chargen wurde ein chargengemitteltes Einzelinventar gebildet. Daraus kann eine gewisse Unterschätzung einzelner höherer Gebindeaktivitäten resultieren.

Die Auswertung ergibt:

- Etwa 2/3 (62 %) aller eingelagerten Gebinde besitzen eine chargengemittelte Gebindeaktivität von maximal 1E+8 Bq (in der Abb. 213 grün gekennzeichnet),
- Etwa 4/5 (81 %) aller eingelagerten Gebinde besitzen eine chargengemittelte Gebindeaktivität von maximal 1E+9 Bq (in der Abb. 213 gelb gekennzeichnet),
- Etwa 1/5 (19 %) aller eingelagerten Gebinde besitzen eine chargengemittelte Gebindeaktivität von mehr als 1E+9 Bq (in der Abb. 213 rot gekennzeichnet) und
- Knapp 3 % aller eingelagerten Gebinde besitzen eine chargengemittelte Gebindeaktivität von mehr als 1E+11 Bq (in der Abb. 213 dunkelrot gekennzeichnet).

In der kumulativen Darstellung sieht dies so aus, siehe nachfolgende Abb. 213:

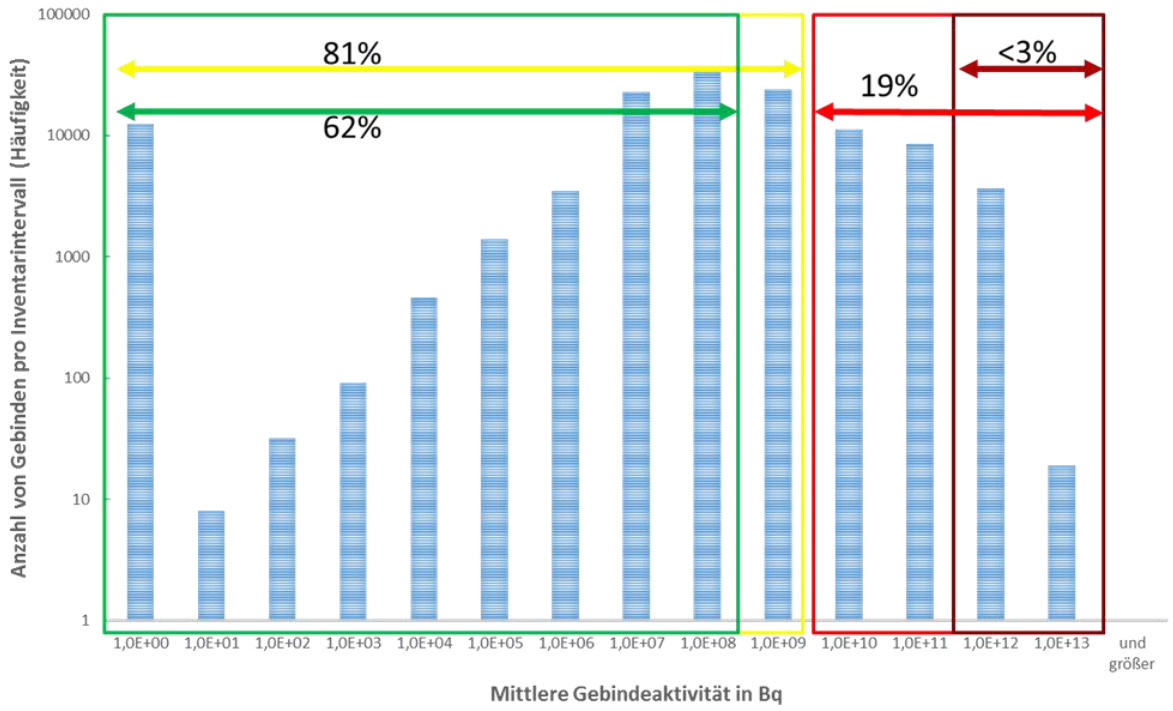


Abb. 213: Histogramm der Gebindeinventare in der Schachanlage Asse II

Das Auftreten von Gebinde mit hohen Inventaren wurde für Gebinde mit > 1E+9 Bq (Sicherheitskriterium I) und > 1E+11 Bq (Sicherheitskriterium II) pro Gebinde kammerspezifisch analysiert. Untersucht wurde die relative Häufigkeit solcher Gebinde (Anteil an der Gesamtanzahl von Gebinden in der entsprechenden ELK) und die absolute Häufigkeit solcher Gebinde. Erstere ist ein Maß für die mit fortlaufender Rückholung zu erwartende Anzahl von Ereignissen pro Zeiteinheit, während letztere ein Maß für die absolute Anzahl zu erwartender Ereignisse darstellt. Die Auftragung erfolgt als Scatterplot (Streudiagramm), wobei die Darstellung bzgl. der Zuordnung der Parameter zu Abzisse und Ordinate willkürlich ist, siehe Abb. 213. Jeder Punkt repräsentiert eine ELK. Sicherheitstechnisch einfache Einlagerungskammern haben absolut und relativ wenige Gebinde im Sicherheitskriterium, sie befinden sich in der Nähe des Koordinatenursprungs (grün in der Abb. 214). Sicherheitstechnisch kritische Einlagerungskammern besitzen relativ und absolut viele Gebinde im Sicherheitskriterium und liegen demzufolge im rechten oberen Bereich der Grafik (rot in der Abb. 213). Sicherheitstechnisch anspruchsvolle Einlagerungskammern haben entweder einen hohen Anteil von Gebinden im Sicherheitskriterium, aber absolut wenige oder absolut viele, aber relativ wenige (gelb in der Abb. 213).

Abb. 214: Sicherheitsdiagramm mit Darstellung von Sicherheitskriterien (Grün, Gelb und Rot), Erläuterung siehe Text

Die Auswertung der Kammerinventare für Gebinde mit > 1E+9 Bq (chargengemittelt) ergibt folgendes Bild, siehe Abb. 215: Die Gebinde gruppieren sich überwiegend längs einer Geraden (blau gestrichelt) und clustern im Bereich unter etwa 20 % Anteil (grün umrahmt) und deutlich über 50 % Anteil (rot umrahmt).

Dies bedeutet, dass mit zunehmender Anzahl von Gebinden mit hohen Inventaren in einer ELK nicht nur ein proportionaler Zuwachs entsprechend der Gesamtanzahl der Gebinde in einer ELK sondern ein überproportionaler Anteil an Gebinden mit hohen Aktivitäten vorliegt.

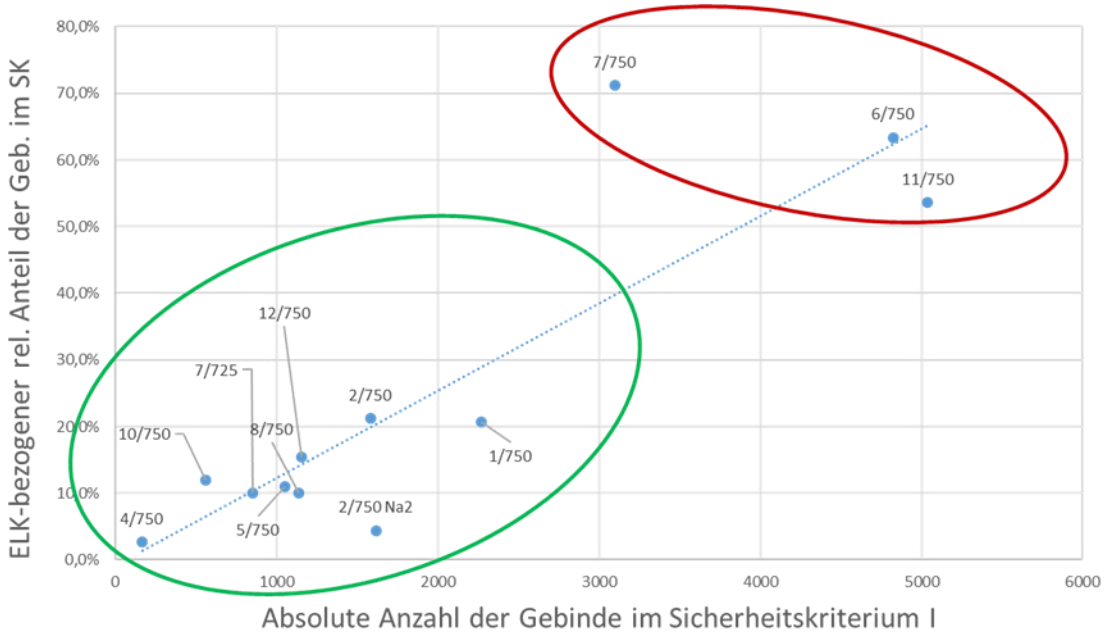


Abb. 215: Sicherheitsbewertung nach Sicherheitskriterium I, Erläuterung siehe Text

Ausnahmen sind die ELK 2/750 Na2:

- diese besitzt einen relativ geringen Anteil an Gebinden mit hoher Aktivität, mit Blick auf die sehr große Gebindeanzahl der ELK, jedoch zahlenmäßig deutlich mehr als etwa die ELK 4/750 mit gleichem relativer Anteil

und die ELK 7/750:

- diese besitzt mit ca. 70 % deutlich überproportional viele Gebinde hoher Aktivität.

Die Einlagerungskammern im roten umrahmten Bereich (ELK 7, 6 und 11 in Abb. 215) stellen die höchsten sicherheitstechnischen Anforderungen unter allen Einlagerungskammern dar. Dies ist besonders für anomale Ereignisse und Störfälle relevant.

Die Auswertung der Kammerinventare für Gebinde mit > 1E+11 Bq (chargengemittelt) ergibt folgendes Bild, siehe Abb. 216. Die Gebinde gruppieren sich noch deutlicher als für SK I längs einer Geraden (blau gestrichelt) und clustern weniger deutlich im Bereich unter etwa 4 - 5 % Anteil (grün umrahmt), zwischen 4 - 10 % (gelb umrahmt) und über 50 % Anteil (rot umrahmt).

Dies bedeutet, dass mit zunehmender Anzahl von Gebinden mit hohen Inventaren in einer ELK nicht nur ein proportionaler Zuwachs entsprechend der Gesamtanzahl der Gebinde in einer ELK, sondern ein überproportionaler Anteil an Gebinden mit hohen Aktivitäten vorliegt

Die Einlagerungskammern im roten und im gelb umrahmten Bereich (ELK 11, 1, 2, 6 und 7) stellen die höchsten sicherheitstechnischen Anforderungen unter allen ELK. Dies ist besonders für anomale Ereignisse und Störfälle relevant.

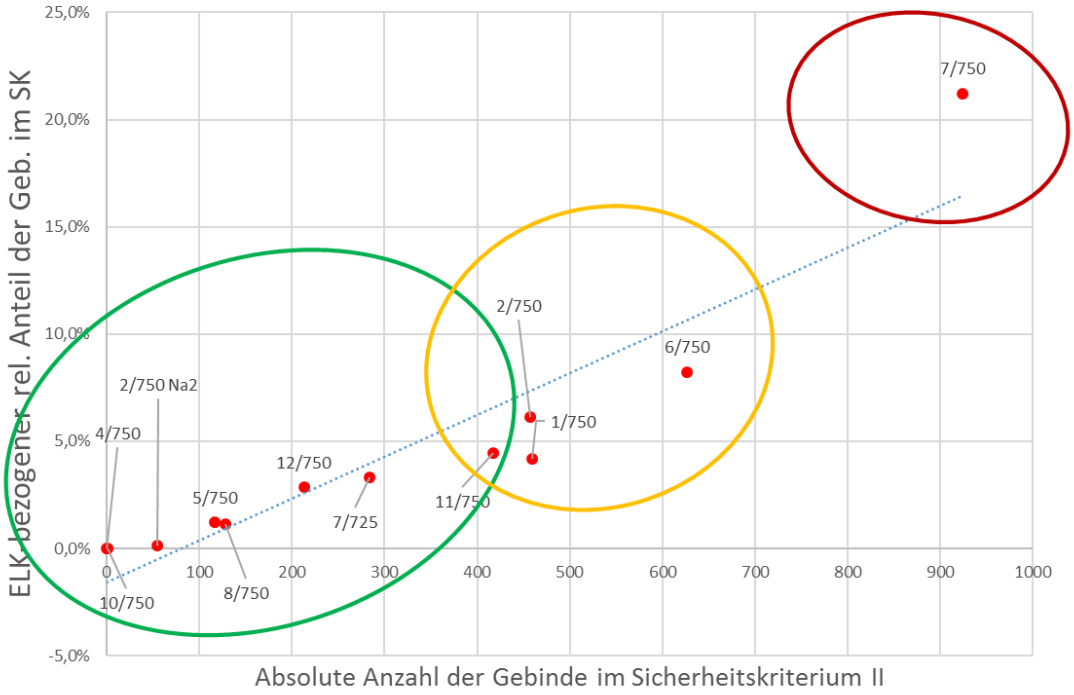


Abb. 216: Sicherheitsbewertung nach Sicherheitskriterium II, Erläuterung siehe Text

O 5 Unterkritikalität

Für jeden Zeitpunkt der Betriebsphase der Schachtanlage Asse II ist ausreichend Vorsorge gegen Schäden zu tragen. Hierzu ist auch die Unterkritikalität von Spaltstoffanordnungen sicherzustellen (Kritikalitätssicherheit), da bekanntermaßen die Einlagerung von Gebinden mit den Kernbrennstoffnukliden Plutonium und Uran stattgefunden hat (Kapitel 2.2.3). Die Einlagerungsbedingungen der Schachtanlage Asse II begrenzten den Anteil von Spaltstoffresten in Gebinden auf 15 g pro 200 l-Fass [76]. Allerdings liegen Hinweise vor, dass bei einigen Gebinden dieser Grenzwert nicht eingehalten wurde.

Als Kernbrennstoffe gemäß § 2 Abs. 1 AtG [77] gelten besondere spaltbare Stoffe in Form der Nuklide U-233, U-235, Pu-239 und Pu-241 und jeder Stoff, der einen oder mehrere dieser Nuklide enthält sowie nach Abs. 2 Nr. 4 des vorgenannten Paragraphen Stoffe, „mit deren Hilfe in einer geeigneten Anlage eine sich selbst tragende Kettenreaktion aufrechterhalten werden kann und die in einer Rechtsverordnung bestimmt werden“. Nach § 2 Abs. 2 AtG können Natururane und abgereichertes Uran im Sinne des § 1 Abs. 1 AtG außer Betracht gelassen werden.

Im Sinne des Artikel 197 des EURATOM-Vertrages [9] gehört Thorium zu den Ausgangsstoffen jedoch nicht zu den besonderen spaltbaren Stoffen.

Darüber hinaus gibt es weitere spaltbare Nuklide, die bei Aufnahme eines Neutrons unter Energiefreisetzung (exotherm) spalten. Dazu gehören höhere spaltbare Actinoide wie Np-237, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-247, Cf-249 und Cf-251, die grundsätzlich für die Bewertung der Kritikalitätssicherheit mit zu betrachten sind.

Auf Basis der durchgeführten Berechnungen (vgl. Kapitel 2.2.3) ergibt sich rechnerisch, dass mit Ausnahme der Einlagerungskammern 7/750 und 6/750 Kernbrennstoffe im Sinne des Atomgesetzes (§ 2 Abs. 3 AtG, wobei für vorgenannte zwei Einlagerungskammern gebindebezogen 15 g/100 kg voraussichtlich nicht überschritten werden) zu unterstellen sind. Für diese werden im Folgenden Kritikalitätsbetrachtungen angestellt.

Als Bewertungskriterien für kritische Zustände sind die nuklearen Eigenschaften, die Masse, die Verteilung und Konzentration der spaltbaren Stoffe in einer plausiblen Mischung mit moderierenden oder reflektierenden Materialien, ggf. vorhandene Neutronenabsorber, der Anreicherungsgrad, die chemische Zustandsform, mögliche Temperaturbereiche sowie das beanspruchte Volumen zu berücksichtigen [78]. Zu den in die Schachtanlage Asse II eingelagerten Abfällen liegen nur wenige belastbare Daten zu den vorgenannten Eigenschaften für eine Abschätzung der Kritikalitätssicherheit vor. Vor diesem Hintergrund soll nachfolgend eine Einschätzung erfolgen, ob tiefergreifende Betrachtungen zur Bewertung der Unterkritikalität der radioaktiven Abfälle notwendig werden. Für eine solche Einschätzung sind diejenigen Arbeitsschritte in den Fokus zu nehmen, in denen sich die Spaltstoffverteilung und/oder -konzentrationen ausgehend vom Ist-Zustand prozessbedingt ändern können.

Grundsätzlich lässt sich die Betriebsphase der Schachtanlage Asse II für eine solche Einschätzung in die folgenden Betrachtungsabschnitte unterteilen:

- Einlagerung der radioaktiven Abfälle (Ist-Zustand),
- Rückholung der radioaktiven Abfälle (Lösen, Laden, innerbetrieblicher Transport und Pufferlagerung unter Tage) sowie
- Prozesse (wie z. B. Charakterisierung, Konditionierung und Zwischenlagerung) über Tage.

Die letztgenannten übertägigen Prozesse sind nicht Gegenstand dieser Konzeptplanung und somit in den entsprechenden Konzeptplanungen bzw. weiteren Planungsstufen zu berücksichtigen.

Einlagerung der radioaktiven Abfälle (Ist-Zustand)

Für den Zeitraum, seit der Einlagerung der radioaktiven Abfälle in die ELK, hat sich keine kritische Anordnung von Spaltstoffen ergeben. Da sich die Konfiguration der in den ELK lagernden radioaktiven Abfälle nur geringfügig ändert (z. B. kleine Verschiebungen der Gebinde infolge von Spannungsumverteilungen), ist davon auszugehen, dass dies weiterhin Bestand hat.

Für den Schritt 1 (Anbohren ausgewählter Einlagerungskammern sowie erste Untersuchungen über die Bohrungen) der Faktenerhebung wurde die Kritikalitätssicherheit aufgrund der geringen Menge auch bei einem unterstellten Moderatorzutritt (Wasser) im Rahmen des Genehmigungsbescheids 1/2011 [14] zum Umgang mit Kernbrennstoffen gemäß § 9 AtG für die Schachtanlage Asse II festgestellt.

Im Rahmen der Schritte 2 (Öffnen dieser Kammern und Bewertung von Kammer- und Gebindezustand) und 3 (Erprobung der fernbedienbaren Techniken durch Bergen von Abfällen/Gebinden) zur Faktenerhebung wurde geprüft, ob zusätzliche Maßnahmen zur Vermeidung kritischer Spaltstoffanordnungen zu berücksichtigen sind. Hierzu wurden einfache Modelle unter äußerst konservativ abdeckenden Randbedingungen entwickelt, anhand derer abgeschätzt wurde

- *„unter welchen Bedingungen für die in der Datenbank Assekat Version 9.2 […] angegebenen Kernbrennstoffmassen beim Öffnen der Einlagerungskammern 7/750 und 12/750 im Rahmen der Faktenerhebung und bei einem dann eintretenden auslegungsüberschreitenden Lösungszutritt die Kritikalitätssicherheit gewährleistet ist (Einzelbetrachtung der jeweiligen ELK),*

- *unter welchen Bedingungen die langfristige Kritikalitätssicherheit in den Einlagerungskammern der 750- und 725-m-Sohlen der Schachtanlage Asse II für die in der Datenbank Assekat Version 9.2 [..] angegebenen Kernbrennstoffmassen gewährleistet ist (langfristige Austauschprozesse zwischen den Einlagerungskammern).“* [79]

Unter Berücksichtigung der äußerst konservativen Randparameter konnte eine Kritikalitätssicherheit nicht für jeden Zustand des Modells nachgewiesen werden. Unter Berücksichtigung realer Gegebenheiten (z. B. Einfluss von Beton und Salz in der Lösung, Berücksichtigung der Sättigung der Lösung) konnte in allen Fällen gezeigt werden, dass keine kritische Spaltstoffanordnung möglich ist [79].

Rückholung der radioaktiven Abfälle (Lösen, Laden, innerbetrieblicher Transport und Pufferlagerung unter Tage)

Im Rahmen der untertägigen Tätigkeiten der Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II finden Prozesse statt, die die Verteilung und Konzentration von Abfällen, deren Bestandteil spaltbare Stoffe sind, verändern. Dies umfasst im Allgemeinen die Rückholtätigkeiten an der Ortsbrust, und im Speziellen die Verladung der Gebinde in den Innenbehälter. Auch im anschließenden Abfertigungsprozess der die Innenbehälter enthaltenden Umverpackungen (z. B. Lagerung im Pufferlager unter Tage) beinhaltet, kann die Konfiguration von Spaltstoffen variieren.

Lösen und Laden

In nachfolgender Betrachtung soll der Beladeprozess einer Umverpackung bzw. eines Innenbehälters mit 200-l-Fässern (max. 7 Stück gemäß Kapitel 3) untersucht werden. Als Bewertungskennzahl für eine erste Abschätzung der Kritikalitätssicherheit wird nachfolgend die Kritikalitätssicherheitskennzahl (CSI[20]) für Versandstücke gemäß der Bekanntmachung der Neufassung der Anlagen A und B des Europäischen Übereinkommens vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) [29] berechnet. Beispielhaft wurde hierfür der CSI nach Vorschrift 6.4.11.2 des ADR [29] herangezogen. Bei Unterschreitung eines CSI-Wertes von 10 ist von einer sicheren Anordnung auszugehen und weitere Rechnungen erübrigen sich. An dieser Stelle sei explizit darauf hingewiesen, dass bei einer Überschreitung des CSI-Grenzwertes von 10 nicht eine kritische Spaltstoffanordnung zu besorgen ist. Sie ist vielmehr als eine Zahl zu verstehen, anhand derer die Ansammlung von Versandstücken, Umverpackungen oder Containern, die spaltbare Stoffe enthalten, überwacht wird.

[20] CSI = Criticality Safety Index

$$CSI = 50 \cdot 2 \cdot \left(\frac{Masse\ an\ U-235\ im\ Gebinde\ (g)}{Z} + \frac{Masse\ der\ anderen\ spaltbaren\ Nuklide^{21}\ im\ Gebinde\ (g)}{280} \right)$$

mit Z = 2200 für angereichertes Uran bis zu 1,5 %
mit Z = 850 für angereichertes Uran bis zu 5,0 %

Auf Grundlage der dargelegten Berechnungsvorschrift wurde auf Basis der chargengemittelten Gebindeaktivitäten (Gleichverteilung der in der Assekat hinterlegten nuklidspezifischen Chargenaktivitäten auf die der jeweiligen Charge zugehörigen Gebinde) CSI berechnet.

In nachfolgender Tab. 86 sind drei Chargen der ELK 2/750Na2, 8/750, 10/750 mit insgesamt acht Gebinden ausgewiesen, die gebindespezifisch den CSI-Grenzwert von 10 überschreiten. Bei der Charge 3397 in ELK 2/750Na2 handelt es sich um drei Stück 200-l-Fässer mit Ammoniumuranylcarbonat. Die in der Assekat hinterlegte Abfallbezeichnung weist für diese Charge die Bezeichnung „abgereichertes Uran“ aus. Diese Bezeichnung steht im Widerspruch zur zugehörigen Aktivitätsangabe, bei dem der errechnete Massenanteil des spaltbaren Isotops U-235 größer ist als bei dem natürlich vorkommenden Isotopengemisch. Bei der Charge 4303 in ELK 8/750 handelt es sich um drei Stück 200-l-Fässer mit bitumierten und betonierten Verdampferkonzentraten. Die Charge 3654 der ELK 10/750 umfasst zwei Stück 200-l-Fässer mit dem nicht weiter spezifizierten Hinweis auf „divers kontaminiertes Material“.

Tab. 86: In die Einlagerungskammern 2/750Na2, 8/750 und 10/750 eingelagerte Gebinde mit gebindespezifischer Überschreitung des CSI-Grenzwertes von 10

ELK	Chargen Nr	Gebinde-anzahl	nuklidspezifische Aktivität pro Charge					Masse pro Gebinde								
			U-233	U-235	U-238	Pu-239	Pu-241	U-233	U-235	U-238	Pu-239	Pu-241	Summe	U-235 Anteil	Z	CSI
			[Bq]	[Bq]	[Bq]	[Bq]	[Bq]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]		
2/750Na2	3397	3	2,1E+05	8,5E+07	1,3E+09	0,0E+00	0,0E+00	0,0	357,6	35908,2	0,0	0,0	357,6	1,0%	2200	16
8/750	4303	3	7,6E+02	2,8E+07	1,4E+08	4,2E+10	3,3E+08	0,0	119,6	3871,6	6,2	0,0	125,9	3,0%	850	16
10/750	3654	2	2,7E+05	8,5E+07	1,4E+09	0,0E+00	0,0E+00	0,0	536,1	56533,8	0,0	0,0	536,1	0,9%	2200	24

Für weitere Konstellationen kann der CSI auch überschritten werden, wenn diese zusammen in einer Umverpackung geladen werden. Nachfolgende Tab. 87 zeigt beispielhaft Chargen mit CSI zwischen 5 und 10.

[21] Plutonium darf jeden Isotopenaufbau haben, vorausgesetzt, die Menge an Pu-241 im Versandstück ist geringer als die Menge an Pu-240

Tab. 87: In die Einlagerungskammern 2/750Na2, 5/750 und 11/750 eingelagerte Gebinde mit gebindespezifischem CSI-Grenzwert von ≥ 5 und < 10

ELK	Chargen Nr	Gebinde-anzahl	nuklidspezifische Aktivität pro Charge					Masse pro Gebinde								
			U-233	U-235	U-238	Pu-239	Pu-241	U-233	U-235	U-238	Pu-239	Pu-241	Summe	U-235 Anteil	Z	CSI
			[Bq]	[Bq]	[Bq]	[Bq]	[Bq]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]		
2/750Na2	3451	1	2,1E+04	8,4E+06	1,3E+08	0,0E+00	0,0E+00	0,0	106,3	10676,0	0,0	0,0	106,3	1,0%	2200	5
5/750	4062	1	1,5E+03	4,6E+05	7,6E+06	3,0E+10	2,2E+11	0,0	5,8	614,9	13,2	0,1	19,1	0,9%	2200	5
5/750	3786	8	5,7E+04	1,8E+07	3,0E+08	2,6E+11	2,0E+12	0,0	28,1	2967,2	14,4	0,1	42,6	0,9%	2200	6
5/750	3767	1	1,0E+03	3,2E+05	5,3E+06	3,3E+10	2,5E+11	0,0	4,0	425,4	14,6	0,1	18,8	0,9%	2200	5
5/750	4017	9	8,7E+04	2,7E+07	4,5E+08	3,5E+11	2,6E+12	0,0	38,4	4044,9	17,1	0,1	55,6	0,9%	2200	8
5/750	3697	16	1,1E+04	3,3E+06	5,5E+07	6,8E+11	5,3E+12	0,0	2,6	277,5	19,0	0,1	21,7	0,9%	2200	7
5/750	3674	2	1,3E+03	4,2E+05	6,9E+06	8,6E+10	6,6E+11	0,0	2,6	277,5	19,0	0,1	21,7	0,9%	2200	7
5/750	3758	6	3,6E+01	1,1E+04	1,9E+05	2,7E+11	2,0E+12	0,0	0,0	2,5	19,9	0,1	20,0	0,9%	2200	7
8/750	4282	8	1,9E+02	6,9E+06	3,5E+07	2,4E+11	1,9E+09	0,0	11,0	354,8	13,1	0,0	24,1	3,0%	850	6
11/750	4275	6	7,5E+02	2,8E+07	1,4E+08	5,1E+10	4,0E+08	0,0	58,9	1906,6	3,8	0,0	62,7	3,0%	850	8

Vor dem Hintergrund, dass bei den bisherigen Betrachtungen der Kritikalitätssicherheit auf den Einfluss höherer spaltbarer Actinoide verzichtet wurde und ein einfacher Ausschluss durch Betrachtung des CSI nicht möglich war, wurde eine abdeckende MCNP-Simulation durchgeführt.

Kritikalitätsbetrachtung anhand von MCNP-Simulation

Im Folgenden wird anhand von zwei prinzipiellen Modellen eine konservative Abschätzung des maximal zu erreichenden Kritikalitätswerts[22] k während des Betrachtungsabschnittes der Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Asse anhand von MCNP-Simulationen [80] berechnet. In einer Erstbetrachtung wird angenommen, dass alle (Kernbrennstoff-)Nuklide in Form einer wassermoderierten homogenen Mischung in einem 200-l-Fass vorliegen. Hierzu werden die Gebinde/Chargen mit dem höchsten Anteil an Spaltstoff (KBS) gemäß Datenbank Assekat Version 9.3.1 (Stand 02/2015) bestimmt. In einem zweiten Schritt erfolgt eine weiterführende Betrachtung für den Fall, dass eine konservative Konstellation von sieben Stück kernbrennstoffhaltigen 200-l-Fässern dichtgepackt und wassermoderiert in einem Konradcontainer (KC IV, z. B. für einen innerbetrieblichen Transport) gelagert sind.

Um eine abdeckende Abschätzung für den zweiten Fall, bei dem ein KC mit sieben Stück Gebinden beladen wird, machen zu können, werden möglichst ungünstige Zusammenstellungen von Gebinden aus Kritikalitätssicht (Kernbrennstoffmassen und Nuklidzusammensetzungen) aus einer ELK nach den vorliegenden Informationen aus der Assekat Version 9.3.1 (Stand 02/2015) konstruiert und somit ein Worst-Case-Szenario inszeniert. So werden pro ELK jeweils die sieben Gebinde mit dem höchsten CSI ermittelt und die Fasskonstellationen der Einlagerungskammern untereinander verglichen. Von einer Mischung von Gebinden verschiedener Einlagerungskammern wird nicht ausgegangen, da dieser Fall während der Rückholung ausgeschlossen werden kann.

[22] Multiplikationsfaktor für die Neutronenbilanz einer Spaltstoffanordnung

Berechnungsgrundlagen

In Tab. 88 ist eine Übersicht über die Gebinde/Chargen mit dem höchsten CSI dargestellt, ergänzt um weitere Chargen der betreffenden ELK mit ebenfalls hohen CSI, für die Betrachtung der Beladung von sieben Stück Gebinden in einen KC. Diese Zusammenstellung je ELK stellen konservativ abdeckende Szenarien in Bezug auf die Kritikalität dar. Diese Gebinde bilden somit die Grundlage für die folgenden Berechnungen der Einzelfassbetrachtungen als auch der Fasskonstellationen von sieben Stück 200-l-Fässern in einem KC.

Tab. 88: Ermittelte Gebindechargen und Gebindeanzahl nach Assekat Version 9.3.1 (Stand 02/2015) und hergeleitete Dichte der Gebinde sowie gebindespezifische CSI

ELK	Chargen	Gebinde-anzahl	Dichte ρ [g/cm³]	CSI
2/750Na2	3451	1	1,500	5
	3397	3	0,147	16
	3432	1	1,500	3
	3541	2	0,008	3
8/750	4303	3	1,500	16
	4282	8	1,500	6
10/750	3654	2	0,245	24
	3645	1	0,004	1

Der Berechnung werden 200-l-Fässer als zu betrachtende Geometrie zugrunde gelegt. Die typischen Maße (Rollreifen oder Rollsickenfass) belaufen sich auf einen Durchmesser von 0,611 m, eine Höhe von 0,865 m und einer Wandstärke von 0,75 mm. Als Wandmaterial wird Eisen in natürlicher Isotopen-Zusammensetzung angenommen.

Die Füllhöhe und Dichte der Füllung der Gebinde sind nicht näher bekannt und werden konservativ abgeschätzt. Für betonierte Füllungen wird eine Dichte von 1,5 g/cm³ angenommen (siehe Tab. 88). Dies entspricht mit Leichtbeton fixierten Abfällen und dient einer konservativen Abschätzung gegenüber der höheren Absorptionswirkung von Normal- oder Schwerbeton. Für unbekannten Fixierungsgrad der Füllung wird rechnerisch nur die Dichte aus Schwermetall[23] (HM) und optimaler Moderatormenge (H_2O) berücksichtigt (die Bestimmung des optimalen

[23] Die Schwermetallmasse (HM) eines Fasses setzt sich aus den in der Assekat dokumentierten Aktiniden (Np-237, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-247, Cf-249, Cf-251) zusammen, unabhängig davon, ob sie durch thermische oder schnelle Neutronen spaltbar sind.

Moderatorverhältnisses folgt weiter unten). Die ermittelten Werte können der Tab. 88 (Dichte) entnommen werden.

Für die Füllhöhe wird von einem maximal möglichen Füllgrad ausgegangen. Das gesamte Fassvolumen wird als gefüllt angenommen, um bei konstanter Schwermetallmasse das Moderationsverhältnis hinsichtlich der Kritikalität konservativ zu gestalten. Das HM, der ggf. vorhandene Leichtbeton und der ggf. zusätzlich ergänzte Moderator H_2O liegen in homogener Mischung vor. In erster Näherung ist diese Annahme konservativ, da der positive Reaktivitätseffekt aus einem „körnigen“ HM-Zustand im Hinblick auf die deutliche Unterkritikalität der Anordnungen vernachlässigbar ist.

Das Modell für den zu betrachtenden Konradcontainer umfasst den Konradcontainer, einen Innenbehälter und die sieben Stück 200-l-Fässer. Damit ergeben sich bei Betrachtung der verschiedenen Wandstärken eine Gesamtwandstärke von 17 mm (Innenbehälter 7 mm und KC 10 mm).

Es wird mit reflektierenden Randbedingungen (k_{inf}) und ohne reflektierende Randbedingungen (k_{eff}) (RB, „white boundary“) gerechnet. Die Annahme einer reflektierenden RB (k_{inf}) entspricht einer unendlich ausgedehnten Anordnung ohne Neutronenleckage und ist somit als eine nur theoretisch zu erreichende obere Grenze der Kritikalität zu verstehen.

Ergebnisse

Betrachtung der reinen HM-H_2O-Gemische

In den Gebinden liegt ein Spaltstoff sowie weitere spaltbare Aktinide in niedriger Konzentration im HM vor, wobei der Anteil von U-235 (Anreicherung ca. 1 % - 3 %) überwiegt. Im ersten Schritt wird für diesen HM-Anteil pro Fass die H_2O-Menge für eine optimale Moderation (maximaler Kritikalitätswert) berechnet. Beton oder andere Zusatzstoffe werden hierbei konservativ gegenüber dem als Moderator unterstellten H_2O vernachlässigt.

Für eine reine HM-H_2O-Mischung erreicht der Kritikalitätswert sein Maximum im Bereich einer Dichte der Gesamtfüllung von ρ = 0,005 bis 0,264 g/cm³. In dieser Mischung erreicht der Neutronenfluss Φ aufgrund der geringen Menge an Wasserstoffatomen im Vergleich zu der Absorptionswirkung der Eisenatome der Fasswand keinen thermischen Gleichgewichtszustand wie in einem reinen Spaltstoff-H_2O-Gemisch. Die Kernbrennstoffe weisen im thermischen Neutronenenergiebereich die höchsten Spaltwahrscheinlichkeiten auf. Der Neutronenfluss zeigt ein etwas härteres Spektrum und erreicht erst bei überproportional viel Moderatormaterial eine ausgeprägte Verteilung im thermischen Energiebereich der Neutronen (25 meV ≅ Raumtemperatur). Zur Illustration siehe Abb. 217.

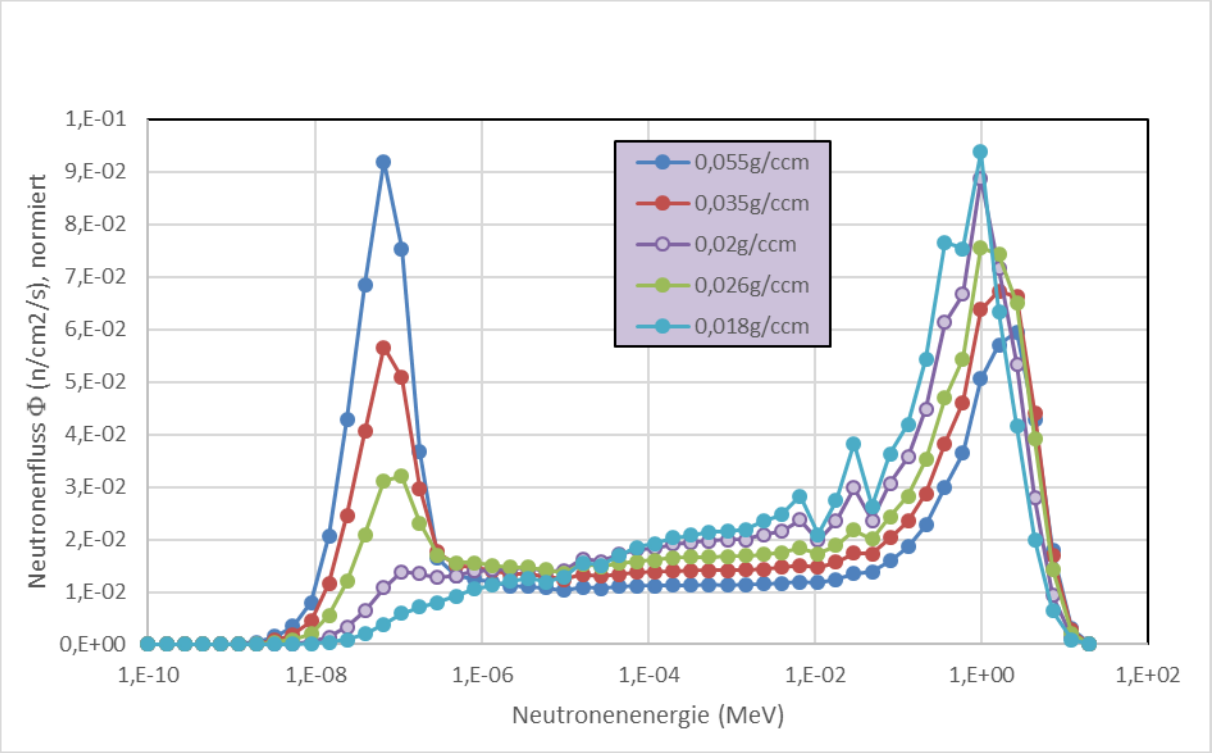


Abb. 217: Neutronenflussspektren für Gebinde aus der ELK 8/750, Charge 4303 mit variierender Füllungsdichte durch Zugabe von 0,5 – 10 kg H_2O

Mit Blick auf eine konservative Betrachtung wird zunächst der höchste Grad an Moderation der jeweiligen Gebinde (für reine Mischung aus HM und H_2O) bestimmt und im Folgenden von diesem Zustand ausgegangen. Abb. 218 gibt das Moderationsverhalten der verschiedenen Gebinde abhängig von der Moderatormasse an. Am Maximum der jeweiligen Kurven lässt sich die optimale Menge an H_2O ablesen.

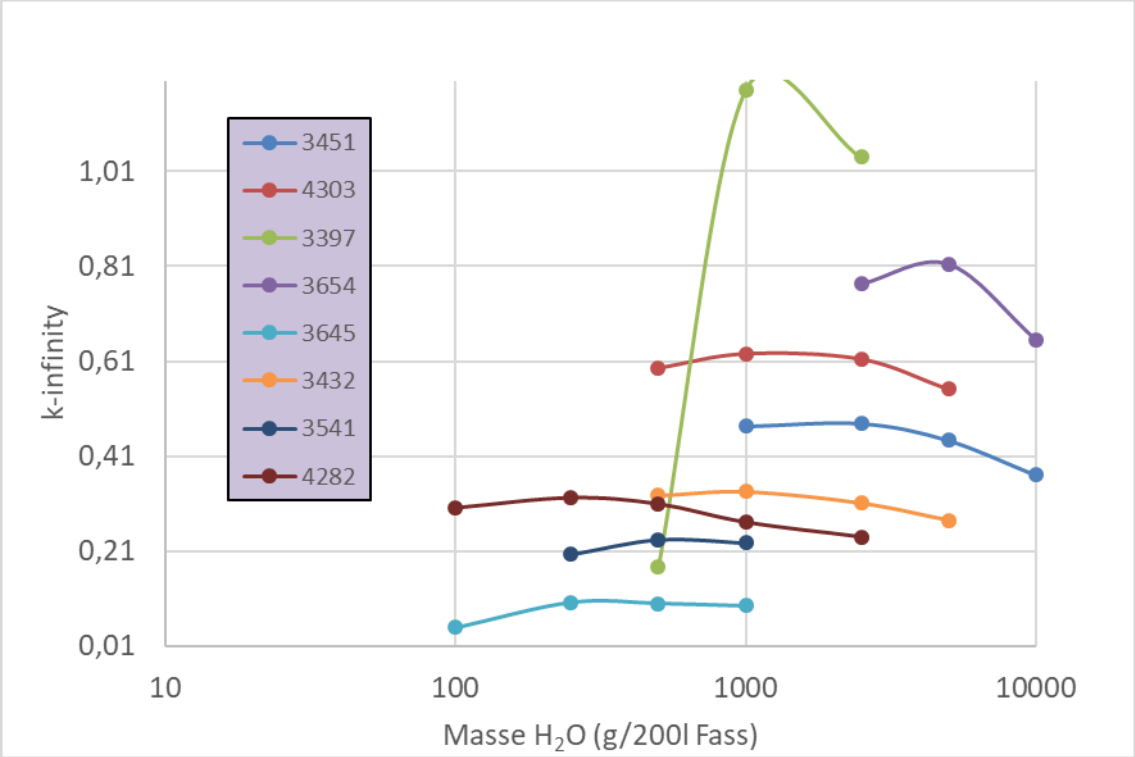


Abb. 218: Moderationskurven verschiedener Gebinde unterschiedlicher Chargen (siehe Legende) mit reiner HM – H_2O-Mischung

Für Gebinde der Charge 3397 wird deutlich, dass sogar eine überkritische Konfiguration für k_{inf} ($k_{inf} > 1$) theoretisch berechnet werden kann. Es sei an dieser Stelle nochmal auf die überkonservativen Annahmen zur Berechnung von k_{inf} hingewiesen. Für alle weiteren Gebinde ist eine kritische Anordnung selbst bei optimalen Moderationsverhalten und den konservativen Annahmen nicht möglich. Die optimalen Moderationsverhältnisse aus H_2O – HM – KBS - Menge sind in Tab. 89 zusammengefasst.

Tab. 89: Schwermetall- und KBS-Anteil sowie optimale Moderatormasse der verschiedenen Chargen (Angaben gelten pro Fass)

ELK	Charge	Gebindean-zahl	HM [kg]	KBS [kg]	H_2O [kg, ca.]
2/750Na2	3451	1	10,78	0,106	2,5
	3397	3	36,27	0,357	1,0
	3432	1	4,98	0,051	5,0
	3541	2	1,64	0,023	0,5
8/750	4303	3	4,0	0,126	2,5
	4282	8	0,38	0,024	1,0
10/750	3654	2	57,07	0,536	5,0
	3645	1	0,76	0,009	1,0

Berechnung zu 200-l-Fässern mit unbekanntem Fixierungsgrad

Bei diesen Betrachtungen ist aufgrund der geringen Dichte des Füllmaterials (wenn nur HM und H_2O berücksichtigt wird) die Reichweite der thermischen Neutronen immer noch relativ hoch. Die Neutronen erreichen sehr häufig die Fasswand und werden dabei z. T. absorbiert und zurückgestreut. Dadurch hat die Absorption in der Fasswand einen viel höheren Einfluss auf das Neutronenspektrum als bei einem Füllmaterial mit normaler Dichte (≥ 1g/cm³) und geringerer mittleren freien Weglänge der Neutronen. Damit ist die Annahme des Vorhandenseins eines Füllmaterials mit sehr geringer Dichte aus zwei Gründen sehr konservativ und in Summe überkonservativ:

a. Das Absorptionsvermögen des „passiven“ Füllmaterials für Neutronen wird vernachlässigt und

b. das Streuvermögen des „passiven“ Füllmaterials für Neutronen und damit die Verminderung der mittleren freien Weglänge wird vernachlässigt, wodurch die Absorption in der Fasswand eine überproportionale Bedeutung gewinnt, vor allem vor dem Hintergrund, dass eine reflektierende Randbedingung definiert ist (an der äußeren Schicht der Fasswand).

Durch die Überkonservativität dieser Anordnung liefert die Kritikalitätsberechnung einen relativ hohen Kritikalitätswert k_{inf} und z. T. sogar einen überkritischen Zustand (siehe Abb. 218). Die Berechnung ohne reflektierende Randbedingung liefert demgegenüber deutlich niedrigere k_{eff}-Werte.

Berechnung zu 200-l-Fässern der ELK 2/750Na2 und ELK 8/750 mit betonierter Füllung

Für diesen Ansatz wird als Fixierungsmittel Leichtbeton angenommen (1,5 g/cm³, Zusammensetzung wie Normalbeton aber ohne Eisenanteil). Für die Außenseite des Fasses wird eine reflektierende Randbedingung gesetzt (white boundary, für Kritikalitätswert k_{inf}). Bei dieser Dichte des Füllmaterials wirkt sich die Fasswandstärkte t schwächer auf den Kritikalitätswert aus (z. B. für eine Wandstärke von t = 3 mm ergibt sich ein k_{inf} von 0,22301 und für t = 0,75 mm ein k_{inf} von 0,28983). Mit den Bestandteilen des Leichtbetons liegt die Füllung schon in einem nahezu optimalen Moderationsverhältnis vor, eine zusätzliche Menge an Moderator (z. B. durch Wassereinbruch) würde die Kritikalität demzufolge vermindern (vgl. Tab. 90) und wäre somit für diesen Aspekt sicherheitstechnisch wenig relevant.

Tab. 90: Kritikalitätszustand bei betonierten Fassfüllungen und zusätzlichem H_2O

ELK	Charge	Füllung	k_{inf}
2/750Na2	3451	HM+Leichtbeton	0,23069
		HM+Leichtbeton+H_2O (1kg)	0,21269
	3432	HM+Leichtbeton	0,13063
		HM+Leichtbeton+H_2O (1kg)	0,11717
8/750	4303	HM+Leichtbeton	0,28983
		HM+Leichtbeton+H_2O (1,5kg)	0,24977
	4282	HM+Leichtbeton	0,0928
		HM+Leichtbeton+H_2O (1,5kg)	0,07474

Berechnung für optimal moderierte Gebinde in einem KC, mit und ohne reflektierender Randbedingung an der Außenseite des KC

Um für Fässer mit unbekannter Dichte und Fixierungszustand der Füllung dennoch plausible Aussagen bzgl. der Kritikalität zu erhalten, wurden die Fässer in verschiedenen möglichen Zusammenstellungen in einem KC betrachtet. Hierbei wurden die Maße des KC und des Innenbehälters in einer gemeinsamen Hülle zusammengefasst. Es wurde nur die Außenhülle des KC mit einer reflektierenden Randbedingung versehen (nicht die Einzelfässer). Es wurden verschiedene Fasszusammensetzung der sieben Gebinde aus jeweils einer ELK (konservative Fälle: 7 Gebinde aus ELK 2/750Na2 bzw. 7 Gebinde aus ELK 8/750) in einem KC betrachtet und dabei auch betonierte Gebinde berücksichtigt.

Eine mögliche beispielhafte Fassanordnung der Gebinde aus der ELK 2/750Na2 ist in Abb. 219 dargestellt. Diese Anordnung beinhaltet auch die Gebinde mit der zuvor höchsten ermittelten Kritikalität k_{inf} (vgl. Abb. 218).