

Interreg



Kofinanziert von
der Europäischen Union
Spolufinancováno
Evropskou unií

Sachsen – Tschechien | Česko – Sasko

Workshop o oběhovém hospodářství a skládkování Žitava-Liberec 2024

Kreislaufwirtschafts- und Deponieworkshop Zittau-Liberec 2024



Abdichtung von Uranbergbauhalden – Geotechnische Anforderungen und Lösungsansätze

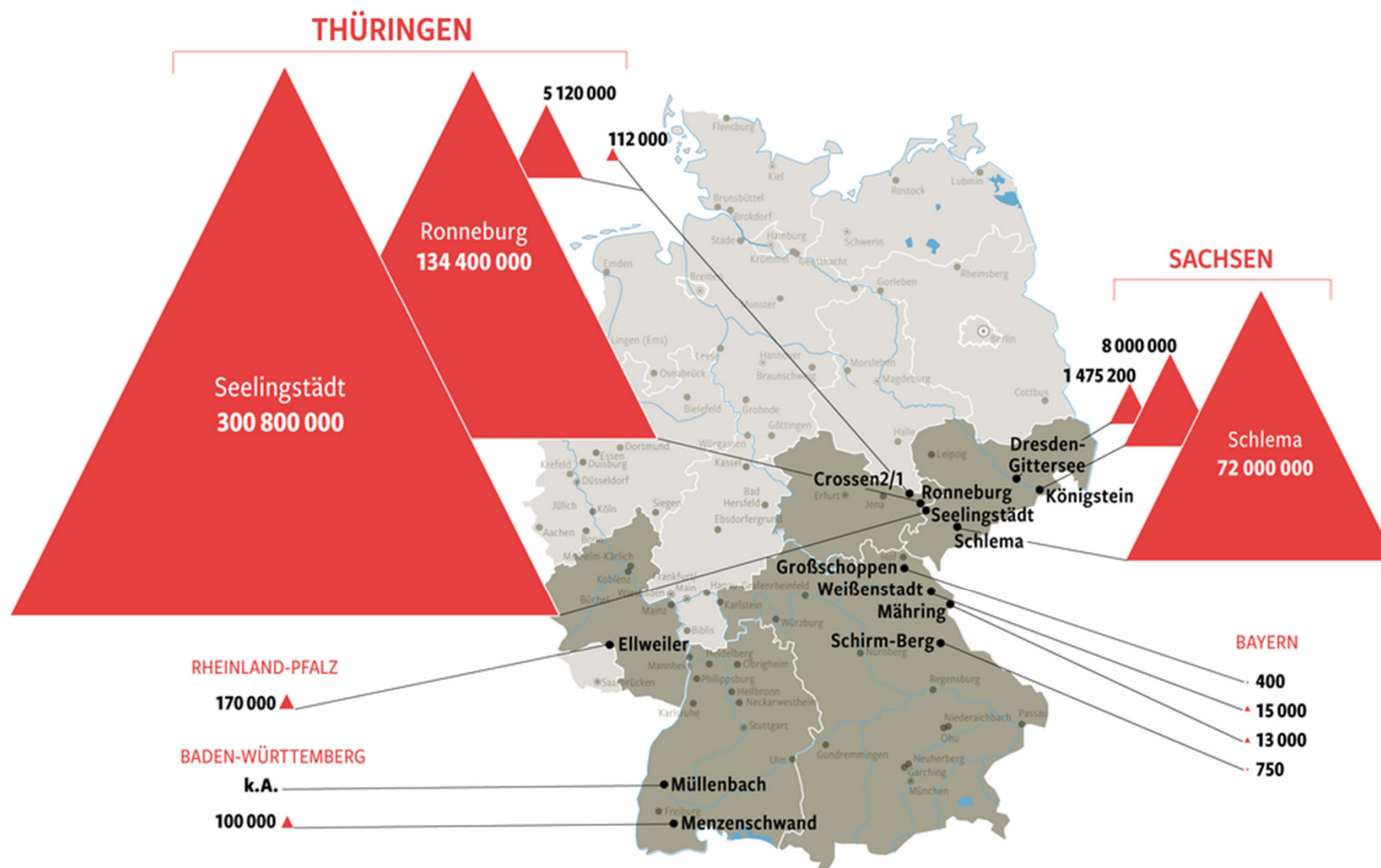
Prof. Dr.-Ing. Said Al-Akel
27.11.2025



Einführung

Entstehung von Uranbergbauhalden und ihre Auswirkungen

- In der Zeit 1962 bis 1990 wurde der Uranerzbergbau in Deutschland aktiv betrieben
- In der DDR konzentrierten sich die Uranlagerstätten Sachsen und Thüringen
- Es entstanden große Mengen an schwach radioaktiven Rückständen
 - Halden (grobstückiges Bergmaterial)
 - industriellen Absetzanlagen (Aufbereitungsrückstände)
- Bei der Errichtung wurden keine Umweltaspekte berücksichtigt → keine Isolierung von der Umgebung (Boden, Wasser, Luft)
- Umweltbelastung: Schwermetall-, Arsen- und Radonemissionen



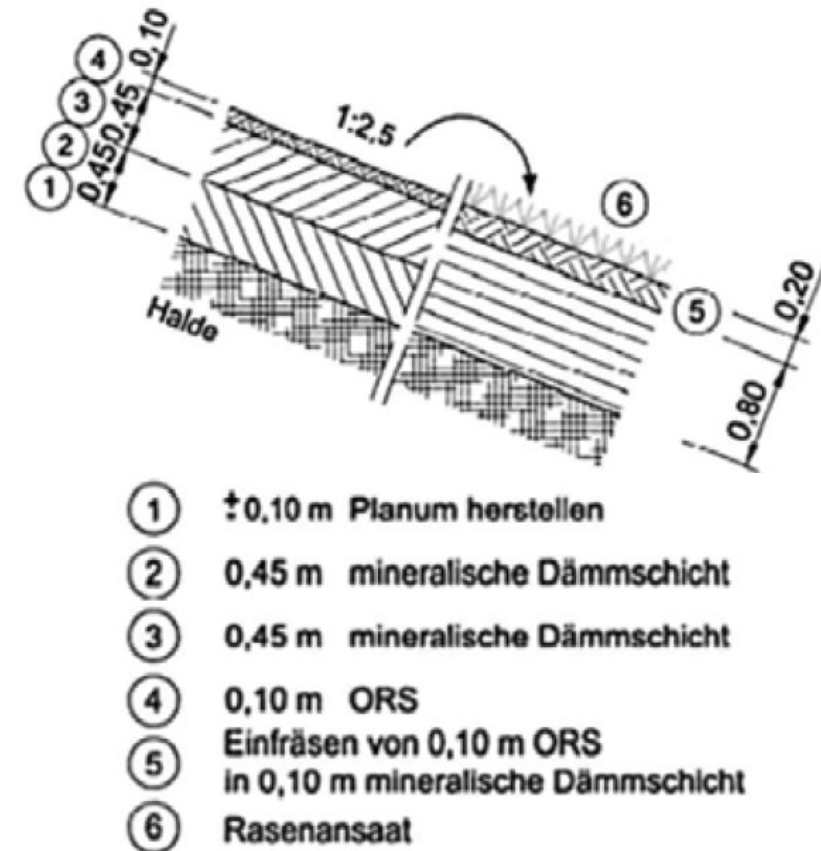
Hinterlassenschaften des deutschen Uranbergbaus

Einführung

Sanierung der Uranbergbauhalden

- Anfang 1990-er Stilllegung, Sanierung und Rekultivierung der ehemaligen Uranbergbaustandorte
- Entwicklung und Umsetzung von Abdichtungssystemen in Anlehnung an den damaligen Stand der Technik im Bereich des Deponiebaus und Bergrechtes
- Es kamen je nach Sanierungsziel einschichtige, zweischichtige, mehrschichtige Abdeckungssysteme sowie Teilabdeckungen zur Anwendung
- 5 bis 15 Jahre nach der Sanierung ist die Permeabilität wieder angestiegen → Funktionalität der Oberflächenabdichtungssysteme stark herabgesetzt

Lösung?



Beispiel für ein Abdecksystem der Wismut für Halden im Erzgebirge

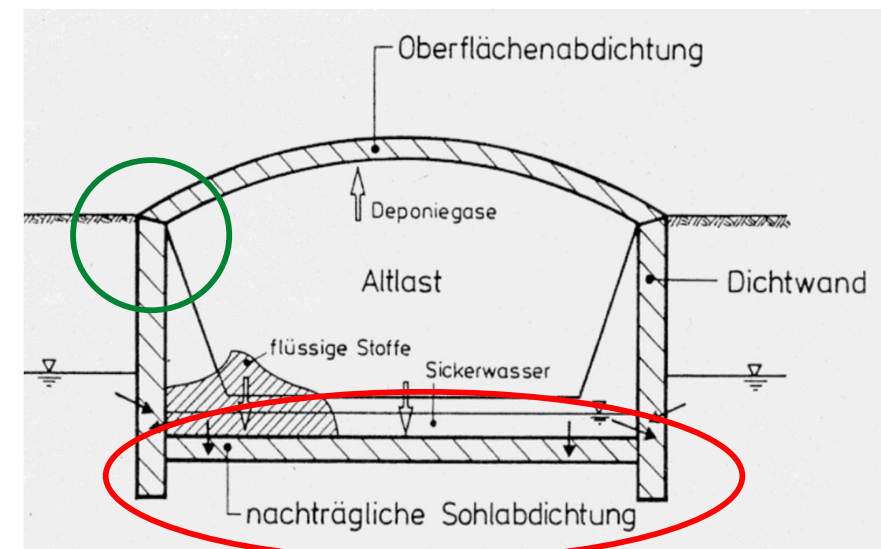
Lösungsansatz

- **Im Vorfeld:**

- Technisch anspruchsvollere Sanierungsvarianten (Radonableitung, Adsorption, dauerhafte Befeuchtung) nur eingeschränkt einsetzbar → viel Forschungsaufwand und ggf. nicht genehmigungsfähig, keine etablierte QS-Verfahren
- Prüfung bewährter Abdichtungsverfahren aus Altlastensanierung und Deponiebau auf deren Einsatzfähigkeit

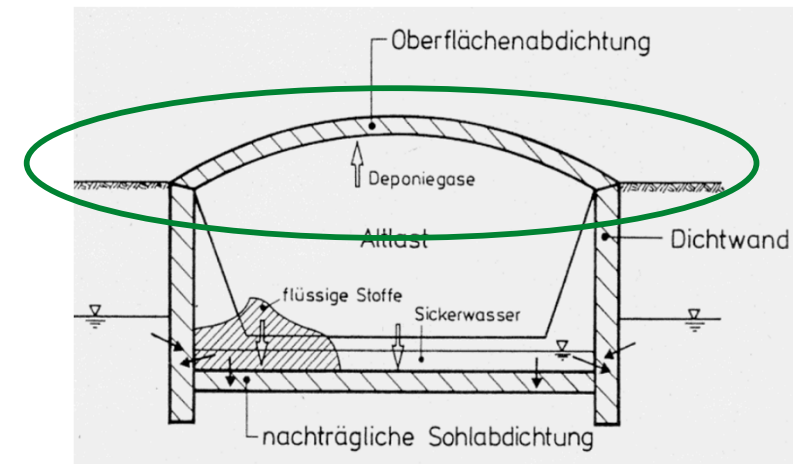
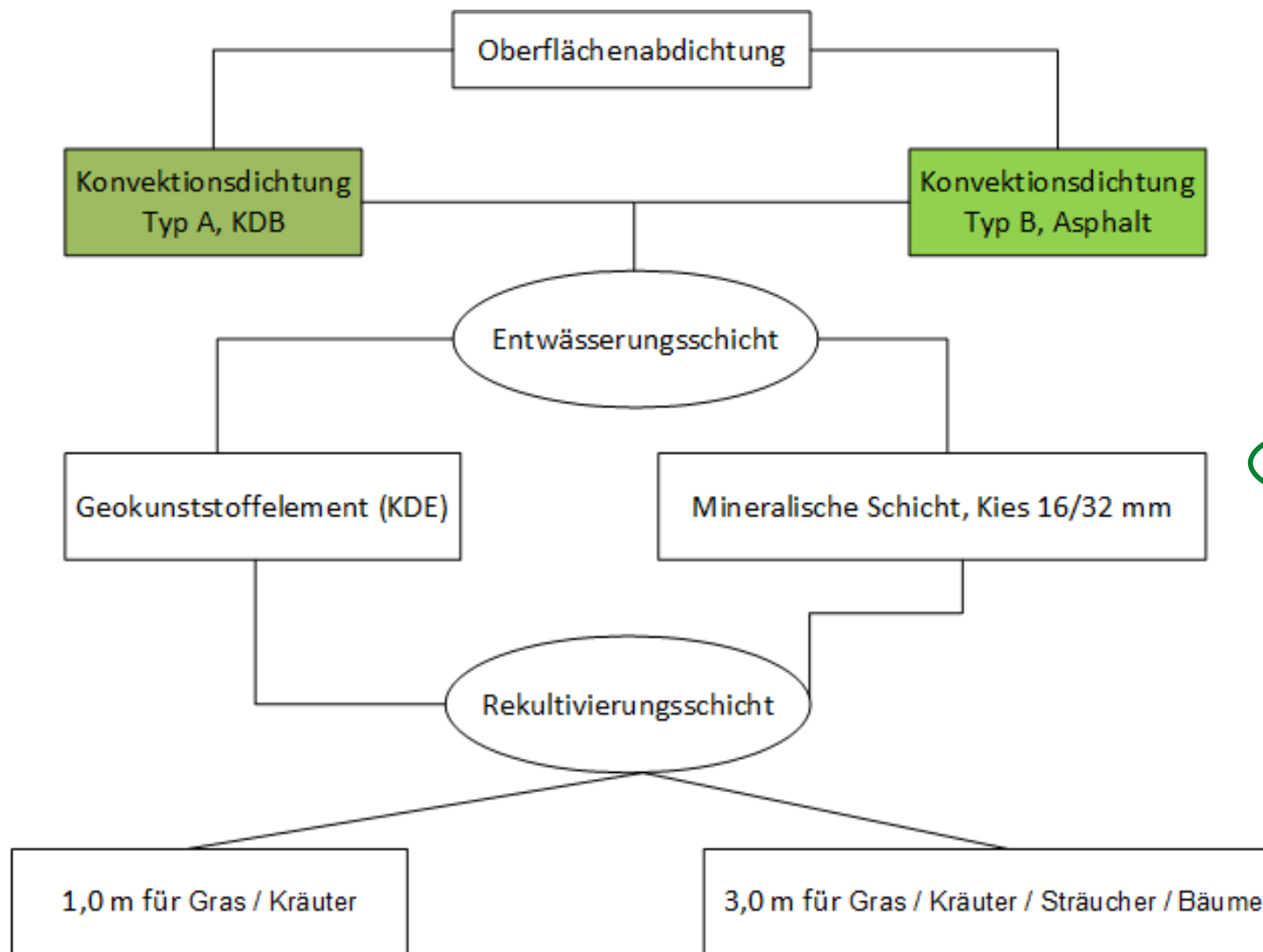
- **Lösungskonzept → Einkapselung**

- Oberflächenabdichtung (Konvektionsdichtung): HDPE- oder Asphalt-Dichtschicht
- Vertikale Abdichtung
- Ausbildung eines gasdichten Haldenfußes

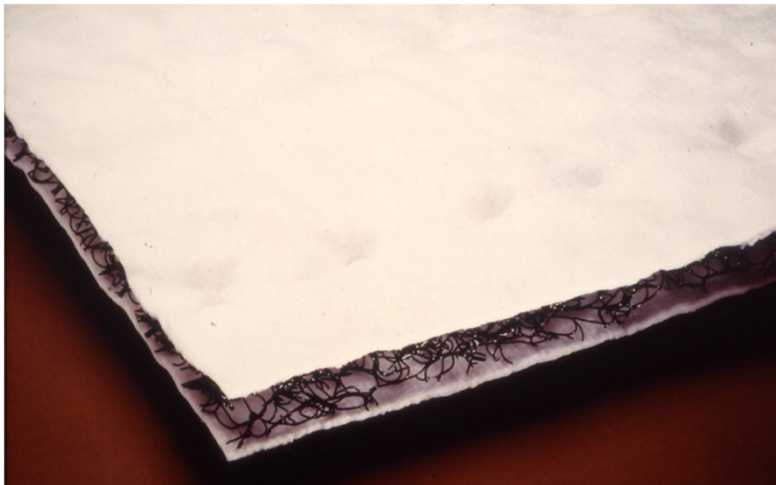
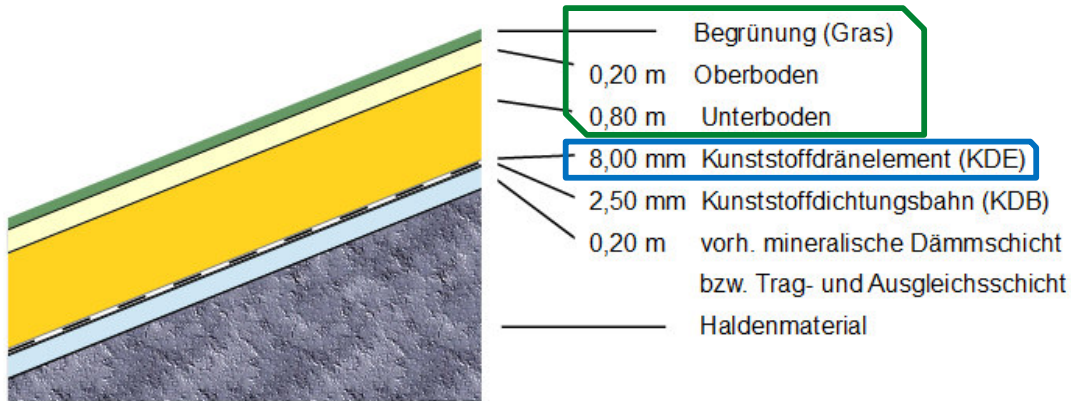


Optimierung des Abdichtungssystems - Anforderungen

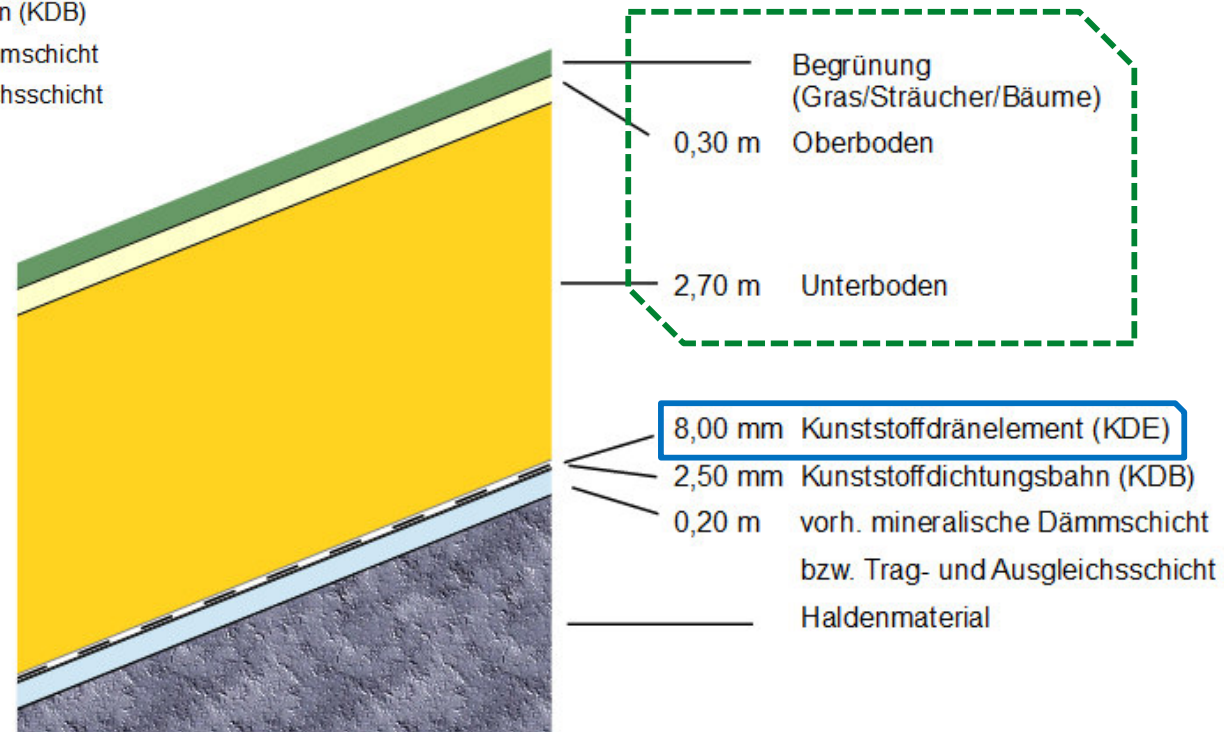
- Verhinderung des direkten Kontakts zwischen dem kontaminierten Material und der Umwelt bei Einhaltung der Strahlenschutzanforderungen
- Anpassung der Halde an das Landschaftsbild
- Die Permeabilität des Abdichtungssystems muss um mehrere Größenordnungen niedriger als die des Haldenmaterials sein
- Reduzierung des Einflusses der Bioturbation auf die Dichtigkeit des Abdeckungssystems, z.B. durch Tiere und Wurzeln
- Gewährleistung der Standsicherheit und des Erosionsschutzes der Abdeckung
- Dauerhafte Reduzierung der Radonkonzentration in der bodennahen Luft für Betrachtungszeiträume von deutlich mehr als 100 Jahren
- Entwicklung und Umsetzung von Konzepten zur Qualitätssicherung während der Planung und des Baus sowie zur langzeitlichen Funktionalitätskontrolle



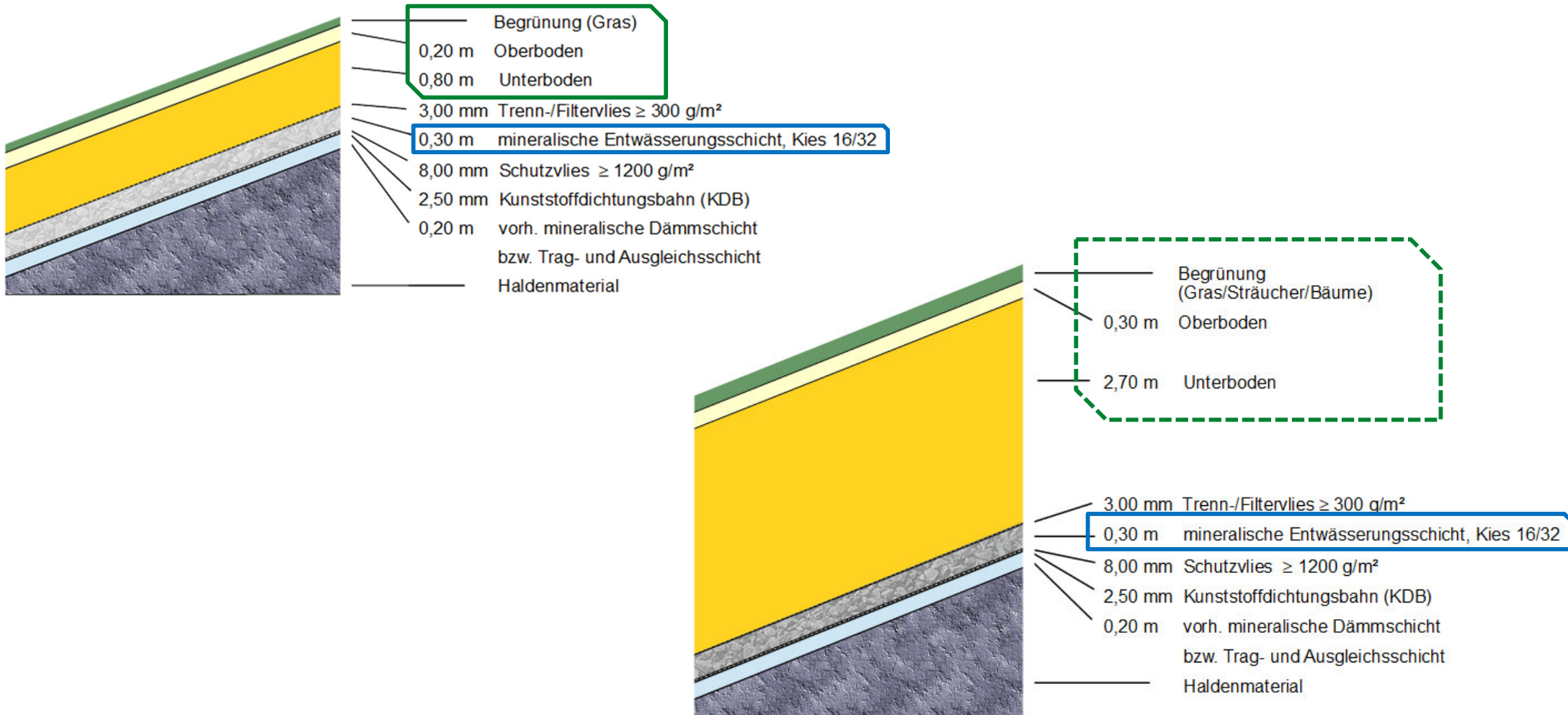
Oberflächenabdichtung – System A: Konvektionsdichtung KDB



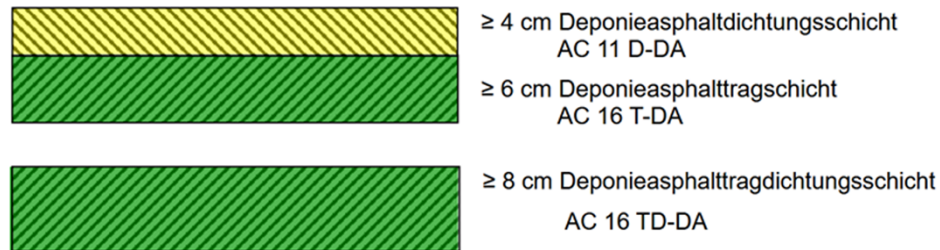
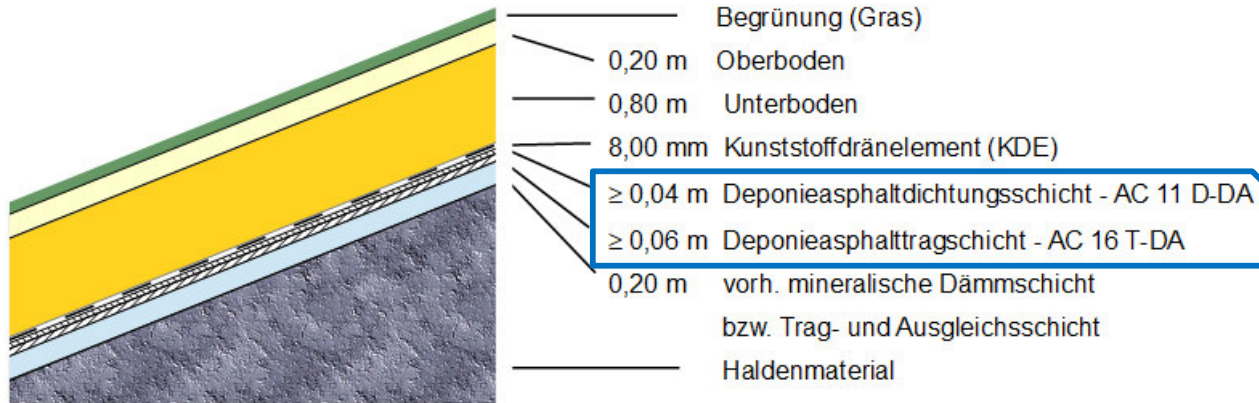
Kunststoffdränelement



Oberflächenabdichtung – System A: Konvektionsdichtung KDB

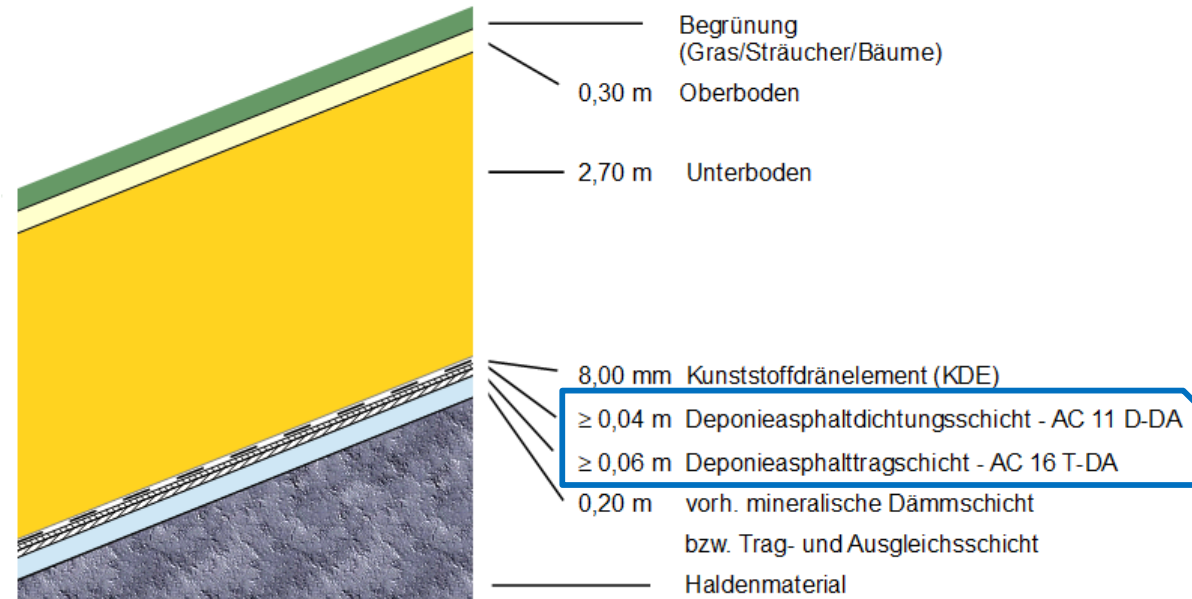


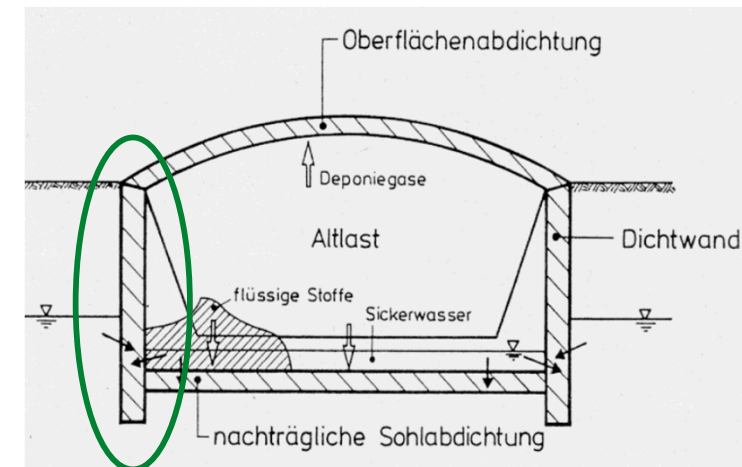
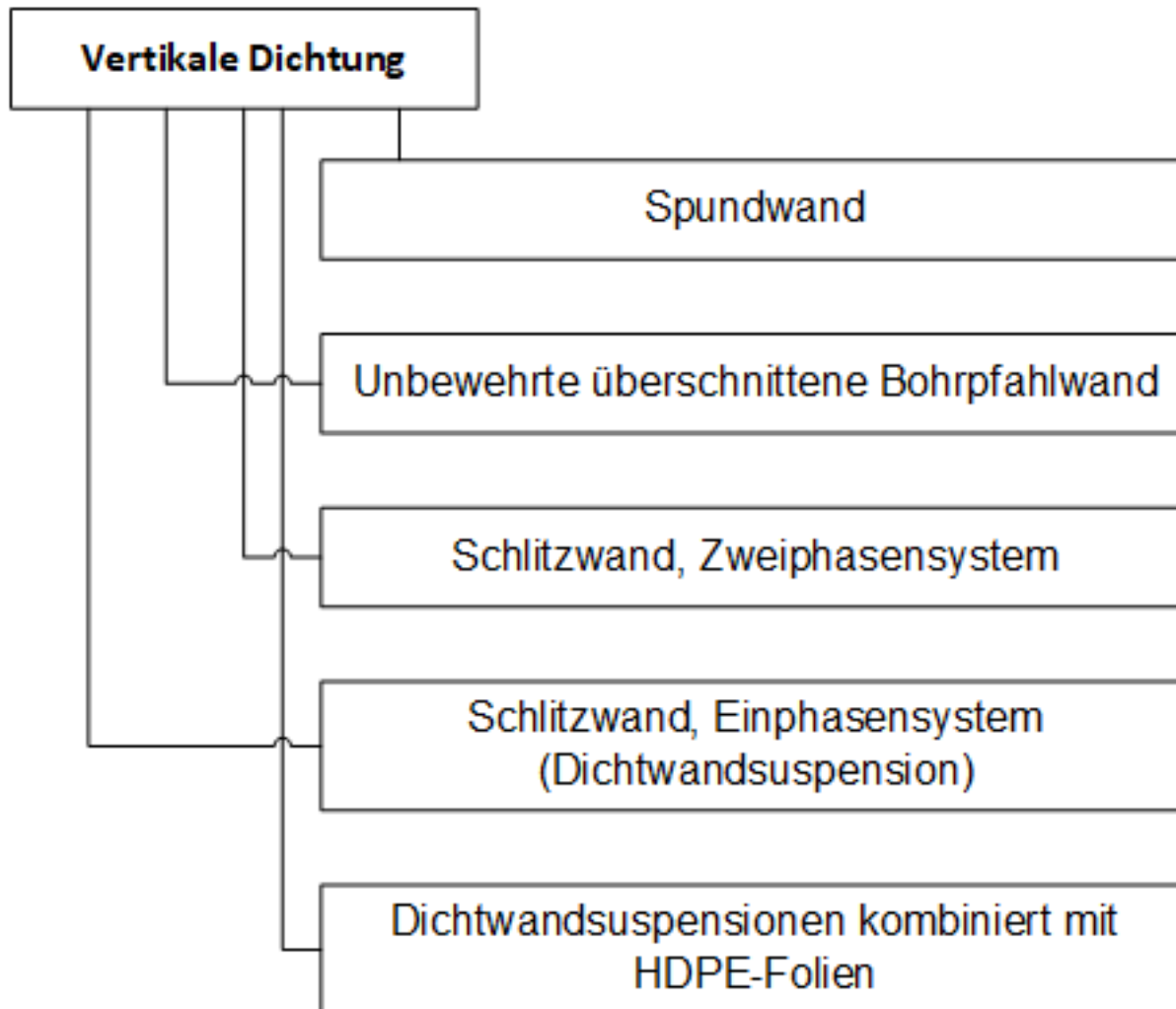
Oberflächenabdichtung – System B: Konvektionsdichtung Asphalt



Asphalt-Oberflächenabdichtung

Quelle: Güterichtlinie Abdichtungskomponenten aus Deponieasphalt



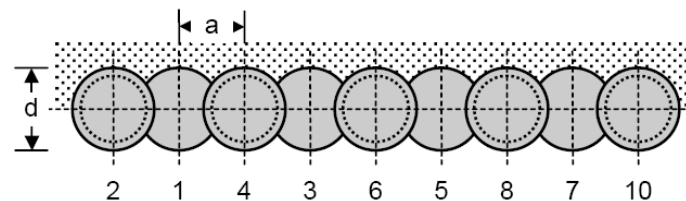
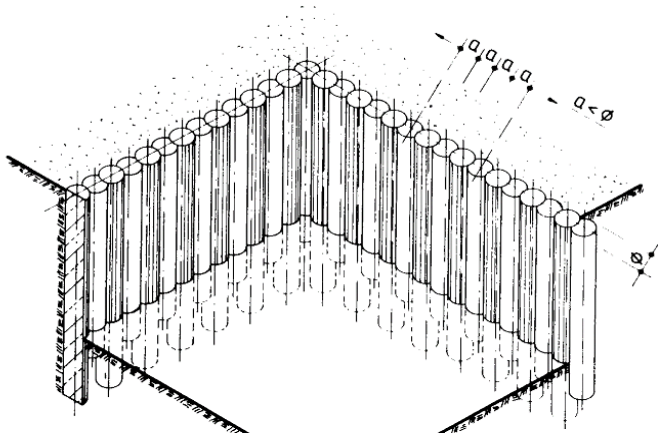


Vertikale Dichtung – Spundwand



- große Erschütterung beim Einbringen
- Fußeinbindung im festen Boden und Schlösserdichtigkeit gegen Radontransport problematisch

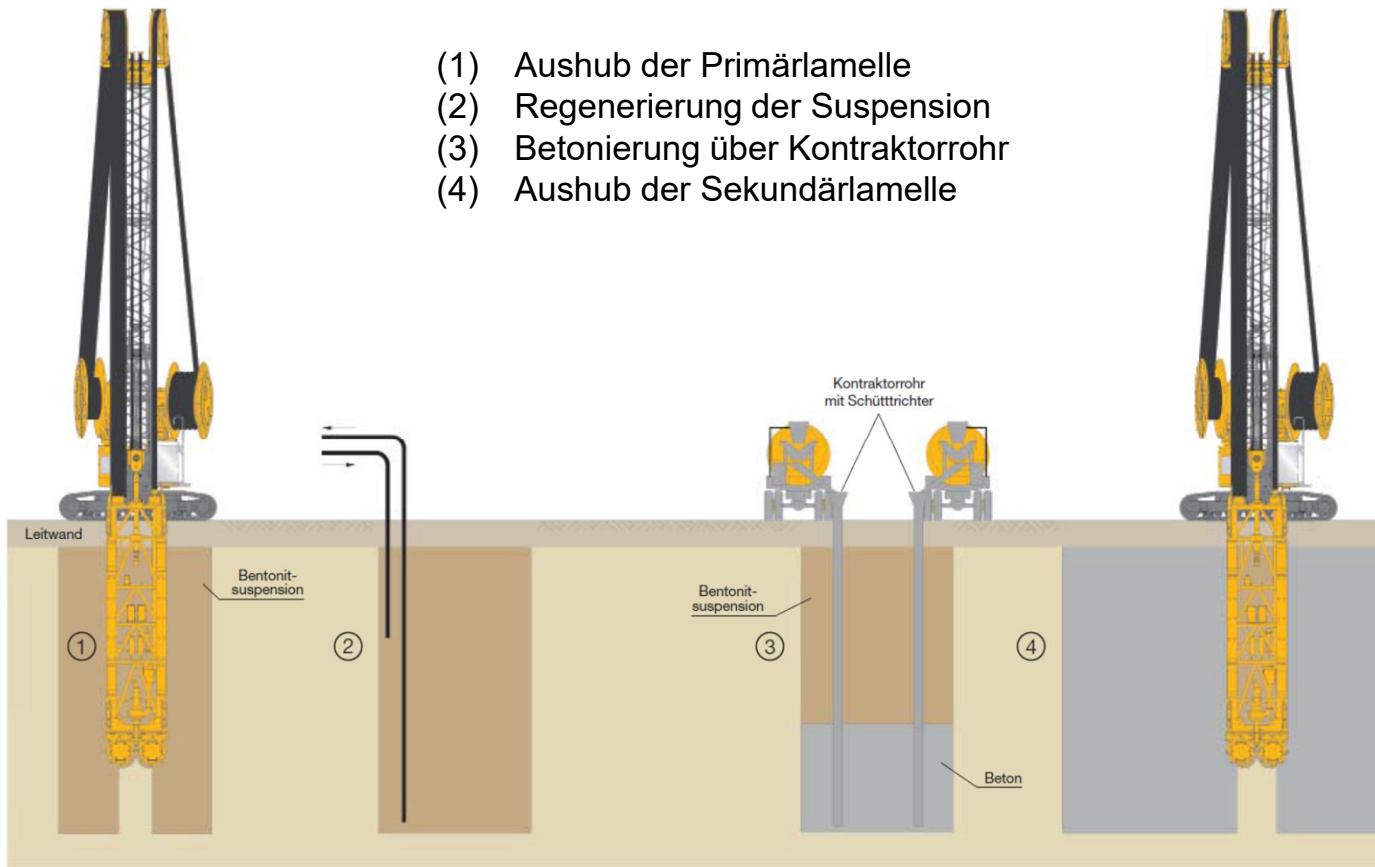
Vertikale Dichtung – überschnittene Bohrpfehlwände



- Gasdichtigkeit der Anschlüsse zwischen zwei Pfählen ist nicht immer gegeben
- Baustelleneinrichtung ist kostenintensiv

Vertikale Dichtung – 2-Phasen-Schlitzwand ohne statische Funktion

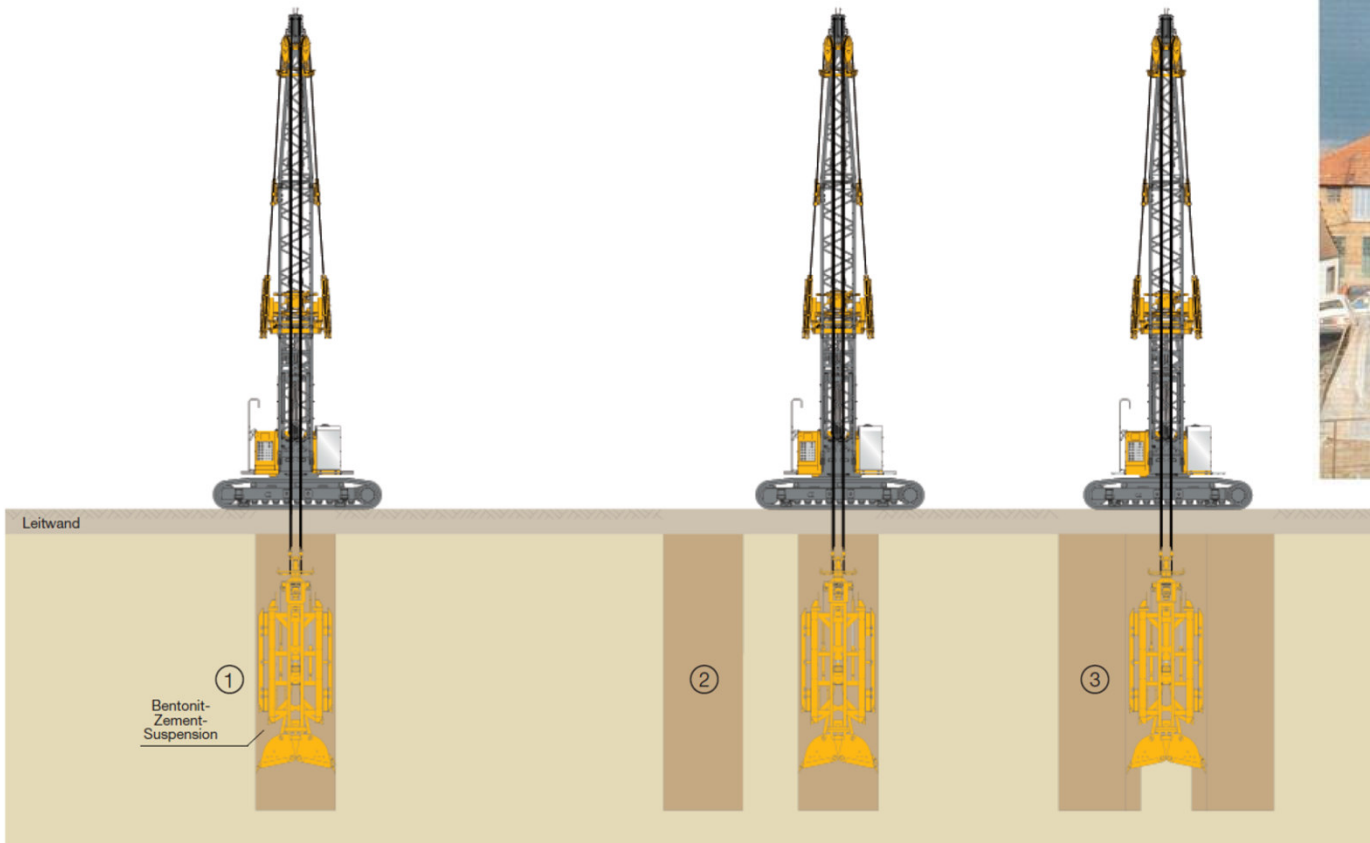
- (1) Aushub der Primärlamelle
- (2) Regenerierung der Suspension
- (3) Betonierung über Kontraktorrohr
- (4) Aushub der Sekundärlamelle



- Dichtheit ist gut realisierbar
- Baustelleneinrichtung ist kostenintensiv

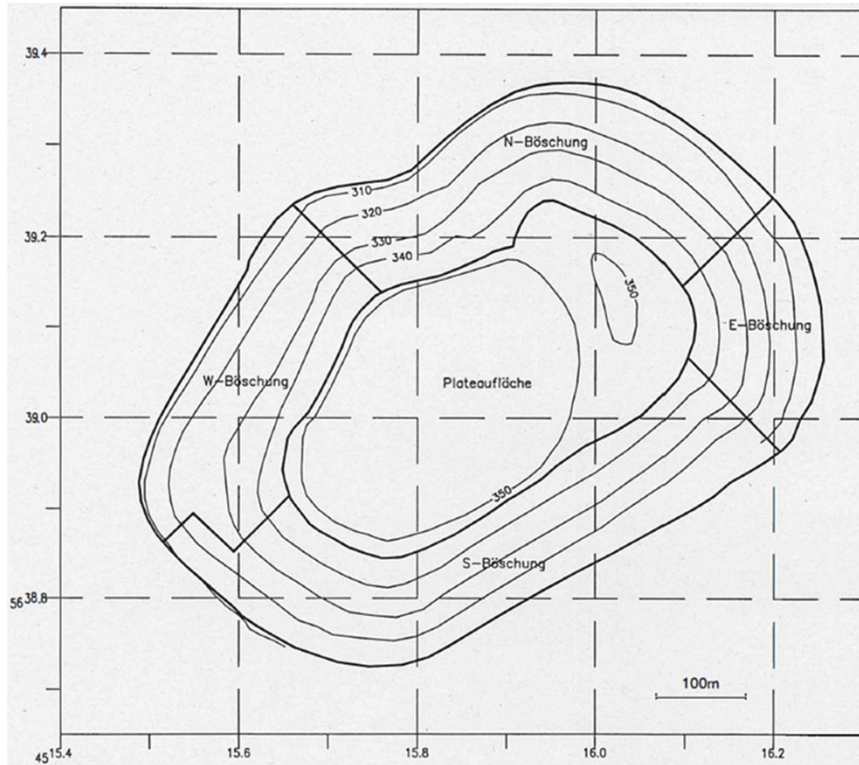
Vertikale Dichtung – 1-Phasen-Schlitzwand ohne / mit HDPE-Folie

- (1) Aushub 1. Stich
- (2) Aushub 2. Stich
- (3) Aushub Mittelstich/fertig hergestellte Lamelle, bestehend aus drei Stichen

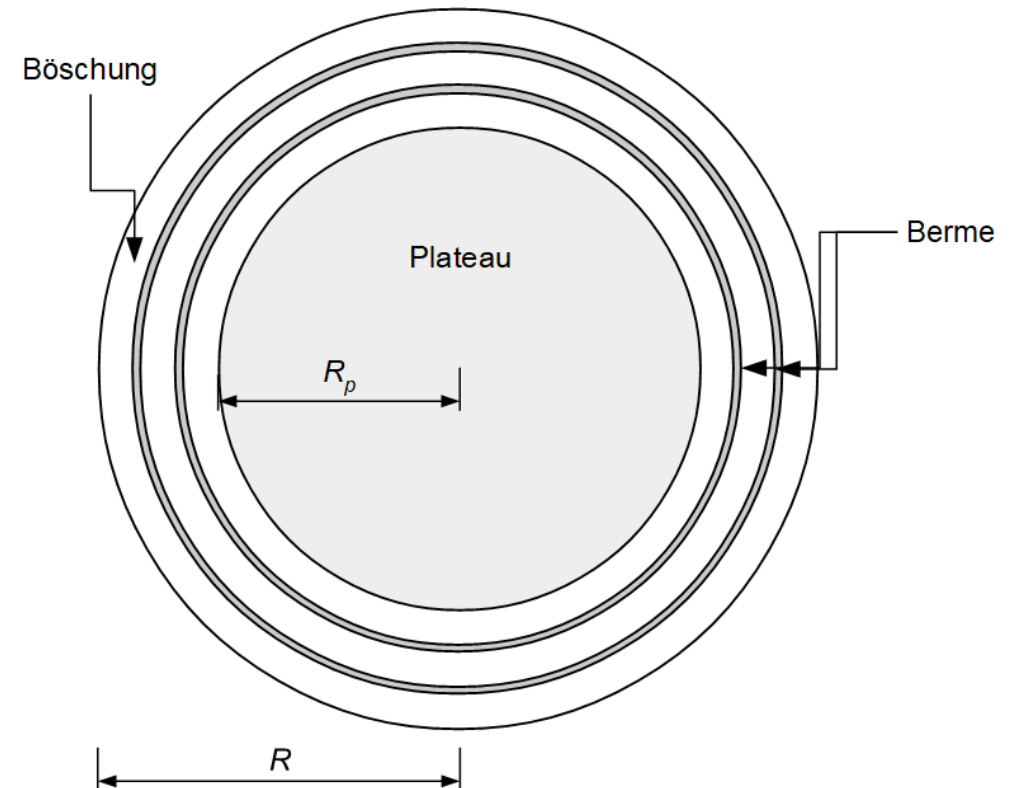


- Sehr gut geeignet
- Baustelleneinrichtung ist kostenintensiv

Modellhalde - Beschreibung



Beispiel einer vorhandenen, freistehenden Halde



Beispiel einer freistehenden Modellhalde

Modellhalde - Beschreibung

Konzept:

- Idealisierte Halde: Zusammensetzung des Materials, Geometrie, Größe sind in Anlehnung an vorhandene Halden im Untersuchungsgebiet gewählt worden
- Anhand der Modellhalde werden die optimierten Lösungsansätze geprüft und die Anforderungen präzisiert

Parameter:

- Freistehende Halde, Aufstandsfläche 25.0 ha, Gesamthöhe: 50.0 m
- Böschungsneigung der Halde (1:n → 1:3.0, 1:2.5 und 1:2.0) bzw. Böschungswinkel $\beta = 18.4^\circ$, 21.8° und 26.6°
- Anordnung von 2 bzw. 3 Bermen in der Haldenböschung für die Minimierung des negativen Einflusses des Sickerwassers, Erhöhung der Standsicherheit sowie Erleichterung der landschaftlichen Pflegearbeiten und Kontrollarbeiten
- Teilabdeckung bzw. Vollabdeckung einer Halde.

Bermen begrenzen den abzudichtenden Bereich bei einer Teilabdeckung

Modellhalde - Beschreibung

Zielsetzung:

- Simulation der Bau- und Endzustände der optimierten Oberflächenabdeckungen
- Die Nachweisszenarien der Standsicherheit wurden für folgende Varianten durchgeführt:
 - Sanierung nicht gedeckter Halden
 - Nachsanierung von gedeckten Halden
 - Teilabdeckung einer Halde (Sanierung sowie Nachsanierung)
- Gewinnung von belegbaren Aussagen zur Leistungsfähigkeit und Anwendungsgrenzen bezüglich des Radonaustrittes und der Langzeitfunktionalität der optimierten Oberflächenabdeckungen
- Standsicherheitsuntersuchungen für die festgelegten Geometrien der Modellhalde für die optimierten Systeme → Simulation von Bau-, Normal- und Extremzuständen

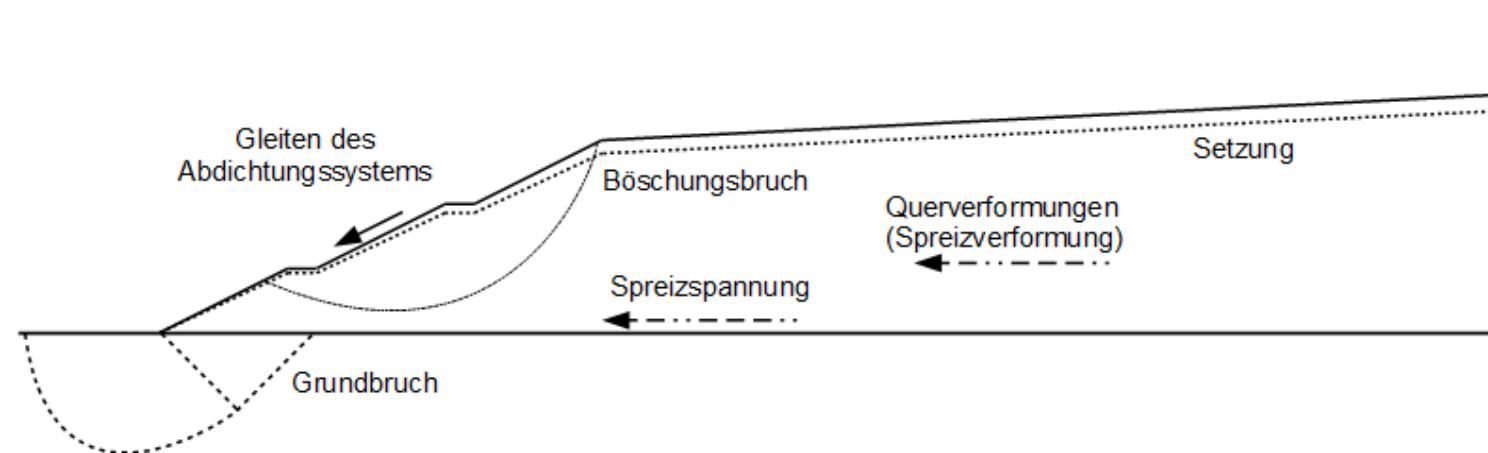
Modellhalde - Standsicherheitsuntersuchung

Innere Standsicherheit:

- Setzungen / Sackungen*
- Querverformungen*

Äußere Standsicherheit:

- Grundbruch*
- Spreizen*
- Böschungsbruch, Systeme:
 - Haldenmaterial und Oberflächenabdichtungssystem
 - Gleiten von Oberflächenabdichtungssystem

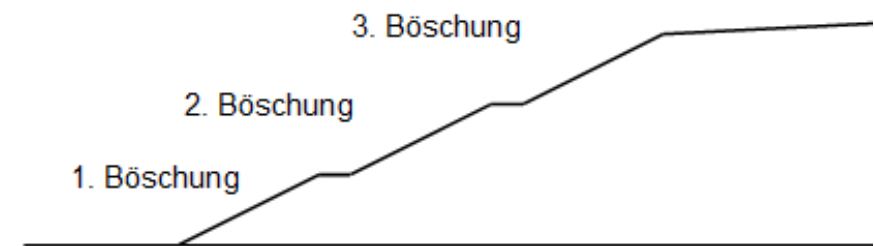
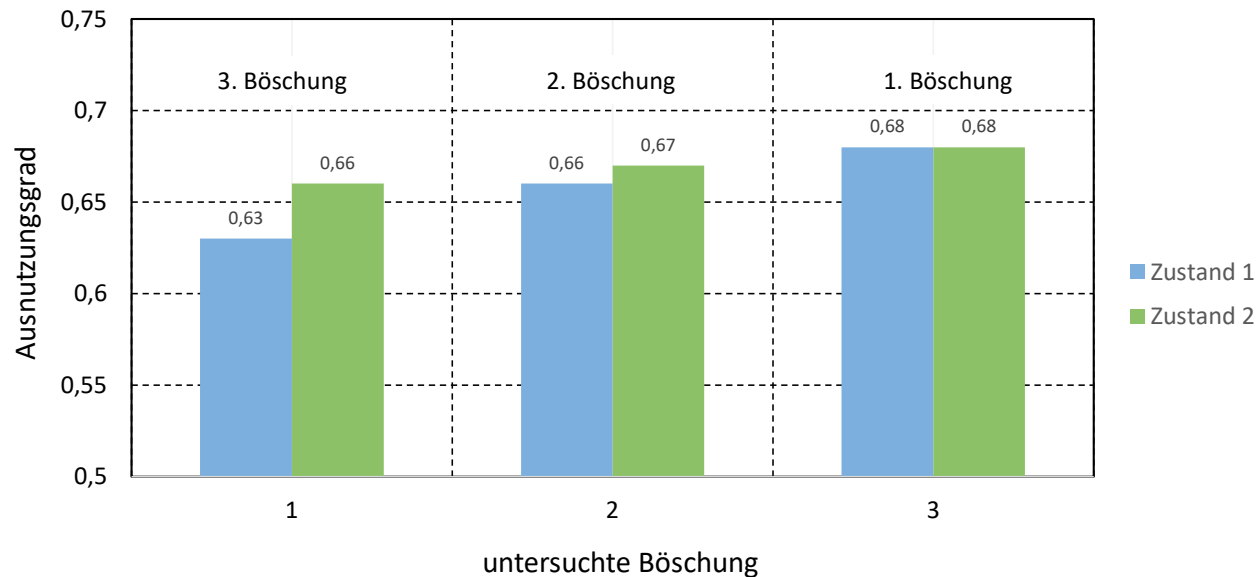


*) Keine relevante Ursachen für den Verlust der gesamten Standsicherheit der Uranbergbauhalden in Sachsen und Thüringen!

Modellhalde - Standsicherheitsuntersuchung

Ergebnisse:

- Bei den Oberflächenabdichtungssystemen mit einer 3,0 m dicken Rekultivierungsschicht wurde von einer Bewaldung der Böschungen ausgegangen.
 - Endzustand 1: Begrünung mit Grasbewuchs, unmittelbar nach Beendigung der Sanierungsmaßnahme
 - Endzustand 2: Begrünung mit Sträuchern und Bäumen, 60 - 80 Jahre nach der Sanierung
- Im Endzustand 2 wurde festgestellt, dass eine Erhöhung der Ausnutzungsgrade im Vergleich zum Endzustand 1 vorhanden ist.



Modellhalde - Standsicherheitsuntersuchung

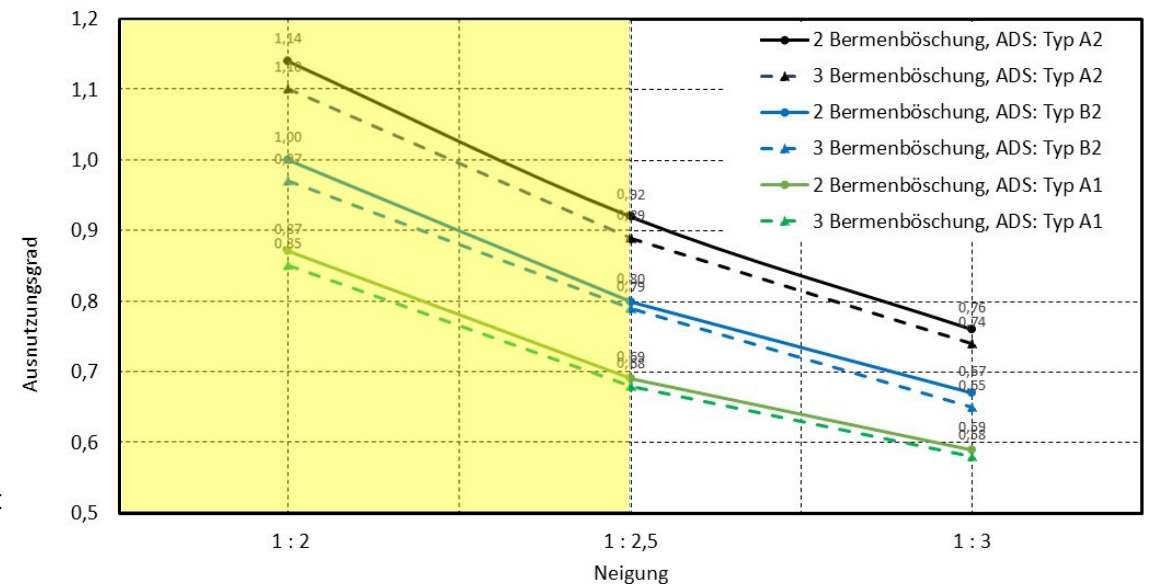
Ergebnisse:

- Oberflächenabdichtungssysteme mit einem Kunststoff-Dränelement liefern bessere Standsicherheitsergebnisse als Systeme mit einer mineralischen Entwässerungsschicht auf Grund der höheren Scherfestigkeit in der Gleitfuge
- Systeme mit 3 Bermen weisen geringfügig größere Sicherheitsreserven gegenüber Systemen mit 2 Bermen auf
- Bei Böschungen (1:2.0) steigt der Ausnutzungsgrad überproportional zu

A2: KDB, DKE, 3.0 m Rekultivierungsschicht

B2: Asphalt, DKE, 3.0 m Rekultivierungsschicht

A1: KDB, DKE, 1.0 m Rekultivierungsschicht



Modellhalde - Standsicherheitsuntersuchung

Diskussion der Ergebnisse:

- In keinem Untersuchungsfall waren Gleitflächen im Haldenmaterial maßgebend. Die ungünstigsten Gleitflächen entstanden hauptsächlich in der Oberflächenabdichtung.
- Die Standsicherheitsuntersuchung ergab keine Vor- bzw. Nachteile der Teilabdeckung gegenüber der Vollabdeckung der Haldenböschungen aus statischer Sicht.
- Böschungsneigungen von 1:2,5 bzw. 1:3 in Verbindung mit gängigen Bodenarten, Geokunststoffen und Asphalt liefern standsichere Systeme.
- Steile Böschungen mit einer Neigung von 1:2 sind nicht zu empfehlen → Einsatz von geokunststoffbewehrten Systemen
- Die Bewaldung einer Böschung ist möglich. Baum- und Windlast haben einen geringen Einfluss auf die Standsicherheit.
- Die Bewaldung bedingt die Herstellung einer ca. 3,0m mächtigen Rekultivierungsschicht als Tragschicht für die Vegetation.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit