

## **Mit Asse II als Endlager kann umgegangen werden!**

1. Das Salzbergwerk Asse bereitet vielen Menschen große Kopfschmerzen, da die Entwicklung mit einem Entsorgungssupergau enden kann. Weiteres Zögern in der jetzigen Situation ist unverantwortlich. Im Fatalismus liegt das Unheil. Wir müssen in dieser Konstellation der Tatsachen auch fähig sein zu Vorbereitung einer Endlösung. Die Unentschlossenheit und Unsicherheit – das Fehlen von Erfahrung, das Verschieben der Verantwortung (politisch) ist eine Herausforderung.

*Gleichnis: In einer Gruppe Menschen wird eine Flasche gefährlichen Inhalts (Nitroglyzerin) aufgrund der bekannten Wirkung ablehnend schnell weiter gegeben, da natürlich keiner das hoch explosive Zeug in den Händen behalten möchte. Leider führt dieses Verhalten sicher zur Katastrophe.*

*Was macht aber Stoffe mit Potenzialen wirklich gefährlich? Ihre Existenz? Wohl nicht! Aber der unsachgemäße Gebrauch sicher! Diese Stoffe brauchen einen verständnisvollen Umgang, der nicht von Gefühlen getrieben sein darf, sondern von Wissen und fachlichen Können.*

2. Wie können wir zu einer guten Lösung des Endlagerproblems kommen? Dazu müssen wir uns die zukünftig zu erwartenden natürlichen Vorgänge im Berg vor Augen führen. Der Salzstock ist in dieser Tiefe einem sehr starken Deckgebirgsdruck ausgesetzt. Ungünstig ist mit zunehmender Verformung auch die Verstärkung der Scherwirkung des Deckgebirges, da Stollen in vielen Etagen untereinander liegen - Verformungen der unteren Stollenwände und somit eine Vertikalbewegung des Gebirges einen zusätzlichen Druck auf die Südflanke in den oberen Kammern erzeugt.
3. Weiterhin zeigt das Salzgestein in diesem statischen Ungleichgewicht nur teilweise plastische Eigenschaften (nur in der äußeren Druckseite) und weicht dem Gebirgsdruck ohne ausreichendes Fließen aus. Dieses Verhalten wird deutlich durch das Eindringen von Sickerwasser. Der Salzstock vermorscht in dieser dynamischen Anpassung und die Decken (Schweben) der Kammern, die nur für den zeitbegrenzten Abbau genügend - nicht als Gewölbe gearbeitet, sondern scheinrecht durch das Schrämmfräsen entstanden sind, würden als Erstes bogenförmig ausbrechen. Des Weiteren wird das Deckgebirge immer weiträumiger seine innere vorteilige Statik durch den kontinuierlich nachlassenden Gegendruck verlieren, in der Tiefe weiter zerrütten und noch höheren nicht mehr verlässlich berechenbaren Druck aufbauen.
4. Dies geschieht mit der Bildung statischer Bögen, die durch geschaffene elastische Hohlräume im Berg entstehen. Sediment löst sich aber im Druckunterschied mit der Zeit aus den Spannungsbögen, was sich durch die Verschiebung des Salzstocks zeigt. Es erfolgt ein langsamer Umbau des Kraftflusses im Deckgebirge von bogenförmiger Verspannung zu steigendem vertikalen Druck. Diese Setzungen erweitern sich kegelförmig bis an die Oberfläche. Unelastischer Verbau hat folglich die geringste Auflast zu tragen und umgekehrt. Eine fließende Gesteinshülle hat demnach immer weiter steigende Drücke zu halten – bricht im ungünstigen Verhältnis zwischen Wandstärke und Stollen. Sie kann deshalb oft nur Zeitbegrenzt genutzt

werden.

5. In dieser Wirkkette werden nun die verbliebenen Deckenstücke, welche gleichzeitig die Böden der oberen Kammern bilden, dem Druck des seitlich aufliegenden Deckgebirges in ihrer Funktion als Stützriegel durch die verstärkte Stauchung nicht mehr widerstehen. Mit dem zu erwartenden Bruch der Südflanke, dem Eindringen von Wasser in die Deponie und dessen anschließender Verdrängung durch eine weitere Verpressung dieser, würde das kurzfristig geschehen, was geschehen kann, aber nicht darf. **Daraus folgt auch, dass das Bergwerk in keinem Fall nur geflutet werden darf! Die nachfolgende Vorgehensweise würde für sich gelassen somit auch nicht genügen!**

<http://www.castor.de/presse/spiegel/2007/17.html>

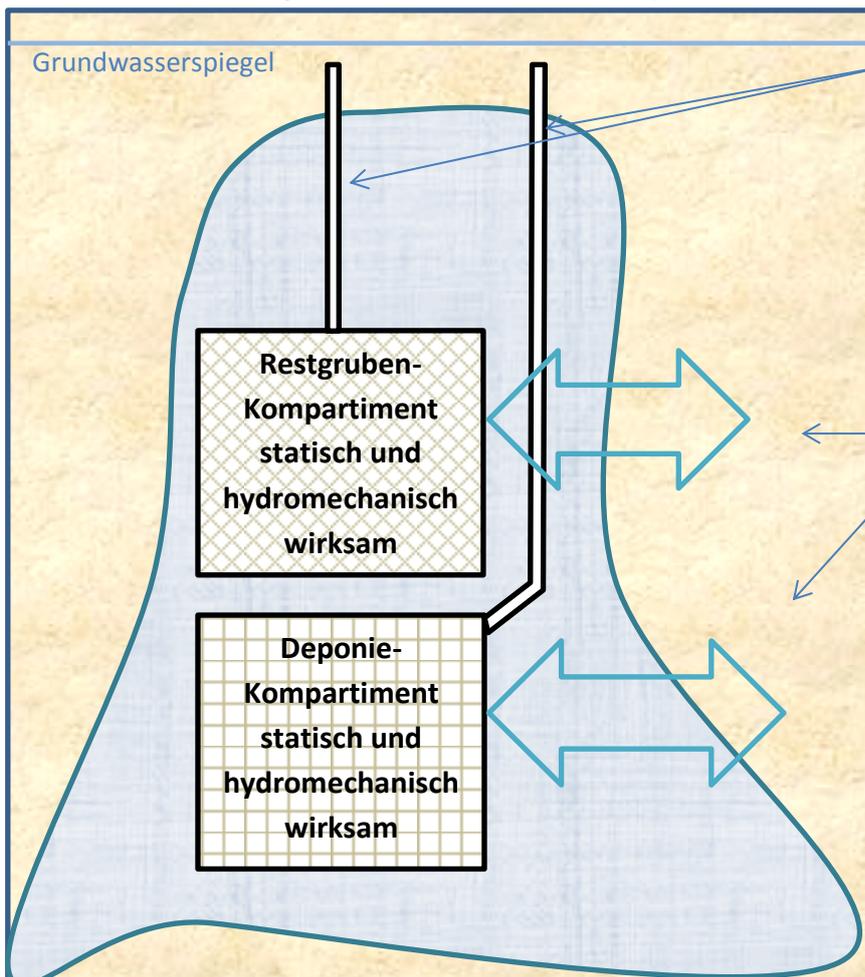
*Maßnahmen gegen den Lösungsaustritt*

1. *Verfüllung der Hohlräume mit Salz; Von 1995 bis 2004 wurden über zwei Millionen Tonnen in die alten Abbauhohlräume gefüllt, um die Grube zu stabilisieren.*
2. *Einspeisung von „Schutzfluid;“ Dieses soll verhindern, dass die eindringende Salzlösung das Salzgestein auflöst und die Abfälle in das Deckgebirge gelangen.*
3. *Bau von Strömungsbarrieren; Diese dienen der Begrenzung und Lenkung der Lösungsbewegung.*
4. *Schachtverschlüsse*

6. Was können wir tun, um zu verhindern, dass uns die Ereignisse entgleiten?  
Selbst das Verfüllen mit Salzgrus, sowie das Auffüllen des Schachtes mit einem Schutzfluid zur „Lösungsverhinderung“ von Carnallit in den tragenden Wandbereichen der Südflanke, der Schweben und Pfeiler lässt eine große statische Lücke. Das nicht mehr notwendige Abpumpen des Grubenwassers durch geeignetere Maßnahmen ist das einzig Richtige!  
Einzulagernde Radionuklide erfordern bergmechanisch und hydraulisch bessere Bedingungen. Die Lagerstätten müssen ohne Wartung mehr als eine Million Jahre stabil sein. Wenn die künstlich geschaffenen Hohlräume, die schon teilweise angefüllt wurden mit Salzgrus, durch Setzungen des Deckgebirges enorm gepresst werden, so verschwinden diese Hohlräume nach und nach und der „Salzbrei“ verdichtet sich wieder zu Stein. Die  $MgCl_2$ -Lösung (1,3 Mio.  $m^3$ ) wird herausgepresst und kann durch das poröse Sediment in das Deckgebirge aufsteigen. In der Grubenanlage befänden sich für diesen Vorgang genau so viel Flüssigkeit wie wir dann hinein gefüllt haben.
7. Es ist in dieser Situation davon auszugehen, dass Salzlösung aus den kontaminierten Lagerkammern in das Grundwasser gelangt. Das ist nicht akzeptabel. Auch ist zu erwarten, dass die abverlangte Fließsetzung bis zum Aufbau eines ausreichenden Gegendruckes durch die eingebrachte Salzschüttung die Südflanke überfordert und vorher diese zerrüttet.  
Das Deckgebirge braucht schnell einen mechanischen Gegendruck, der so stark sein muss, dass kontaminiertes Grubenwasser nicht aufsteigt und eine Zerrüttung der Gesteinsschichtung durch extreme lokale Setzungen verhindert werden kann. Das können wir **nicht** mit einer Salzschüttung erreichen, die enorm nachgibt, sondern nur mit angepassten Kiesmischungen. Salzschüttung verhält sich unter hohem Druck wie ein gepresster Schwamm, aus dem alle Flüssigkeit entweicht. Das wird auch durch die Fließeigenschaften des Salzes unter hohem Druck bedingt. Der Anschein von Festigkeit des verharschten Salzgruses sollte uns nicht täuschen.
8. Erklärungen: Kies ohne Feinbestandteile in einer bedarfsgerechten Frakturierung schichtet sich in dichtester Packung schon im Schüttvorgang und braucht also nicht nachträglich verdichtet werden – siehe Schotterbett eines Gleises. Dabei gilt: Umso

größer die Körnung/Frakturierung ist, umso mehr Fluid und Binder kann in den Hohlräumen des Schüttgutes aufgenommen werden.

9. Kies liefert also den notwendigen Gegendruck, den der verbliebene Salzstock braucht, um in seiner Form zu bleiben und um sich somit als Bauwerk in seinen Hüllwänden bis zur Wasserundurchlässig durch **gleichmäßige** Fließsetzung (*Druck im gesamten Querschnitt des Gesteins*) verdichten zu können. Weiterhin ist die Kiesschüttung als statisches Gerüst in einem dauerhaften Porenspeicher eines „Unterwasser-Endlagers“ technologisch unentbehrlich.
10. Die Verfüllung mit Salzbeton lediglich in der Lagerkammer ist vorteilig, um Radionuklid-verunreinigte Lösung zu binden und mit der Auffüllung der Grube **an sich diese zu reduzieren**. Doch braucht es die Verbindung zu einem Porenspeicher und zutage, um die notwendige innere Kommunikation der Lösung im Schacht zu ermöglichen. Die Option der Rückholung bei einer Betonverfüllung ist aber erschwert. Spezielles Gemenge (im Folgenden) hat diesen Nachteil nicht und weitere Vorteile.
11. Die genannte Begründung zur Schutzfluideinspeisung ist mit dem Ausgleich der Wassersäulen und des eingebrachten auch statisch wirksamen Porenspeichers nicht mehr treffend. Auslaugungen können nur mit einem ungebrochenen Nachströmen ungesättigten Wassers entstehen. Der Grund für das Auffüllen mit einer maximal gesättigten Salzlösung sollte sein, dass einfach weniger Wasseranteil in den Porenspeicher gelangt und durch das spätere Kristallwachstum folglich weniger Lauge herausgepresst werden kann. Die nun mit Salzgrus verfüllten alten Stollen werden mit ihrer Verdichtung einen zusätzlichen Aufwärtsstrom an Lösung bewirken, der noch schneller verunreinigte Lösung aus der Deponie „huckepack“ nach oben transportieren würde und somit hydraulisch **nicht** in Verbindung mit einem kommunizierenden Endlagersystem stehen darf.
12. **Bild 1: Entkoppelung von Geomechanik und Hydromechanik**



Hydraulische Kommunikation zum atmosphärischen Druck  
Berg- und hydromechanische Potenziale sind infolge auf allen Höhenlinien ausgeglichen.

Somit sind hydrostatische Drücke in den Gruben-Kompartimenten und im Deckgebirge konvergent.

Spannungstensoren im Gebirge und dem Salzstein können sich naturieren.

13. Lösungsaustritte aus diesen Stollen dürfen also **nicht** in den Speicherstrom eines Deponieporenspeichers einfließen und brauchen ein gesondertes, räumlich gut getrenntes und setzungssicheres Strömungssystem. Ihre Kompression darf das kommunizierende System „Deponie“ nicht gefährden und muss folglich auch mit verlässlichen Barrieren zu diesem abgeriegelt werden.
14. Die Stollen, die mit Salzgrus verfüllt wurden, müssen für sich in der Lösung kommunizieren können. Sie brauchen **eigene** setzungssichere Strömungswege zu Tage, um ihren unter Setzungsdruck zwanghaften Lösungsaustritt in den wertvollen Porenspeicherraum der Deponie hinein, zu vermeiden (*Entkoppelung von Geomechanik und Hydromechanik*).

**15. Der Vorteil von Porenspeicher mit Splitt/Kies-Gerüst und Binder ist:**

1. dass die langsam nachgebenden Schweben und Pfeiler schnell durch das Anpressen an die nicht nachgebende Schüttung den notwendigen Gegendruck bekommen, den diese und damit das Deckgebirge braucht.
2. Weiterhin werden die Hohlräume in der Schüttung erhalten, die das Fluid beinhalten. Die Salzlösung ist dann vergleichbar mit dem Totwasser im Tiefengestein, welches dort viele Tausend Jahre ruht. Sie kann mit dem Wasser im Deckgebirge konvergieren, also durch den geomechanischen Ausgleich können sich hydraulisch getrennte Systeme im Druck ebenfalls ausgleichen, wenn die Lösung im Stollensystem zu Tage offen kommunizieren kann.
3. Die eingelagerten Gebinde haben nach der Flutung mit schwerer Salzlauge eine definierte Menge Salzlösung in sich und in den Hohlräumen in der speziellen Art der Stapelung. Die Komprimierung der Lager durch das Deckgebirge drängt die Lösung aus der Deponie heraus in den Porenspeicher, welcher in seiner Aufnahme berechenbar ist und nun im selben Maße in ihm enthaltene nichtkontaminierte Lösung weiter im Stollen ohne blockierende Barrieren, aber mit die Strömung im Raumquerschnitt gleichmäßig verteilenden Durchlässen (Diffusoren), nach oben weiter gibt.
4. Weiterhin bleiben die Stollen und Kammern mit den eingebauten Strömungsbarrieren und darin enthaltenen definierten Durchlässen (Schweben) für die gleichmäßige Durchströmung des gesamten Querschnittes erhalten. Somit ist eine vollständige Beaufschlagung der Pufferspeicher möglich. **Das absolut druckdichte Verschießen des Deponiesystems darf nicht geschehen!** Damit würde nur Salzlauge unkontrolliert in das Deckgebirge gepresst, durch Sickerspalten, die jetzt schon vorhanden sind und durch weitere Setzung noch entstehen.
5. Eine bleibende hydraulische Entspannung der Schachtanlage kann nun zuverlässig verhindern, dass kontaminiertes Fluid durch **geomechanischen Druck** in das Deckgebirge gepresst wird, da die Anlage in ihren Abmessungen und ihren funktional kommunizierenden Bestandteilen erhalten bleibt. Der Wasserdruck an jedem Punkt im Schacht kann sich nun synchron zur Höhenlinie im Deckgebirge gestalten. Mit dem synchronen Wasserdruck steigt Fluid nur soweit zutage auf wie verdichtbare Hohlräume vorhanden sind. Dies ist der Hinweis, dass das sich setzende Deckgebirge dicht ist und das Fluid in der Anlage ausreichend kommuniziert. Wenn die Berechnung zur Kapazität der Porenspeicher ausreichen richtig war, so wird in dem am Sattel aufsteigenden Fluid keine höhere Radioaktivität festzustellen sein, als wie sie ohnehin schon in der Anlage außerhalb der Lager war. Der Pegel der Schachtanlage sollte zunächst fast auf der Höhe des Grundwasserstandes im Deckgebirge gehalten

werden. Damit wird lediglich die berechnete Menge verdrängter Lösung aufsteigen, da Wassereintritt in den Stollen, oder deren Austritt durch den Salzstock hindurch nicht erfolgen kann.

6. Langsamkeit ist bei der bruchlosen Fließsetzung des Salzstockes grundlegend. Die maßvoll in Grenzen gehaltene mechanische Druckdifferenz, die durch die inkompressible Füllung möglich ist und vom hydraulischen Druck des Fluid entkoppelt wurde, ermöglicht das. Die (nur bergmechanisch) „schwache“ Südflanke ist somit in ihrer Dichtheit nicht beeinträchtigt. Die nun mögliche langsame Fließsetzung bei **allseitig** hohem statischem Druck bewirkt zusätzlich das Schließen von schon gebildeten Rissen, bei ausreichender hydraulischer Konvergenz zum Deckgebirge vorausgesetzt.
16. Es kann eine Kristallisationsbremse auf die Wände, Böden und Decken der Kammern vor dem Verfüllen mit Kies aufgebracht werden, um das Kristallwachstum in die Schüttung hinein für lange Zeit zu verzögern. Das Wachsen der Salzkristalle in die Verfüllung würde in vielen hunderttausend Jahren das Verdrängen der Salzlösung bewirken, was mit einer Sperre (*eventuell ungebrannte Tonerde/Sand-1/3-Ziegel-Mauerung*) unterbrochen-, bzw. auf geologische Zeiträume verlängert werden kann.
17. Zueinander konvergierende hydraulische Systeme verhindert die Entstehung von Durchflüssen. Durch den nicht verdichtbaren Porenspeicher, sowie durch den hohen Deckgebirgsdruck und den somit wirksamen Fließseigenschaften des Salzes wird der Salzstock im vollen Querschnitt wieder zur dichtesten Packung verfestigt und bildet eine zuverlässige natürliche Barriere.  
Unter den so geschaffenen Bedingungen ist eine **sichere** Lagerung großer Mengen Abfällen mit wenig wärmentwickelnder Radionuklide, oder im umgekehrten Verhältnis, wartungsfrei möglich.
18. Es werden die **Vorteile des Salzes** genutzt für eine dauerhafte Abdichtung. Der beste Schutz vor Lösungsaustritte ist ein „Nasslager“ im Salzgestein, welches mit dem Deckgebirge konvergiert und in sich kommunizieren kann! Es muss als Endlager **immer** mit Lösung gefüllt werden!
19. Nur die für die Zukunft **intakt bleibende** Südflanke und ausgeglichene Drücke sind akzeptabel. Um das zu ermöglichen, muss schnell gehandelt werden. Dafür braucht es aber die Duldung des Vorgehens durch die Bürger dieser Region. Politiker und Sachverständige werden diese Aufgabe nicht allein zeitgerecht und möglicherweise gar nicht ohne regionalpolitische Unterstützung lösen können.  
Eine große fachliche Sicherheit, vollkommene eigene Überzeugung und folglich eine starke persönliche Wirkung befördern die Überzeugungskraft in der Argumentation sehr.
20. Auch ein geräumtes Atommülllager, wenn dies noch gelänge in einem sicheren Zeitrahmen, können wir nicht einfach sich selbst überlassen - es braucht auch noch Zeit für die Nachsorge! Dabei kann mit dieser Methode ebenfalls abgesichert werden.
21. Prinzipiell wird wie beschrieben auch Endlagerung im Salzstock für die Ewigkeit sicher sein, wenn wir die Lager nicht unangepasst und nicht gegen geologisch wünschenswerte Prozesse gestalten.
22. Die Kompartimente können nicht in unten und oben betrachtet werden, da jedes offen bis an die Oberfläche führt. Das Wort "möglichst" darf nicht sein. Die Kompartimente dürfen nicht in Verbindung stehen. Besser würde sein, wenn es nur ein Kompartiment gebe, um das "möglichst" sicher streichen zu können.

### 23. Warum sollten vorzüglich plastische Grubengebäude in Verbindung mit einem Porenspeicher für die Endlagerung Verwendung finden?

- Das wichtigste Ziel für die Endlagerung in einem plastischen Grubengebäude ist der Erhalt der Grubenkubatur. Nur durch deren statisch wirksame Verfüllung wird zwangsläufig eindringendes Wasser für sehr lange Zeit in den Hohlräumen verbleiben, da es aufgrund der Inkompressibilität des Schüttgutes in der Fließbewegung begrenzt ist.
- Mit der Verwendung von inkompressiblem Gemenge geringster Porosität in den Lagerkammern entsteht nur wenig verunreinigtes Fluid. Eine nur minimal mögliche Komprimierung dieser Lager hat nun wiederum den Vorteil, dass nur wenig nuklidebelastete Flüssigkeit aus diesem herausgepresst wird.
- Diffusionshemmende Porenspeicher in einer vorgegebenen Strömung können diese aufnehmen, ohne sich durch den Gebirgsdruck zu entleeren.
- Nur Endlager bedürfen nicht mehr zwangsläufig Markscheider oder eine bergamtliche Kontrolle, wenn jene richtig konzipiert sind.
- Fließende Grubengebäude (ausreichende Tiefe) richtig berechnet, lassen einen Sickerwasser- Ein- und Austritt nicht zu, sowie nur die Menge Lösung entweichen, die unbelastet und berechnet ist.
- Der Diffusion kann mit der Einschlämmung/Einmischung von Schluff in die Struktur der Schüttung wirkungsvoll begegnet werden.
- Hartgestein ist langfristig nicht wasserdicht und somit unbrauchbar. Selbst aride Standorte sind klimatisch unbestimmt und national nicht verfügbar. Die Gefahr des unverständigen Aufschlusses aufgrund der Oberflächennähe ist größer.

24. Adhäsionskräfte und folglich Hohlräume können durch Darren des Schüttgutes für den Porenspeicher verhindert werden. Verdichtung ist somit nach dem Schüttvorgang nicht notwendig. Steinsand- Gemenge in der Frakturierung 0-12 (Mischung mit geringstem Porenvolumen) als Ersatz für Betonverfüllung (Test der ausreichend dichten Packung im Schüttvorgang) kann für die Verfüllung der Lagerkammern besser als Beton sein. Dazu wird der Zement im Beton durch Steinabrieb/Steinmehl ersetzt. Das ist die Option für spätere Generationen - ein Leichterer Zugriff! Es sollte an möglicherweise weiter entwickelte Verfahren zur Lagerung gedacht werden. Auch kann aus Abfall wieder Wertstoff werden, was heute noch nicht denkbar ist. Auch ist die Verfüllung mit Gemenge zum Zwecke der Reduzierung der entstehenden kontaminierten Lösung, als Gleichwertig zu Beton anzusehen (Wasseranteil) - aber technologisch und finanziell vorteilhafter.

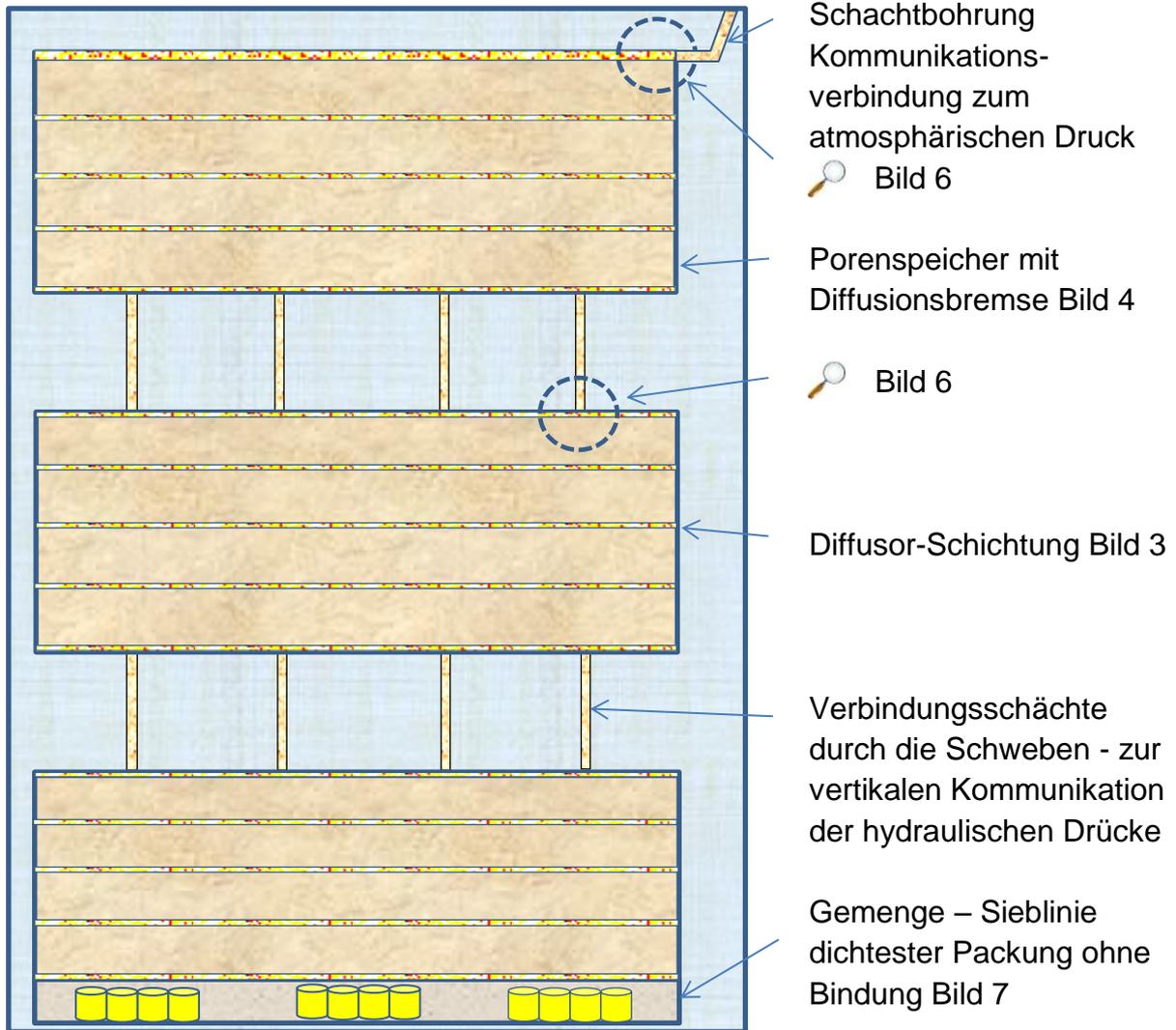
25. Der Porenspeicher ist nicht so wirksam wie wenn man sich einen Zylinder vorstellt, der mit Wasser und mit Öl angefüllt ist, wobei bei einer Kolbenbewegung zuerst das Öl heraus geschoben wird.

26. Wenn kontaminierte Lösung in den Porenspeicher eintritt, so geschieht dies über einen in Bezug auf ein Menschenleben langen Zeitraum durch die Gebirgsmechanik. Die Lösung in einem grobporigen Speicher würde sich aufgrund der Diffusionsbewegung in seinen gut verbundenen Hohlräumen (Schotter) sehr schnell vermischen. Das bedeutet, der Porenspeicher ist so nicht funktionsfähig, da Nuklide und Säuren weiter vordringen können.

27. Der Porenspeicher braucht also gleichzeitig diffusionshemmende Eigenschaften. Er muss aus diesem Grund sehr viel mehr Raum fordern, um einer ausreichenden Aufnahmefähigkeit gerecht zu werden. Im Aufbau beginnt dieser an der Eintrittsstelle

der Lösung mit einer die Strömung verteilenden verhältnismäßig dünnen Brechsand-Splitt-Schicht - Fraktur 0,5 bis 0,8mm vorzugsweise ohne Binder. In einer nahezu stehenden Lösung, einer Brechsand-Splitt-Mischung dichtester Packung (trocken geschüttet), die durch ihre feine Zusammensetzung Filtereigenschaften besitzt, ist eine Vermengung der Schichtung nur in der Randzone bzw. in der Ausführung möglich. Sie dient als Diffusor, der den Druck und folglich das Weiterströmen gleichmäßig auf die Anströmfläche des Porenspeichers verteilt. - Innerhalb der vertikal beaufschlagten Porenspeicher müssen mehrere Schichten horizontale Strömungsdiffusoren eingebracht werden.

**28. Bild 2:**



**Bild 3:** Brechsande ohne bindigem Anteil – durchaus auch mit verschiedenen Unterteilungen, eignen sich sehr gut als Diffusorschicht, um die gesamte Querschnittsfläche des darauf folgenden Porenspeichers gut aufzuschließen. Trocken abgesetzt ist mit wenig Nacharbeit eine tragende Dichte zu erwarten. Die Porosität ist selbst in dünner Schichtung ausreichend für den Verwendungszweck.



29. Auf einem Diffusor schließt sich im Speicher nun eine wesentlich dickere Gemengeschiebt mit sehr feinen Bestandteilen wie Schluff an, welcher als Diffusionsbremse wirkt. Durch die mikroskopischen Poren wird somit die Teilchenwanderung in der ruhenden Lösung behindert.

30. **Bild 4:**  Gemenge mit gebrochenem größerem Anteil möglichst gleicher Fraktur als statisches Gerüst besitzt höchstes Porenvolumen, welches mit Schluff möglichst einer Unterteilung/Schlämmung – folglich größtmöglichem Mikroporenvolumens ersetzt wird. Schluff besitzt einen großen Mikroporen-Anteil, welcher durch die Kapillarkräfte die Teilchenbewegungen-Wanderungen gut festlegt, aber im Gegensatz zu Ton mit nicht zu kleiner Unterteilung die Lösungsbewegung zulässt. Im Absetzen des trockenen Gemenges können Ultraschallanlagen zur Verdichtung Verwendung finden.



31. Der Porenspeicher ist also eine Einheit von Diffusor (Brechsand-Splitt-Schicht) und Diffusionsbremse (trocken gemischte grobe Splitt-Fraktur mit Löss bzw. Silt). Dieser Schichtenwechsel als Einheit macht den Porenspeicher brauchbar und wirksam. Nicht kontaminierte Lösung wird verdrängt durch eine nach jeder Stufe immer weniger kontaminierten Lösung und dies so lange wie eine Lösungsbewegung besteht. Kommt die Lösung zum Stehen, sind die Stoffteilchen in den Kapillaren der Diffusionsbremsen an der freien Bewegung - an einer weiteren Wanderung gehindert.

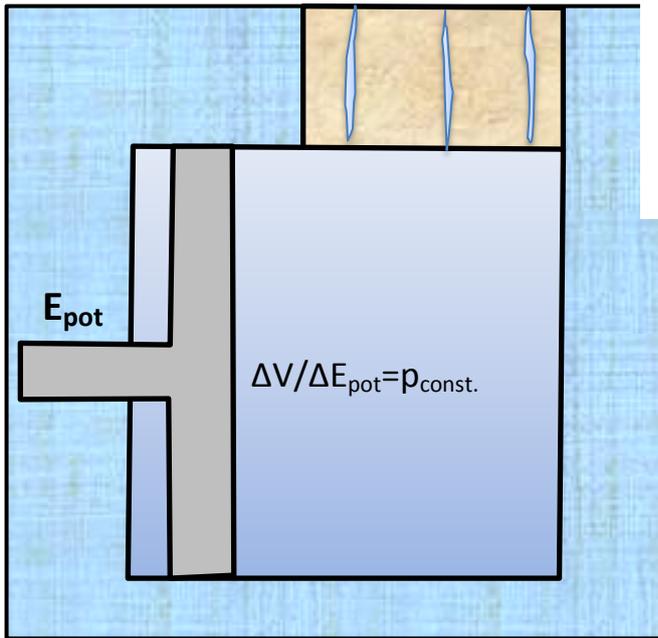
32. Die Wanderung möglicher ausgasungsfähiger Lösung durch Diffusion im stehenden Fluid wird in dieser Verfüllung auf ein Minimum innerhalb einer lagen Zeitspanne reduziert und unter einem hohen hydraulischen Druck am Ort der Entstehung ist eine Gasphase nicht möglich. – siehe Weiteres auch bei Wasser und Gas

33. Hierbei ist aber nun auf eine noch ausreichende Kommunikation der Lösung bis auf das Grundwasserniveau zu achten. Die Fließbewegung, hervorgerufen durch die nicht vollständig vermeidbare Kompression der Deponie, darf nicht behindert werden, um den Nutzen der Porenspeicher und eine sichere Trennung der Gebirgsmechanik von der Hydraulik im Schachtsystem zu garantieren.

34. Absetzungsvorgänge in der Diffusionsbremse dürfen nicht zu einer zu großen Porendichte führen. Diese könne nach langer Zeit und der Verwendung von sehr feinen Füllstoffen wie Tone, auftreten. Mittelschluff (Silt) 0,0063 bis 0,02 mm (großer Mikroporenraum) sollten durchlässig genug sein und eine gut diffusionshemmende Eigenschaft haben. Verwendbar ist auch Löss, der sehr porös und durch die vorherrschend eckige Form der Partikel, standfest ist.

35. Der Nutzen fein-porösen Gemenges ist, dass baulich aufwendige Diffusionsbremsen (Decken mit kleinen definierten Durchlässen) vorteilhafter ersetzt werden können - jedoch nach wie vor nicht die Diffusoren (Brechsand-Splitt-Schichten) zur Gewährleistung der gleichmäßigen Fließbewegung der Lösung im gesamten horizontalen Querschnitt der Stollen.

36. **Bild 5:** isobare Zustände - Dem hydraulischen Druck im Grubengebäude steht mit



einer sehr kleinen verrichteten Arbeit – dem Quotienten aus der umgesetzten Verformungsenergie und der verbrauchten Zeit - ein sehr geringer Widerstand der Diffusionsbremse gegenüber.

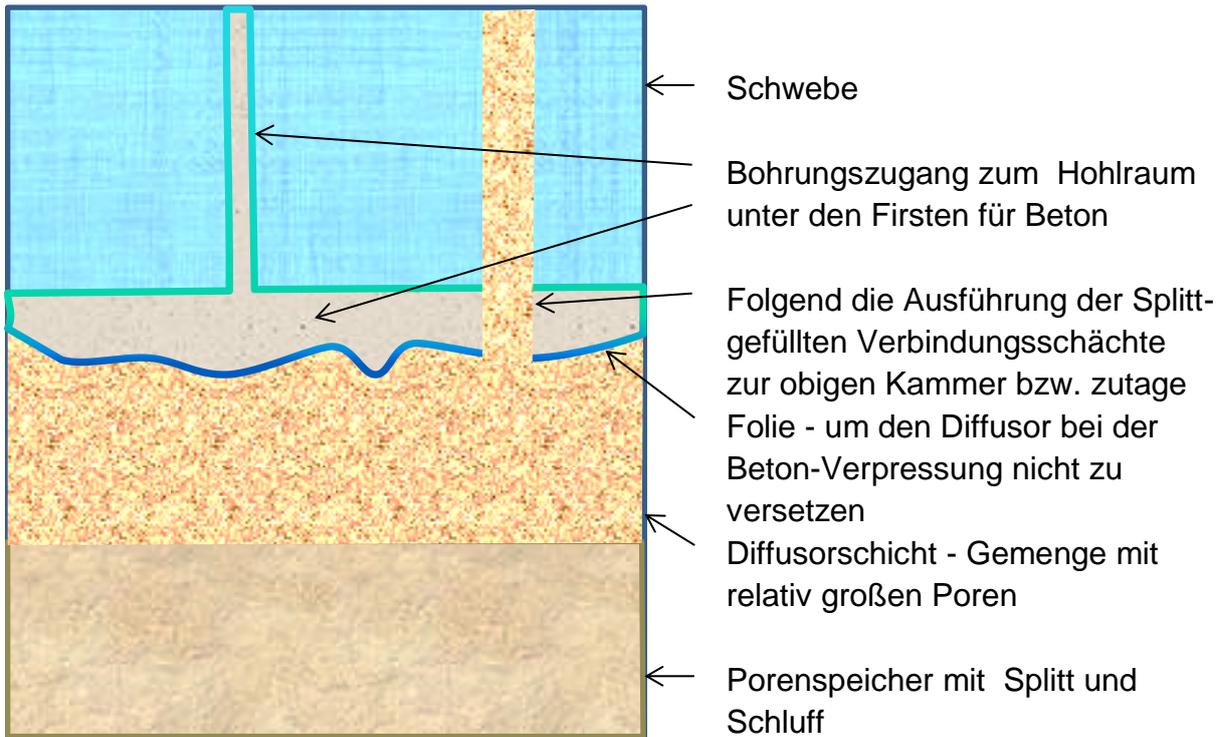
Bsp. In von einem Dorn drucklosen Fahrradschlauch lässt man so viel Luft herein strömen wie aus der kleinen Pore wieder entweichen kann.

Jedes Salzbergwerk, welches lediglich unter extrem hohem Druck (siehe Punkt 68) geringe Lösungszutritte zeigt und somit seine hydraulisch weitaus

ausreichende Druckfestigkeit unter Beweis stellt, ist mit dem Porenspeicherkonzept (siehe auch Punkt 84) somit sicher vor Lösungsaustritten.

37. Als bauliche Diffusionsbremsen werden zwanghaft und vorteilig auch die Schweben dienen. Das bedeutet, die Bewegung der Salzlauge muss im Wesentlichen vertikal erfolgen, um sicher zu stellen, dass die Verfüllung auch als Porenspeicher und später als Diffusionsbremse funktionieren kann. - Eine horizontale Fließrichtung ist technologisch bedingt nicht möglich, da eine Stoff-dichte Verfüllung der Stollen bis unter die Firsten der Schweben nicht gewährleistet werden kann und die Schüttung in einer horizontalen Lösungsbewegung (Freispiegel unter den Firsten) nutzlos werden würde. Auch Gemenge setzt sich unterschiedlich dicht ab und würde der Strömung oberhalb geringeren Widerstand geben.
38. In den Schweben sind nur wenige Kommunikationsschächte eingebracht. Dies behindert in der stehenden Lösung die Diffusion zusätzlich.
39. Mögliche Fluid-gefüllte Hohlräume unter den Firsten sind für die vertikale Funktion der Porenspeicher nicht problematisch. Jedoch sind die ungebundenen Lösungen in einem weiteren Kompressionsprozess eine zusätzliche Belastung für den wertvollen Porenraum und ausbleibende Gegendrücke im Grubengebäude auf die Geomechanik sind nicht wünschenswert.
40. Deshalb braucht es vor der vollständigen Schichtung die Anbringung einer Folie unter den Firsten. Die letzte Schicht unter der Folie ist ein Diffusor. Nun kann fließfähiges Auffüllmaterial in Zement oder Ton gebunden (nicht gesättigt), in den Zwischenraum Firste-Folie verpresst werden, welches nach dem Aushärten/dem Ende der Thixotropie, die statische Funktion der Porenspeicher schneller ermöglicht. - Die Bohrungen zur First-Verpressung sollten vor dem Anbringen der Folie ausgeführt werden.
41. Nun werden die Kommunikationsschächte durch die Schweben, dem Verpressmaterial und der Folie zum Diffusor ausgeführt, welche mit einer Brechsand-Splitt-Schüttung gefüllt werden. Diese Gemenge bildet nun gleichfalls die 1. Diffusor-Schicht auf dem Schwebenboden der oberen Kammer usw.

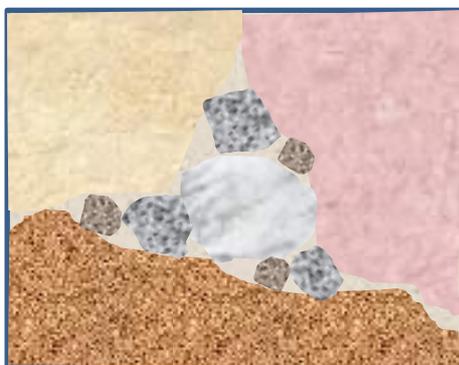
42.  **Bild 6:**



43. **Abhängigkeit zwischen der Zusammensetzung der Mischung, dem Porenvolumen und der Verwendung**

Dichteste Packung entsteht durch das Ersetzen der Hohlräume durch passende Korngrößen, die in der Menge und Größe immer geringer werdend, eingefügt werden.

44.  **Bild 7:** Sieblinie dichtester Packung ohne Schluff dient der Verfüllung der



Gebinde im Inneren und zueinander. Poren im Kies werden in Folge mit den Körnern der wahrscheinlich in sie passenden Fraktur und Anzahl ersetzt – und dies bis in den Feinsandbereich. Die Idealsieblinie für diesen Zweck mit geringster Lösungsaufnahme würde sich nach Fuller mit einem Körnungsexponenten von  $q = 0,4$  ergeben. Schluff findet keine Verwendung, da die Mischung sich im Absetzen, ohne durch Kohäsion behindert zu sein, dicht fügen muss - ohne weiterer Hilfen. Ziel: Geringste

Kompressibilität, geringster Porenraum, ohne Entmischung trocken am Ort absetzbar (technologischer Nachweis erforderlich)

45. Großer Porenraum ist mit nur einer möglichst gebrochenen großen Fraktur realisierbar.

46. Möglichst großer Mikroporenraum ist adäquat dazu mit nur einer **ähnlich** kleinen Schlämmung zu erzielen.

47. Diffusion wird vermieden, wenn der Saugdruck der Kapillaren so groß ist, dass Moleküle sich im Gleichdruck nicht mehr frei bewegen können. Lehm kann so 15

Vol.-% Wasser binden, da die geringe Porengröße eine sehr starke Kapillarwirkung aufweist.

48. Der Porenspeicher arbeitet mit diesem Effekt, der aber nicht so groß sein darf (bei Tongemenge), dass eine hydraulische Lösungsbewegung verhindert wird. Dies würde die Geomechanik mit der Hydraulik koppeln und die Dichtheit der Gesteinshülle würde infolge des hydraulischen Druckanstieges in Bezug zur Grundwassersäule im Deckgebirge, unnötig gefordert sein.

#### 49. Technologische Varianten: Herstellung der Verfüllung

- Die Wahl der Splitt-Fraktur als statisches Gerüst sollte technologischen Ansprüchen entsprechen. Trockene Verfüllung sollte im Absetzen des Schüttgutes noch gut gemischt sein. Dabei sollten sich die Splitt-Körner möglichst noch berühren, also die Mischung nicht mit Schluff/Löss gesättigt angereichert sein. Vibrationen beim Transport mit Stetig-Förderern entmischen das Transportgut. Für die Vermeidung der Entmischung können Trommel-Absetzer Verwendung finden. Fallhöhen im Schüttvorgang sind zu vermeiden.
- Schotter in der Verwendung hat das größte Aufnahmevermögen für Schluff und Löss (größerer Mikoporenraum) - kann aber kaum trocken vorgemischt bis vor Ort gebracht werden, da die Feinbestandteile aus der Mischung rieseln würden. Flache Schotterschichten, die in dünner Schichtung nachträglich mit Schluff versetzt werden, können praktisch möglich sein. Auch mit feuchtem Binder können sich wertvolle Anwendungsmöglichkeiten ergeben.
- Verschlämmung wirft die Frage nach dem Verbleib des Sickerwassers auf, welches unter Umständen wieder aufgefangen werden muss. Eine sparsame Verwendung kann ein Austreten aus der Schüttung vermeiden. Sind die Verdichtungseffekte des Wassers so vorteilhaft, um eine Verschlämmung anzuwenden? Der Quellvorgang des Binders kann nicht mehr genutzt werden!
- Wie verhält sich Schluff - grober und mittlerer Schluff - trocken verfüllt ohne Splitt und Schotteranteilen. Sind Kohäsionskräfte vernachlässigbar? Ist in solch einer trockenen Schüttung schon eine statisch belastbare Dichte nach dem Auffüllen mit Lösung zu erreichen? Wenn nicht, welche mechanischen Hilfen wären notwendig? Sind Ultraschall-Lanzen zum weiteren Verdichten besser zu gebrauchen, als in einem Splitt-Schluff-Gemenge? Wie groß sind die Quelleffekte des Binders, um eine ausreichende Verpressung zu erzielen?
- Kann zur zusätzlichen Verdichtung von bindigen Schüttungen ein Luft-Vakuum in den Kammern erzeugt werden und dienlich sein? Kann das Bauwerk dazu gesichert werden?
- Wie wird ein Porenspeicher mit Lösung aufgefüllt? Wie viel Zeit ist dafür notwendig? Wie wird er entlüftet? Kann mit Vakuum gearbeitet werden?
- Kann ein Rohrsystem nach Gebrauch mit Beton ausgefüllt werden? Kann auch Ton als Binder genommen werden?

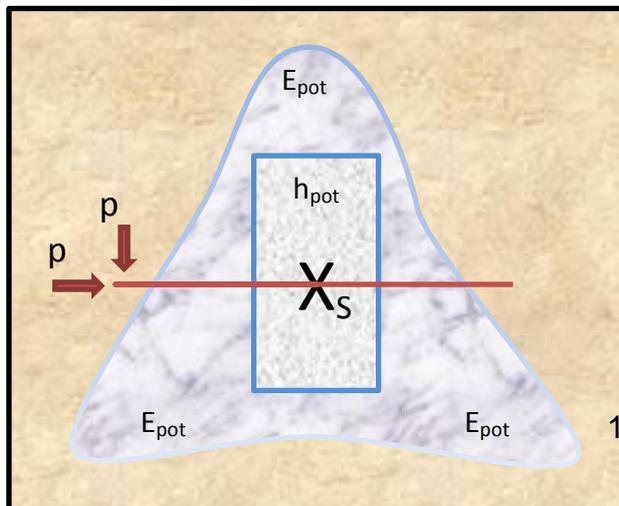
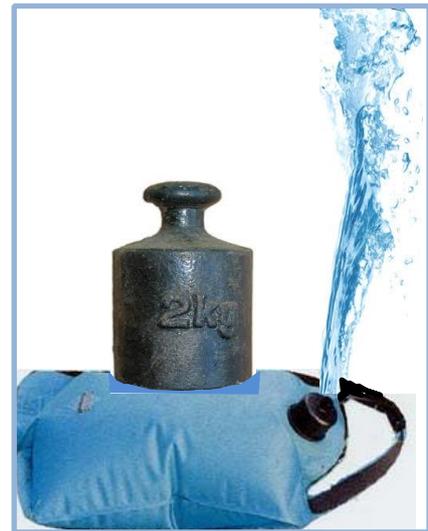
50. **Koppelung von Hydraulik und Geomechanik:** Dies ist der Fall, wenn kompressible geschlossene Räume im Berg mit Fluid angefüllt sind. Der Hydraulische Druck des Fluids entspricht in diesem Fall dem im Gestein und kann um ein Vielfaches höher sein, als der Druck der Wassersäule im Deckgebirge.

51. **Bild 8:** - Koppelung von Geomechanik und Hydromechanik

Gespanntes Grundwasser hat ein hydraulisches Potenzial (artesischer Effekt), welches aus dem Gewicht, also den Verformungskräften des Deckgebirges resultiert.

Eine Flüssigkeit in einer dichten Gesteinshülle ist somit sehr hohem hydraulischen Druck ausgesetzt, der dem Mehrfachen des hydraulischen Druckes auf der gleichen Höhenlinie im Deckgebirge betragen kann (nah am Grundwasserspiegel).

Die dauerhafte Dichtheit einer Gesteinshülle kann nur mit ausgeglichenem hydraulischem Druck möglich werden. Lösungsfreie Lager (anstehendes hydraulisches Potenzial + geomechanisches Potenzial des Deckgebirges) und auch mit Lösung gefüllte kompressible Räume mit druckdichten Verwahrungen (geomechanisches Potenzial = hydraulisches Potenzial) sind nicht dauerhaft dicht.



**Bild 9:** Der gespannte hydraulische Druck im geschlossenen Hohlraum resultiert aus der Geomechanik des Gebirges. Er ist in diesem Fall höher, als er durch die reine Auflast zu erwarten wäre.

Die seitlich bestehende Komponente Gebirgsdruck  $p$  auf der Höhenlinie des Tiefenmittelpunktes  $S$  des leichteren Gesteins entspricht „etwa“ dem gesamten inneren geomechanischen Verformungspotenzial  $E_{pot}$  des plastischen Gesteins und dem hydraulischen Potenzial  $h_{pot}$  der darin

enthaltenen Geoden oder Kammern. Dem möglichen Fließen durch das „etwa“, aufgrund der Plastizität im leichteren Salzstock, liegt auch das Entstehen von Salzdomen zugrunde (Prinzip Lavalampe).

52. **Entkoppelung von Hydraulik und Geomechanik:** Geoden oder Bauwerke werden entweder durch eine Öffnung mit dem Grundwasser direkt verbunden, oder es erfolgt eine Öffnung auf der Höhe des Grundwasserspiegel des Deckgebirges, ohne mit dessen Wasser in hydraulischer Verbindung zu stehen. Es besteht in diesem Fall lediglich eine hydraulische Konvergenz auf allen Höhenlinien zum außerhalb des Wirtsgesteins liegenden Sediment, wobei der Druck in der Geode - dem Bauwerk, in etwa dem im Deckgebirge entspricht. Der Austausch von Flüssigkeiten, wenn dieser bisher lediglich kapillar unter hoher Druckdifferenz möglich war, erfolgt nicht mehr.

53. **Rekristallisation im Salzgestein:** Hohe ausgeglichene hydraulische und geomechanische Drücke ermöglichen das Wachstum der Salzkristalle und das Fließen im Druckgefälle. Kapillares Wasser wird in diesem Prozess aus dem Salzgestein gepresst. Unter diesen Bedingungen ist Salzgestein sehr zuverlässig dicht.

54. In einer nachgeordneten Sicherheitsstufe des Lagerkompartimentes (bleibt genug Zeit) kann eine Diffusionsbremse aus einem mit Pech/Bitumen verfüllter Porenraum bestehen. Die Füllung sollte in der Dichte geringer sein, als die Verdrängende Lösung und dichter, als die Lösung im darüber liegenden Porenraum.

Stoff	Löslichkeit in Gew.-%	
	20 °C	80 °C
Natriumchlorid	26,5	27,5 ("Kochsalz")
Kaliumchlorid	25,5	33,6
Ammoniumchlorid	27,0	40,0 ("Salmiak")
Kaliumsulfat	10,0	17,5
Calciumsulfat	0,199	0,10 ("Gips")
Calciumhydroxid	0,17	0,087
Calciumcarbonat	0,0015	0,002 (100 °C)
Zinkchlorid	78,7	84,5

55. Verdrängende Lösung kann nun in Größenordnungen in einem sehr grobporigen Porenspeicher (Schotter) aufgenommen werden. Der Diffusion von wässrigem Fluid wie Säuren, kann in dieser nachgeordneten Schichtung gut begegnet werden und verbessert zusätzlich die Sicherheit. Die Dimensionierung ist abhängig von der Größe des Lagerkompartiments, von der Verdichtbarkeit dessen Füllung und vom gewollt sicheren Zeitrahmen.

56. Das Auffahren von Siphon-Bauwerken ist nicht notwendig und wirft viele Fragen auf.

57. Zukünftige Verhinderung des bergmännischen Abbaues von Verfüllmaterial. Einlegung von Warnzeichen aus dauerhaften Stoffen. Einbringung wertlosen Schüttgutes (auch an anderen Orten reich verfügbar) im Bereich der Tagesöffnung.

58. Grundsätzlich ist Untertage ein Nass-Lager - dem Zustand außerhalb des Wirtsgesteins angepasst, der richtige Weg. Dem Eindringen von Lösung in die Lagerkammern, deren Verunreinigung und Weiterwanderung von diesem Ort aus, wird damit vorgebeugt.

**59. Anmerkung zur geordneten Endlagerung im Nass-Lager:**

- Gebinde müssen vor dem Verschluss mit nicht komprimierbarem Material aufgefüllt werden (vorzugsweise Schüttgut dichtester Packung).
- Sie sollten im Feld so gelagert werden, dass Schüttgut gut zwischen die Gebinde gelangen kann und keine unnötigen Hohlräume möglich werden können.
- Lagerkammern für hoch radioaktive Nuklide (Schächte auf der Stollensohle) müssen für die Gebinde passend (Querschnittsform der Schachtscheibe) gearbeitet sein, dass so wenig wie möglich Verfüll-Material und folglich kontaminierbare Lösung entsteht. Sie sind nur in der Reihe und nicht im Feld anzuordnen.
- Die Schachtverwahrung dieser ist mit anpassungsfähigem und dauerhaft diffusionsdichtem Material auszuführen. Dabei ist der Schacht tief genug (abhängig von der Lagermenge) auszuführen, dass ein ausreichender Porenspeicher nachgeordnet werden kann. Der Porenspeicher selbst darf nicht bis zum Mundloch angefüllt werden, so dass ein innerer Rand - etwa 1 m verbleibt. Auf diesem folgend kann ein etwa 0,5m erdfeuchters Gemengebett - Kies in Ton gesättigt gebunden aufgepresst werden bzw. weichgemischt (Thixotropie-Effekt) abgesetzt werden. Auf dieses kann eine Ausmauerung mit gebrannten Ziegeln in Tonmörtel (letzte Schicht in

Zementmörtel) im Verband etwa 0.5 m dick ausgeführt werden als tragfeste Schicht, um auf der Schachtsohle ungehindert arbeiten zu können.

- Diese Lagerkammern brauchen keine direkten Auffüllungen mit Lösung.
- Um Diffusionsvorgänge zu behindern, können Salzlösungen in verschiedener Dichte geordnet werden, bzw gleich dem Umgebungsgestein, um auch Konzentrations- und Absetzbewegung und zutage mit einer Schutzflüssigkeit (Blanket) zu begrenzen.

60. Das Restlager-Kompartiment ist sicher vom Deponie-Kompartiment zu trennen. Die Herausforderung ist eine denkbar starke Bruch-belastete Verwerfung des bestehenden Grubengebäudes durch die hoch-kompressiblen Salzgrus-verfüllten Kammern. Dieser muss eine eingefügte Abdichtung/Abgrenzung widerstehen können. Mauerungen sind dabei durch ihre Steifigkeit und nur lokalen Perfektion, die wiederum zur Rissbildung an ihren Randzonen führen würden, für sich gelassen durch Überlastung des Salzgesteins in diesem Bereich ungeeignet.

61. Es braucht eine zweite selbstdichtende Sicherheitshülle, die in einer großzügigen Dimensionierung auch geostatisch wirksam ist und in einem Endlagerkonzept eingebaut werden kann. Tonverpresster Schotter bzw. übersättigte Ton-Schotter/Splitt-Mischung.

62.  **Bild 10:**



Ungesättigte Mischung ist eine sicher berührende Körnung mit bindigen Anteilen (Ton), die nicht die Hohlräume füllen können - ist erdfeucht aufgebracht und verdichtet, hoch Druck-belastbar und besitzt Diffusion-hemmende Merkmale. (Optimierung der Mengenverhältnisse für den speziellen Fall – inkompressibler Verschluss von aufgefahrenen Lagerschächten auf der Sohle der Kammern mit kleinen Schachtscheiben)

63.  **Bild 11:**

Übersättigte Mischung verliert die statische Stütze der großen Körnung. Die große Körnung ist funktionslos! Der Mikroporenraum des Bindungsmaterials ist durch den nutzlosen Kies noch unnötig reduziert. Ist eine starke Quellung des Binders wie bei Ton vorhanden, wird gebundenes Wasser durch Pressung entweichen und eine Lösungswanderung durch zu starke Verdichtung unmöglich werden. Dieses Gemengeverhältnis ist für den Porenspeicher zu vermeiden.



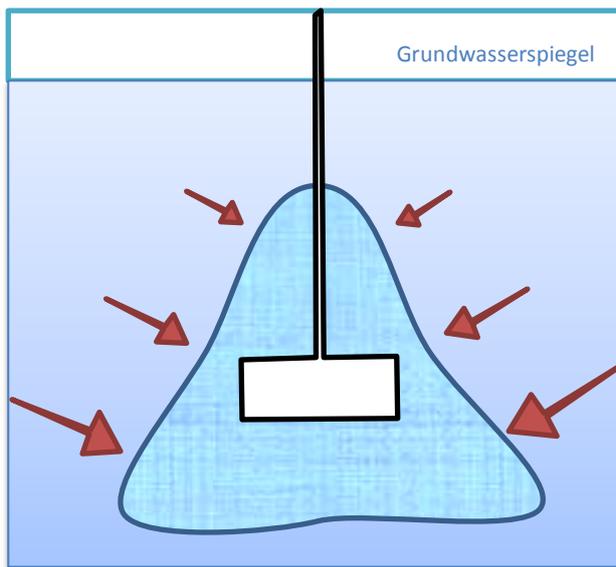
64. Sehr zum Vorteil ist dieses Gemenge, indem Ton als Binder Verwendung findet, wenn es gilt, sichere und nachhaltige Dichtschlüsse zu erzielen. Dabei ist die Kompression des Bauwerkes vom Vorteil. Diese darf durch Tragwerke (Schweben) nicht behindert werden (Firstenverpressung).

65. Die Anwendung ist dann sinnvoll, wenn ausreichende hydraulischer Konvergenz des Systems besteht, speziell für die kompressible Verwahrung kleiner Lagerschächte

(Gemenge mit geringer Übersättigung) und an Orten mit annehmbaren Dichtungsschwächen. An diesen sollte eine stärkere Übersättigung für die andauernd sichere Selbst-Verpressung durch das Gebirge, gewählt werden.

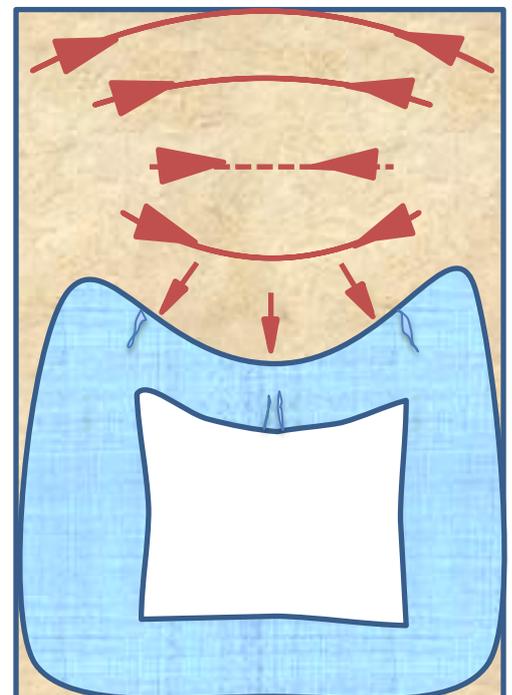
66. Die Mächtigkeit dieser Dichtung darf für die Wahrung der Statik des Grubengebäudes nicht zu groß sein und sollte dem Porenspeicher nicht beeinträchtigen und die Kommunikation der Lösung im Grubengebäude nicht behindern, indem z.B. herausgepresster Binder nicht die Diffusoren versetzt.
67. Deshalb sind eine grobe Körnung im Gemenge und eine wohl abgemessene Übersättigung wichtig, um nach der Verdichtung statisch tragende Kontakte der Zuschläge zu ermöglichen.

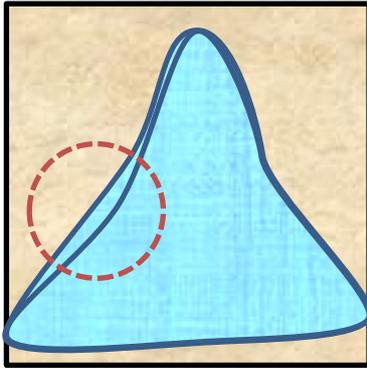
68. **Bild 12:** Hydromechanische Bedingungen in genutzten Grubengebäuden



Unter dem Grundwasserspiegel werden lösungsfreie Bauwerke zusätzlich wie ein Bootskörper vom Wasserdruck belastet. Dabei kann der Belastungsanteil auf der Tiefe des Schachtsumpfes anteilig mehr als  $\frac{1}{4}$  der Gesamtlast betragen. Die Berg-Statik und auch die Hydraulik setzen ihr gesamtes Potenzial auf den leeren Baukörper. Für eine Endlagerung ist dieser Zustand nicht möglich. In 750 m Tiefe hält das Grubengebäude zeitbegrenzt einem hydraulischen Druck von 75 Atmosphären stand.

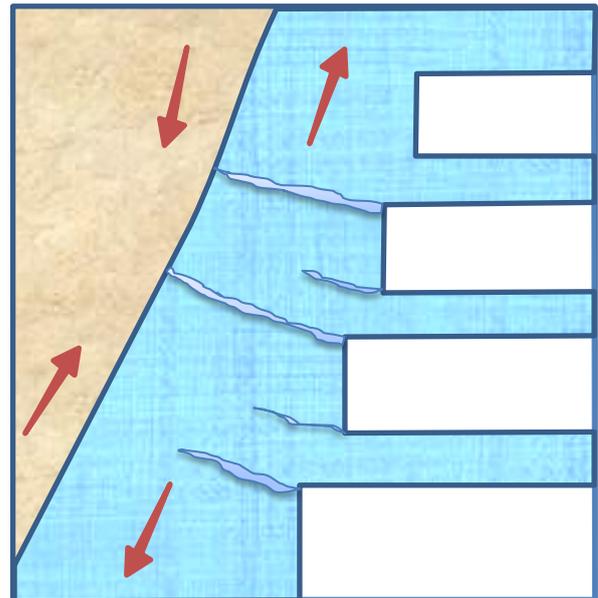
69. **Bild 13:** Mit elastischen Hohlräumen entstehen über diesen durch deren Kompression Spannungsbögen. Zunächst ist die Auflast sehr gering, da lediglich die vertikalen Kräfte der aufliegenden Spannungsbögen aufgenommen werden müssen - welche sich direkt auf der Bauwerksüberspannung befinden. Mit dem plastischen Ausweichen des Tragwerkes zerfallen diese Spannungsbögen zunehmend, da die oberen Bögen stärker Druck-belastet und die Unteren entlastet werden, die Kohäsionskräfte im Sediment begrenzt sind und die Scherkräfte die Bestandteile aus dem Verband drängen. Mit zunehmender Verformung bilden sich die Spannungsbögen neu in der Gegenrichtung aus. Die Belastung des Bauwerkes steigt exponentiell. Dieser Druckerhöhung ist durch Verbau nicht zu begegnen – lediglich aber dennoch der weiteren Verformung der Tragwerke. Mit der zutage tretenden Setzung (Pinge) wird der statische Umbau sichtbar.



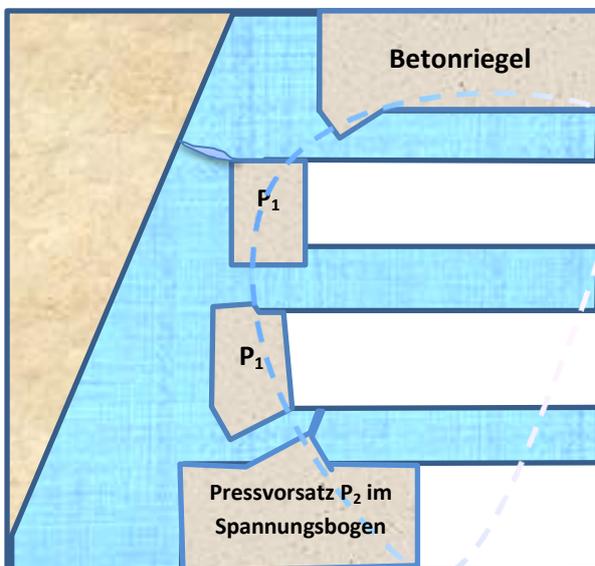


**Bild 14:** Verformung und folglich Sickerwasser und anfänglicher Verfall ist im Häufungsbereich der Durchbauung aufgrund des im Verhältnis größeren Druckes auf dortige Schweben wahrscheinlicher.

70. **Bild 15:** Statische Situation der Südflanke  
 Mit zunehmender Deformation verlagert sich die Drucklinie in den Bereich des Deckgebirges. Die Scher-Belastung in der Flanke wächst und somit der Druck auf die Schweben, welcher etwas im Winkel von oben zusätzlich ein Biegemoment auf diese erzeugt. Dies muss zur Flächenlast der Schweben hinzugerechnet werden.

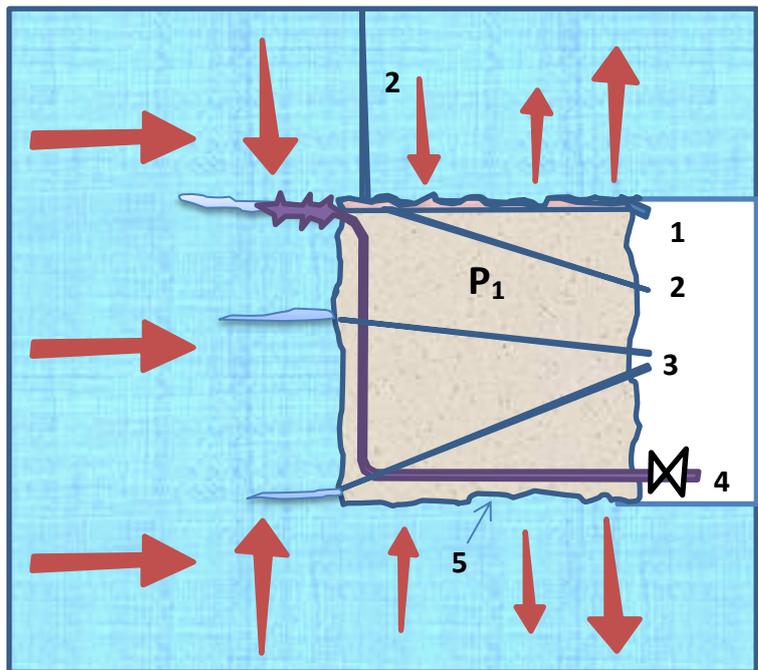


71. **Bild 16:** Verringerung der „Biegebeanspruchung“



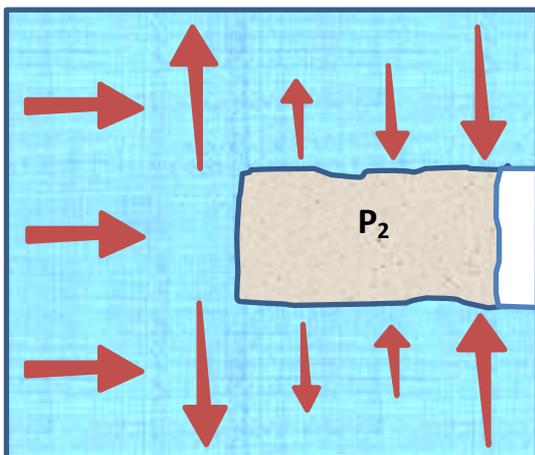
Zurückholung der Drucklinie in die Bergfeste und Verbesserung der Knicksicherheit der Schweben unter Berücksichtigung der vertikalen Statik auch im Hinblick auf die weiter darauf aufbauende schadlose Verfüllung der Kammern mit funktionalem Gemenge. Der Gebirgsdruck wird für die Abdichtung - für das Fließen des Salzgesteins nutzbar!

72. **Bild 17:** Zur Schließung der Lösungseintritte werden verschließbare Rohre **4** in einem Pressvorsatz **P** eingegossen und nach dem Aushärten des Betons verschlossen. Vor dem Verschluss wird die Firste direkt von hinten an aufgefüllt **1** oder indirekt durch die Schweben **2** oder durch den Pressvorsatz **2** verpresst. Zusätzlich kann über eingegossene, bis an das Gestein führende Druckstutzen **3** Beton/Kunstharz verpresst werden. Laibungen der Pressvorsätze müssen formschlüssig **5** im Salz eingearbeitet werden und bis zur Aushärtung druckfrei **4** entwässert werden können. Für die Entwässerung kann auch eine vorgesetzte, mit Drainage hinterfüllte Schale dienen.



Das Entwässerungsrohr **4** und Druckstutzen **3** reichen dann in den Kies-verfüllten Zwischenraum Feste/Schale. Pressvorsätze sind wirkungsvoll, wenn sie sich im Spannungsbogen (Bild 16) befinden, jedoch mindestens im Anschluss an einer Betonverfüllten Kammer (Stützriegel).

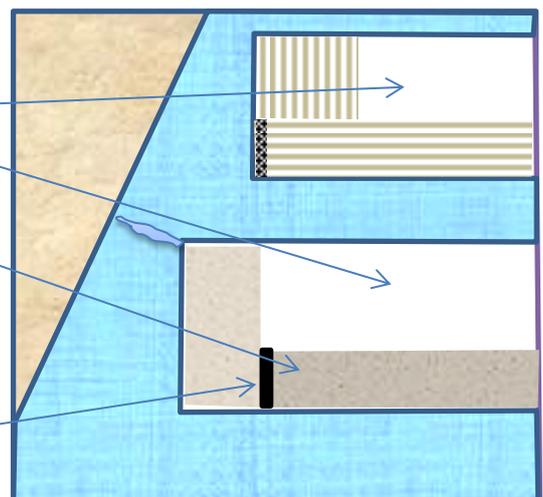
73. **Bild 18:**



Zwischenraum Feste/Schale. Pressvorsätze sind wirkungsvoll, wenn sie sich im Spannungsbogen (Bild 16) befinden, jedoch mindestens im Anschluss an einer Betonverfüllten Kammer (Stützriegel). Der Spannungsbogen – Annäherung an  $f(x)=\cosh(x)$  - sollte nach Möglichkeit geschlossen werden, auch im Hinblick auf die relevante Zunahme der Scherkräfte in der Feste. Jene können vor allem in Bereichen eines starken Weitungsbaues mit dem Versagen der Schweben in diesem Bereich Teile der Festen herausreißen. Dem muss rechtzeitig vorgesorgt werden, vor

allem in Bereichen mit geringer Knicksicherheit der Schweben und eines hohen Durchbauungsgrades.

74. **Bild 19:** Mit der Verwendung von Hochleistungsbeton – der Optimierung der Zuschläge, ist eine materialsparende und schnelle Hilfe in Bereichen noch nicht vorhandener Stützriegel möglich. Auch das Nachsetzen eines Stützriegels hoher Festigkeit an einem Pressvorsatz ist richtig. Der Süd-West- Kraftschluss sollte dabei nicht in einem Guss erfolgen, um die störungsfreie Aushärtung des Betons zu garantieren – Rissbildungen vorzubeugen. Dafür ist der Guss eines schmalen Schlusselementes hilfreich.

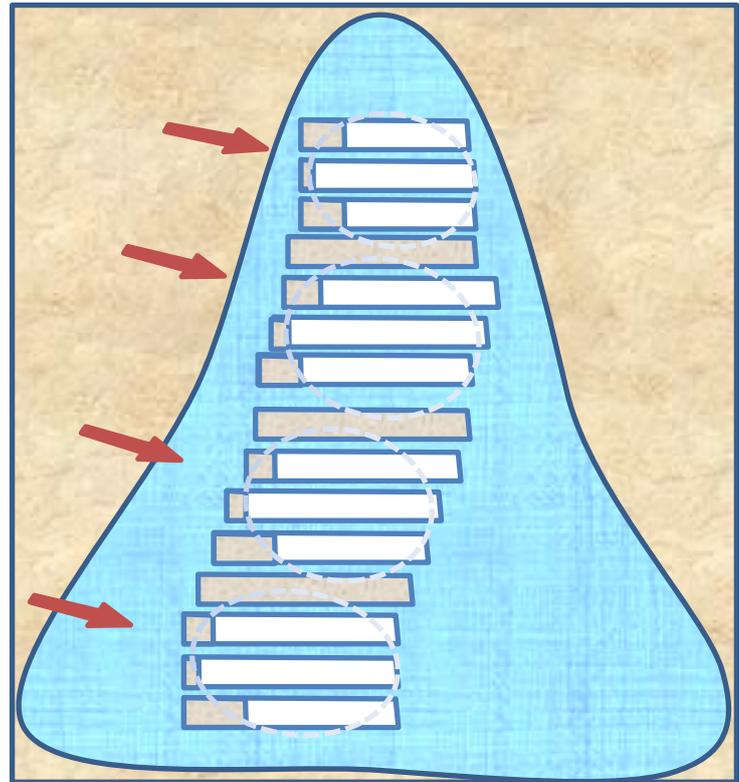


75. **Bild 20:** Die Druckfasern der Spannungsbögen mit der Abstützung im Westen schneiden **alle** im Bogen befindlichen Schweben. Die Kräfte werden nur über Betonriegel in die Widerlager eingeleitet. Die Schweben haben mit dieser Ausführung für die Standsicherheit keine Bedeutung mehr.

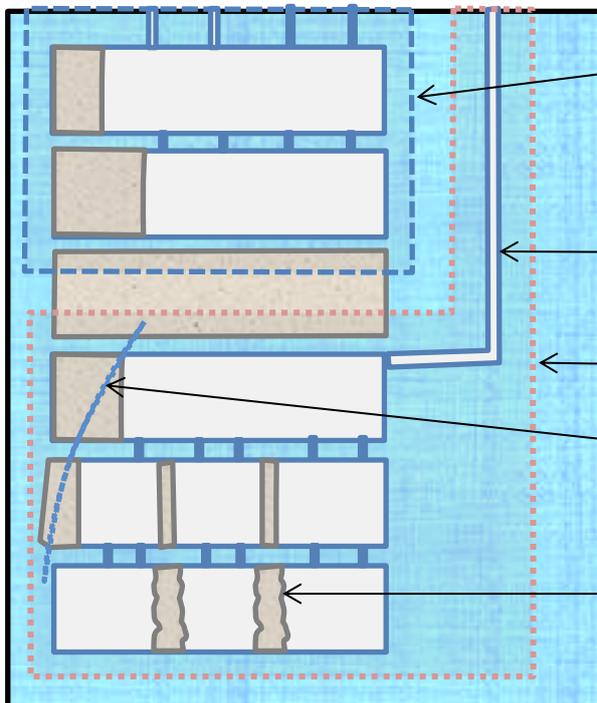
76. Mit der weiteren Verschiebung der Südflanke werden die Spannungsbögen unter Druck gesetzt, welche durch ihre Stauchung gegen die Riegel - selbst wenig plastisch - zwanghaft die Druckfaser in sich und in der Feste halten und somit entstandene Risse schließen lassen und eine weitere Rissbildung vermeiden.

77. Diese Art des Verbaus wird in Bereichen mit Wasserzutritt zwingend. Die Konsequenz des Schemas sollte operativ bleiben und kann mit der zügigen und richtigen Verfüllung und Auffüllung der Stollen in Teilen erspart bleiben!

78. Steinsalz sollte in diesem Tragwerk keine Verwendung finden - als Zuschlag im Beton - im Sinne der Optimierung des Betongefüges und der besseren Verarbeitung dieser Mischung. Die Raum-erhaltende Tragwerksstatik fordert mehr vom Baustoff, als bei einer bloßen Auffüllung der Kubatur.



79. **Bild 21:**



Das Restgrubenkompartiment ist hydraulisch vom Lagerkompartiment getrennt. Dafür ist die hydraulische Kommunikation zutage notwendig.

Schacht für hydraulische Kommunikation

Lagerkompartiment

Raumsparende Verkürzung des Spannungsbogens durch einen einhäutigen Stichbogen

Verkürzung der scheinbaren Schwebenbögen durch Pfeiler;

80. Nutzen: Erhöhung der Traglast zur Verfüllungen für die Endlagerung, Ableitung des Gebirgsdrucks in die Grubensohle. Der Aufwand für die Raumsicherung ist notwendig für die funktionale Auffüllung mit porösem Gemenge. Abgesehen vom erheblichen Zeitgewinn ist auch zu bedenken, dass die geomechanische Belastung der Hülle des Lagerkompartimentes ohne Verbau mit dem Zerrütten der Südflanke im Restgrubenkompartiment, erheblich steigen kann. Die Kommunikation der Lösung des Lagers darf dabei nicht gefährdet werden.
81. Die Verdichtung der Grubenkubatur und das entweichen von Lösung aus dem Porenspeicher über die Kommunikationsschächte ist unproblematisch und muss erfolgen. Auch das Bersten der Südflanke im Restgrubenkompartiment ist noch kalkulierbar. Bersten darf sie nicht im Lagerkompartiment.
82. Wenn Lagerkompartimente zwischen Restgrubenkompartimenten platziert sind, so dürfen unter Lagerkompartimenten liegende Restgrubenkompartimente ebenfalls nicht bersten – und brauchen - mit Salz gefüllt - einen Verbau, der die langsame Fließsetzung ermöglicht. Restgrubenkompartimente unter Lagern sollten somit auch nicht mit Salzgrus verfüllt sein. Die Menge an aufsteigender Lösung – die enorme Kompression - ist für die Langzeitprognose schlecht. Die hydraulische Bindung des Salzgruses in ihnen, mit mehr Feststoffanteil wie Ton oder Zement ist in der Effizienz und der Umsetzung technologisch zu prüfen.
83. Restgrubenkompartimente brauchen eine gute innere Kommunikation zum atmosphärischen Druck, da auch diese sich zum Lagerkompartiment konvergent verhalten müssen. Es müssen folglich verbindende Drainageschächte vertikal durch Schweben und Kammern zutage führend, ausgeführt werden.
84. Alte Salzbergwerke sind prinzipiell für die Endlagerung sehr sicher und sehr komfortabel (mehrfache Sicherheiten realisierbar) in der Kubatur, wenn mit ihnen richtig umgegangen wird. Neu abgeworfene Schächte, die eine gute Standzeitprognose für den Zeitraum der Einlagerung und der Verfüllung haben, haben für die Lagerung selbst und für die sichere Dimensionierung der Porenspeicher große Kapazitäten. Mit der Verwahrung sorgfältig gefüllter Schächte ist ein Verbruch nicht möglich und ein Verbau nicht erforderlich, so wie er aber in der Asse aufgrund der wenigen Zeit mindestens im Lagerkompartiment notwendig wird.
85. Stützriegeln – Beton ohne Verwendung von Salz - müssen zur Nutzungsverlängerung eingebracht werden.
86. Die Salz-gefüllte Kammer direkt darüber braucht eine hydraulische Verpressung mit thixotropem Ton, um den Wasseranteil zu reduzieren und die mögliche Gebirgsmechanik und folglich Lösungsaustritte als Unsicherheitsfaktor zu reduzieren. Dies kann wie bei der hydraulischen Verfestigung mittels Beton üblich, durch Injektionslanzen geschehen, wobei kontinuierlich gearbeitet werden muss. Der entstehende Druck auf die Tragwerke ist zu beachten, besonders, wenn der Raum unter den Firsten angefüllt wird. Auch für Grubengebäude besteht eine vertikale Statik. Berücksichtigung braucht dies bei der Reihenfolge der Verfüllung. Beton sollte nur für die zeitbegrenzte Sicherung der Bauwerksstatik bis zum sicheren Verfüllen verwendet werden.
87. Thixotrope Sedimente wie Ton können mit Thixotropiermitteln, z. B. Bentoniten, Kaoliniten, besonders aber durch SiO<sub>2</sub>-Substanzen in diesen Eigenschaften verbessert werden.
88. **Wasser, Gas**  
Die Auffüllung der Grube sollte mit Sauerstoff-arter Salzlösung geschehen, um eine Pyrit-Verwitterung – dem Rosten, eine Säurebildung (Ausgasung) und der Dissoziation von Kalk zu begrenzen – um schneller ein Gleichgewicht – einen Reaktionslosen Zustand zu erzielen.

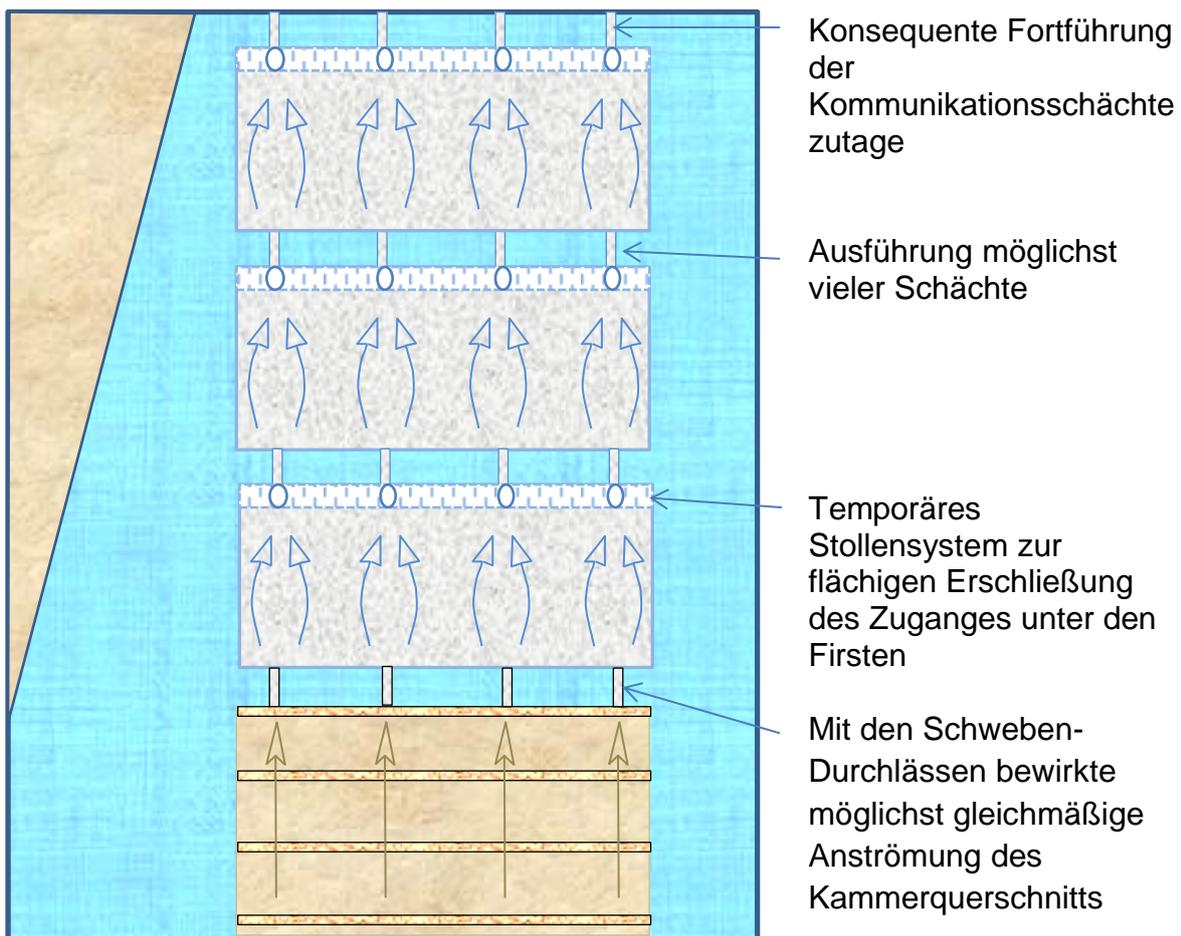
89. Ein vorteiliges Verfahren dazu ist die Kolonnenentgasung des verwendeten Wassers im Vakuum. Die Entgasung erfolgt hierbei physikalisch durch Stripppgas im Gegenstromprozess und mit einer Partialdruckabsenkung. Das Verfahren ist sehr ökonomisch mit Restsauerstoffwerten unter 0,02 ppm.
90. Sauerstofffreies Wasser kann als Notlösung auch aus dem Grundwasser gewonnen werden. Die Zuleitung sollte ein selbstschließendes Rückschlagklappensystem aufweisen. Mit der Noteinspeisung dieses Wassers und der Menge an eingebrachten Betons ist freie Kohlensäure unwahrscheinlich. Sie würde bei ihrer Entstehung in der Dissoziation teilweise zu Hydrogenkarbonat gewandelt. Eine permanente Entstehung von Gasen in einer ruhenden Lösung und deren Aufsteigen ist unmöglich.
91. Selbst mit der Auffüllung sauerstoffhaltigen Wassers würde  $O_2$  gebunden werden. Nach dem Einstellen des Dissoziationsgleichgewichts würde kein ungebundenes  $CO_2$  vorhanden sein und auch nicht entstehen können.
92. Auch ein bakterieller Oxidationsprozess setzt die Anwesenheit Bakterien-näherer Rottstoffe und Sauerstoff voraus für die Nitrifikation. Das Ammonium, welches damit entstehen würde, wird zuerst zu salpetriger Säure und schließlich zu Salpetersäure oxidiert. Diese Salpetersäure würde aus dem Kalk das  $CO_2$  lösen mit der Verschiebung des Dissoziationsgleichgewichts. In einer sauerstofffreien sehr Chlorid-, Magnesium- und Calciumionen- gesättigten, also sehr harten Lösung ist ihre Existenz und folglich eine Säurebildung, die zur Gasentwicklung führen könnte, nicht möglich.

### **93. Der Schritt in die richtige Richtung!**

94. Der noch nicht verfüllte Raum von 600.000 m<sup>3</sup> in der Grube würde für einen Porenspeicher, der für die Restverpressung aus den Lagerkammern genutzt werden würde, ein guter Anfang sein können. Die Kammern über dem Lager müssten, wenn sie schon verfüllt wurde, durch Umschichtung in der Grube nutzbar werden. Das Volumen des Porenspeichers sollte dann schrittweise auf einige Sicherheiten mehr ausgeweitet werden.
95. Ungeachtet der sehr ehrgeizigen Rückholaktion mit hohem Risiko sollten wir uns doch parallel auf eine Endlagersimulation einlassen, mit der Einbringung der wesentlichen Bauelemente und Verfüllungen im Lagerkompartiment, für den Ernstfall. Die Kammer über dem Lager ist zwar aufgrund der Rückholaktion sicher nicht verfügbar, doch höher gelegene schon. Bei einem unkontrollierbaren Wassereintritt müsste aber dieser Arbeitsraum über dem Lager und das Lager selbst schnell inkompressibel verfüllt werden können, und das ist das Risiko der Rückholung! Kein Mensch kann dafür die Verantwortung tragen! Was ist denn unkontrollierbar? Wer kann im Falle eines Bruchs der Südflanke, der das Herunterstürzen oder Zerrütten der Schweben auch zwischen Verfüllungen vorweggehen, wenn Wasser in Größenordnungen einströmt und Gefahr für Leib und Leben besteht, noch angedachte Notfallmaßnahmen umsetzen?
96. **Was kann mit der „geglückten Rückholung“ getan werden?**  
Ersatz der Deponie durch Testgebäude, deren Inhalte umweltverträglich sind und messtechnisch erfasst werden können.
97. Installation der Messtechnik. Dies ist aber nur notwendig, wenn die Ausführung der Simulation umgesetzt wurde.
98. **Mindestforderung zur Vorbereitung des Falles eines „nicht mehr kontrollierbaren Wassereintritts“:**
99. Räumen von Kammern über den Lagern
100. Legen eines Stützriegels über diesen - Bild 19. Der darüber liegende Raum kann ebenfalls als Porenspeicher genutzt werden.

101. Herstellung eines Spannungsbogens in die Grubensohle
102. Auffahren eines Kommunikationsschachtes.
103. Herstellung der vertikalen Kommunikation der Salz- verfüllten Kammern.
104. Bereithaltung des Verfüllgutes für die Lagerkammern in nahen Kammern des Restgrubenkompartiments, zu schnellen Verfüllung jener im Notfall.
105. Aufschüttung der Kammern des Lagerkompartiments für die Porenspeicherung, auch mit dem wechselnden Übereinanderschichten von schnell verfügbarem gedarrtem Kies etwa 0,3 m dick und gedarrtem lehmigem Sandboden 3 m dick. Bereithalten der Fähigkeit, diese Kammern und Lager mit entlüftetem, gehärtetem und angewärmtem Wasser aufzufüllen. In der Not ist auch Wasser aus Tiefbrunnen, welches sich nicht mit Luft anreichern konnte, möglich.
106. Auffüllen der Lager auf einem Meter unter die Firste für eine „kurze“ Ruhezeit, vor der gänzlichen Auffüllung.
107. Sichere Trennung der Kompartimente von den salzverfüllten Kammern aus, mit nachdichtendem Gemenge Bild 11, beziehungsweise hydraulischer Bindung des Salzgruses und Pressvorsätzen.
108. Das Auffahren eines hydraulischen Kommunikationsschachtes für das Lagerkompartiment kann unter günstigen Umständen entfallen, wenn zunächst selbstverständlich die Porenspeicher im Lagerkompartiment sicher dimensioniert sind.
109. – Aber unter dem Lager befindliche salzverfüllte Restgruben brauchen aber dennoch einen sicher getrennten Kommunikationsweg am Lagerkompartiment vorbei und können oberhalb wieder eingebunden werden.

**110. Bild 22: Lagerung ohne zusätzlicher Auffahrung eines Schachtes**



111. Die Festen und abgrenzenden Schweben des Porenspeichers und des Lagers sollten nicht rissgefährdet sein, bis auf die Schweben am oberen Abschluss des Porenspeichers.
112. Durch diese werden dann ebenso wie im Porenspeichermagazin zum gleichmäßigen Anströmen der Salzschtüttung im gesamten Horizontalen Querschnitt, zahlreiche Schachtbohrungen ausgeführt. Diese Ausführung sollte dann konsequent mit dem Zugang unterhalb der Firste bei allen Restgrubenkammern vollzogen werden. Einer Vorzugsströmung im Vergleich mit einer Eisgletscherschmelze, bei der sich nur wenige starke Durchflüsse bilden, kann somit entgegnet werden.
113. Dem Ziel folgend, sollten mit dem Zugang unter den Firsten möglichst viele Durchgänge ausgeführt werden. Die Diffusionshemmung, die im Porenspeicher mit nur wenigen Bohrungen durch die Schweben verfolgt wurde, ist hier nicht mehr von Bedeutung – vielmehr die Auffächerung der Lösungsbewegung, da Diffusor-Schichten unter der Salzschtüttung nicht mehr eingebracht werden können und der Salzgrus selbst schon porös – im Vertikalstrom aufteilend ist.
114. Die Bohrungen etwa 0.1 m sind versetzungssicher, da der Druck zum Zusammenfließen der Bohrlochleibungen erst entstehen kann, wenn sich das umliegende Verfüll-Material entsprechend verdichtet hat, also nach einem sehr großen Zeitraum. Die Auffüllung diese Bohrungen ist aufgrund ihrer geringen Größe und der Gesamtsituation nicht notwendig.
115. Eine sichere hydraulische Kommunikation durch das Restgrubenkompartiment muss realisiert werden, um die Konvergenz der hydraulischen Drücke in diesem zum Grundwasser zu garantieren. Der durch die Kompression der Restgrube entstehende Lösungsüberschuss kann somit gut zutage ausgeglichen werden und nicht auf das Lagerkompartiment zurück wirken. Der Porenspeicher kann dabei nicht durch einen Rückstau seine Funktion verlieren. Andere Wege für die Lösung des Lagers sind somit ausgeschlossen?
116. Vorhandene Stollen und Schächte sind ebenfalls nutzbar und mit versetzungssicherem porösem Gemenge als Porenspeicher auffüllbar.
117. Die Kombination und Vernetzung der Trümer ist Feinarbeit. Wichtig ist die Kommunikation aller zutage.
118. Die Kammern mit Salzversatz können somit als erweiterte Sicherheit dienen, jedoch nur als temporäre Porenspeicher in Abhängigkeit von dessen Verdichtung.
119. Die Verdichtung des Salzgruses wird sehr lange Zeit dauern. Die Porosität dieser Schüttung ist somit für unseren Zeitrahmen - für die Kommunikation ausreichend. Da die Gebirgsmechanik im Lagerkompartiment eher zur Ruhe kommt und ein stabiler fest geschlossener Raum entsteht, würde ein Druckaufbau (Koppelung) in der Restgrube nach sehr langen Zeiträumen keine negativen Auswirkungen haben können.
120. Mit dem Fortschreiten des Verfalles ist an eine Wasserhaltung während der Verfüllung über der Lagerkammer zu denken, um nicht mit aufsteigender kontaminierter Lösung konfrontiert zu werden. Lösung muss „aufgeschichtet“ werden.
121. **? Argumentationen?**
122. „Mit Beton voll machen und Deckel richtig fest drauf – war immer gut“ - sind Ausdruck eines Vogel-Strauß-Denkens und Kindergarten.

123. Bei einem bevorstehenden Brand das vorhandene Schwarzpulver „zur Sicherheit“ noch in feste Behälter füllen und schön abzudichten - Das ist emotional getriebenes Handeln ohne nachzudenken! Fatal!
124. Weil Diffusionshemmung nicht vorstellbar ist, nehmen wir einen Schwamm, nur weil er griffbereit ist. Ist das die bessere Alternative? Kompressibler Porenraum bringt schneller Nuklide an die Oberfläche, als selbst ungehinderte Diffusionsprozesse in einer im Schotter ruhenden freien Lösung und ein Entweichen angenommener Gase kann das Salz ebenso wenig verhindern.
125. Der kompressible Porenraum des Salzversatzes beträgt 1,3 Mio. m<sup>3</sup>. Dieses Volumen zu komprimieren bedeutet, dass aus der Bergfeste und den Schweben während dessen sehr verbogene Formen entstehen würden, - wenn sie aus Gummi wären!  
Dass die plastische Verformung ihre Grenzen hat – im Salz nur mit **allseitigem** Druck möglich ist, Risse jetzt schon Sorgen bringen und folglich der Bruch wahrscheinlicher ist, dass die „Behinderung der Lösungsbewegung“ sehr viel Vorstellungskraft braucht wie der Versuch, dauerhaft Wasser in den Händen zu halten und die „Lenkung“ horizontal durch die gewählten Kammern, wenn nicht gleich die Abkürzung durch die Brüche genommen wird, in nur wenigen Kanälen unter den Firsten erfolgt und dies nur eine Runde um´s Haus und dann zur Haustür hinein bedeutet, dies sollte bedacht werden.
126. Gleich, welche Salzmenge verwendet wird, der Wasseranteil im Salz ist immer ein Problem bei der Kompression der Hülle. Salz fließt unter Druck und verdrängt nicht gebundenes Wasser!
127. Wasser darf nicht in die Deponie? Warum? Wie soll das untertage langfristig realisierbar sein?
128. Sind in einem Heizungssystem mit entlüftetem hartem Wasser je Rohre verrostet-chemisch zerfallen? Wie soll unter diesen Bedingungen eine Wasserstoff-, Kohlendioxid- oder Faulgasentwicklung möglich werden? Siehe Punkt 88!
129. Das Bauchgefühl – die Bevölkerung – hat Rückholung entschieden. Die Politik stellt dem Fachverstand nun Aufgaben, die er sich aus seiner inneren Rationalität nie gestellt hätte. Die zu zaghafte Verlagerung der Entscheidung auf die freie Fachkompetenz lässt die wertvolle Zeit für die sichere Verwahrung der Grube verstreichen. Dieses Fehlverhalten bei allen Beteiligten in einer schon langen Kette reichert das Potenzial für mögliche Unglücke!
130. Eine rationale Argumentation kann mit einer uncouragierten mechanischen Reflexion der legitimierten Verfahrensweise - lediglich funktionierend, nicht aufgegriffen werden.
131. Zum Abschluss noch einmal das Wichtigste: Es dürfen erst gar keine großen Mengen ungebundener Radionuklid-verunreinigter Lösung entstehen durch nicht mehr vollzogene Verfüllungen (Rückholrisiko) und auch nicht durch das Einfließen und wieder Herauspressens aus einer kompressiblen Verfüllung!

Mit freundlichem Glückauf  
Frank Schneider