

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

- ▶ **Begründung des Vortrages**

- ▶ **Begründung der Forderungskataloge 1 und 2**

- ▶ **Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit**

- ▶ **Ausführungen zum Monitoringsystem - Langzeitmonitoring**

- ▶ **Grundwasserwiederanstieg – Kontaminationsausbreitungen**

- ▶ **Ergänzungen zum Vortrag**

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Begründung des Vortrages

Gültiger BkPl Inden II S. 11/Stand 19.09.2013

Der Bergbautreibende benötigt wie jedes andere Unternehmen vor Beginn seines Vorhabens möglichst verlässliche Grundlagen, denn falsche Entscheidungen in dieser Planungsstufe und -phase haben langfristige Auswirkungen und lassen sich nur mit erheblichem Aufwand korrigieren.

Die gutachterliche Stellungnahme vom 01.12.2012 im Auftrage der Fraktion der Grünen im Regionalrat Köln, siehe www.ecm-ing.com, wurde einerseits motiviert durch die Änderung des Braunkohlenplans für die Befüllung des Tgb. Inden Räumlicher Teilabschnitt II und die hierzu anhängigen Klagen andererseits durch die zeitliche Nähe des geplanten Beginns der Vorbereitung des verbleibenden Restraums des Tgb. Inden II für die Befüllung etwa ab 2014 und des Fehlens verlässlicher Planungsgrundlagen (u.a. Dimensionierungsvorschriften) zum Zeitpunkt der Ausarbeitung der gutachterlichen Stellungnahme sowie die mögliche Übernahme von Regierungsverantwortung des Auftragsgebers.

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Begründung des Vortrages

Zwischenzeitlich haben sich einige Änderungsdetails ergeben, die aufgeführt werden müssen, ohne dass sich dadurch die Notwendigkeit ergibt, den mit der gutachterlichen Stellungnahme übergebenen Forderungskatalog an das bergrechtliche und wasserrechtliche Planfeststellungsverfahren grundsätzlich ändern zu müssen.

Zwischenzeitlich vorliegende Änderungsdetails:

1. Ergänzung vom 08.08.2013 - 61.19.2-2-1 der Neufassung vom 16.05.2003 - 86.19.2-2-1 – der RfS in den Punkten ► **Anwendungsbereich:**

„Diese Richtlinie gilt für die Untersuchung und Beurteilung der Standsicherheit von Randböschungen und bleibenden Böschungen der Braunkohlentagebaue **und der zugehörigen Hochkippen sowie Restseen**. Auf Betriebsböschungen findet diese Richtlinie keine Anwendung.“

und

► **Berücksichtigung Seismischer Ereignisse in den Standsicherheitsberechnungen:**

„Diese Ergänzung gilt für die Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkungen bei bleibenden Böschungen von Restseen und von Hochkippen der Braunkohlentagebaue in Nordrhein-Westfalen.“

► **Änderung des Beginns der Vorbereitung des TRL Inden II für die Befüllung im BkPI/20.12.2012:**

S. 63 BkPI: ist durch Anlage einer Seemulde ab etwa 2020 bis 2030 und einer anschließenden Befüllung wiedernutzbar zu machen.“

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Begründung des Vortrages

Die Aufgabenstellung der Schaffung von 3 übertiefen, großvolumigen TRS im Rheinischen Braunkohlenrevier, die langzeitstabil sowohl hinsichtlich des mechanischen und hydraulischen Verhaltens als auch in der Qualität des Seewassers sein müssen, ist eine z.Z. weltweit einmalige Aufgabe, für die es in NRW keinerlei oder nur sehr geringe Erfahrungen gibt. Die Aufgabe wird noch ambitionierter durch die Tatsache, dass die Freizeitnutzung in Teilbereichen bereits ab ca. 5 Jahren nach Beginn der Befüllung möglich sein soll. Anmerkung: Das TRL Inden II steht dann nach wie vor unter Bergrecht.

Damit ist auch der Stabilitätsnachweis für die Befüllphase und für die Betriebsphase begründet, wobei die Betriebsphase mit dauerhaft bezeichnet werden muss, mit dem Nachweis, dass auch Sekundärgefährdungen ausgeschlossen werden müssen, also Nutzungen und Bebauungen in einem großen zeitlichem Abstand nach dem Flutungsende: z.B. Böschungseingriffe, ufernahe Bebauungen wie Hotels, Industriebetriebe etc.

Hinweis zum gültigen BkPl Inden II S. 11/Stand 19.09.2013

Neben dem Bergbautreibende muss sich auch die Bergbehörde auf die Größe und Einmaligkeit dieser Aufgabe intensivst vorbereiten, dies betrifft sowohl den Ordnungsrahmen als auch die Qualifizierung und Vorbereitung des Personals!!! Erfahrungswerte und Kenntnisse über einen sehr langen Zeitraum zu erhalten und weiterzugeben, stellt die zuständigen Behörden vor große Herausforderungen.

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Begründung des Vortrages

Die TRS im Rheinischen Braunkohlenrevier sind deutlich größer und tiefer als die vergleichbaren TRS in Ostdeutschland. Als Seeböschungen fungieren Lockergesteinsböschungen, die teilweise als Kippenböschungen ausgebildet sind und als geotechnogene Lockergesteinskörper bezeichnet werden, deren mechanische und hydraulische Materialeigenschaften sich aus dem jeweiligen technologischen Prozess der Böschungsherstellung (Schüttung) ergeben. Die Absperrbauwerke bei Talsperren oder Stauseen sind zumeist aus Beton oder verdichtete (z.B. mit Kerndichtung versehen) Steinschüttdämme. **Deren hydraulisches und mechanisches Verhalten ist deutlich verschieden zu dem von Kippenböschungen. Dies betrifft insbesondere das Resonanzverhalten im Falle dynamischer Einwirkungen.**

Geotechnisches Umweltbauwerk	Fläche [ha]	Max. Tiefe [m]	Mittlere Tiefe [m]	Einstauvolumen/Endzustand [Mio. m ³]
TRS Inden 2	1.100	182	73	800
TRS Hambach ⁴	3.800	450	128	4.600
TRS Concordiasee	595	62	31	183
TRS Geiseltal	1.842	78	23	409
Talsperre Rappbode ⁵	390	86,5	k.A.	109,08 ³
Stausee Drei-Schluchten/China ¹	108.500	150 ²	k.A.	39.300

¹ Bei weitem nicht der größte Stausee der Welt; ² Höhe Absperrbauwerk; ³ mit Totraum; ⁴ Böschungen aus Lockergestein, teilweise geotechnogener Lockergesteinskörper; ⁵ größte Talsperre Deutschlands

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

- ▶ Begründung der Forderungskataloge 1 und 2 aus der gutachterlichen Stellungnahme vom 01.12.2012

Forderungskatalog 1 – abgeleitet aus dem gültigen BKPl:

Vorlage einer Richtlinie gültig für die Untersuchung und Beurteilung der Langzeitstandsicherheit von Seekippenböschungen von TRS im Rheinischen Bergbaurevier unter besonderer Berücksichtigung eines Langzeitmonitorings.

Die Richtlinie sollte explizit die TRS als große Wasserspeicher, unter seismischen (dynamischen) Einwirkungen bei zeitlicher Änderung der Zustandsparameter der Seekippenböschungen der zu errichtenden Geotechnischen Umweltbauwerke, behandeln, da das hohe Schadenspotential im Versagensfall dies zwingend verlangt.

Die Ausgabe einer Versagenswahrscheinlichkeit (bzw. eines Abstandes zur Versagensfläche) erscheint der Aufgabe angemessen.

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

- ▶ Begründung der Forderungskataloge 1 und 2 aus der gutachterlichen Stellungnahme vom 01.12.2012

Forderungskatalog 2 - abgeleitet aus dem gültigen Rahmenbetriebsplan:

Eine Risikobewertung sowohl für die Befüllung des TRL Inden II (Einstau) als auch für die Betriebsphase des TRS Inden II, Ausweisung einer Versagenswahrscheinlichkeit (bzw. eines Abstandes zur Versagensfläche - Restrisiko).

Neben den Risiken des Verlustes der Standsicherheit und des damit verbundenen erheblichen Schadenspotentials muss eine Risikobewertung, insbesondere unter Einbeziehung der zu erwartenden Grundwasserflurabstände und des Wasseraufgangs in Altkippen sowie der Kontaminationsausbreitung mit dem Grundwasserwiederanstieg auch in Altkippen und Altlastverdachtsflächen, im Bereich des Absenkungstrichters erfolgen.

Eine Risikobewertung ist sowohl für den Unternehmer als auch für die Bergbehörde von herausragender Bedeutung.

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit

Ein langzeitsicherer TRS ist dadurch gekennzeichnet, dass dessen vorgesehene Nutzung (Funktion) zu keiner Zeit außer Betrieb genommen werden muss, weil dieser eine akute Gefahr für die öffentliche Sicherheit darstellt, mit immensem Schadenspotential.

Die Belastungen (Einwirkungen) sind standort-spezifisch (objekt-spezifisch) in einer Belastungsmatrix (Einwirkungsmatrix - zeitabhängig) unter den standortspezifischen Randbedingungen zu erfassen. Innerhalb der Lebensdauer des geotechnischen Umweltbauwerkes sind entsprechende Korrekturen und/ oder Nachrechnungen periodisch vorzusehen, so dass ein Abgleich mit den Zustandswerten (Widerstandsmatrix) des Geotechnischen Umweltbauwerkes, hier TRS Inden II, Teil des Sicherheitsnachweises wird (Verifizierung des Sicherheitsnachweises).

Die Durchführung von Berechnungen setzt voraus, dass das zu untersuchende Geotechnische Umweltbauwerk, eingeschlossen Aufstandsflächen, TRL-Sohle – Untergrundverhältnisse – Altstrecken, Anomalien etc., ausreichend genau in einem Rechenmodell abgebildet wird (standortspezifische Randbedingungen). Der Modellbildung kommt die zentrale Rolle im Sicherheitskonzept zu. Es muss auf den Standort zugeschnitten werden und wird deshalb als Standortmodell – site specific modelling – bezeichnet.

Jedes Bergbauprojekt, jedes Tagebaurestloch etc. ist ein Unikat. Dies begründet hinreichend, weshalb das bergrechtliche und das wasserrechtliche Verfahren immer Verfahren nach Einzelfallentscheidung bleiben müssen. Dies schließt ein, dass die allgemeinen Entwicklungen, der Stand der Technik, Natur- und Ingenieurwissenschaften in die Einzelfallentscheidung Eingang finden müssen – Eurocodes, DIN etc.

Das zweite Standbein des Sicherheitskonzeptes von TRS, hier TRS Inden II, muss außerdem ein auf den Standort zugeschnittenes Langzeitmonitoring mit entsprechendem Frühwarnsystem sein. Auch das Langzeitmonitoring hat einem Standortmodell zu gehorchen und ist gegebenenfalls auf den Betrieb des TRS nachzuführen.

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit

Seeböschungssystem (Seekippenböschungen) – Einzelnachweise

- ▶ Spannungs-Verformungs-Verhalten, Ermittlung von Versagenszuständen, zeitabhängig (FEM-Berechnung)
- ▶ Statischer Langzeitstandsicherheitsnachweis (Gleitflächen: BISHOP, JANBU etc)
- ▶ Dynamischer Langzeitstandsicherheitsnachweis; nach RfS in Anlehnung an DIN 19700 für Betriebserdbeben (BtE – OBE-Operating Basis Earthquake, Wiederkehrperiode ca. 500 a) für Bemessungserdbeben (BmE – MDE-Maximum Design Earthquake, Wiederkehrperiode ca. 2.500 a) Einzelnachweise bei dynamischen Einwirkungen, Nachweis der Dauerhaftigkeit:
 - Böschungsbruchsicherheit
 - Versagen der Aufstandsfläche (Grundbruchsicherheit)
 - Hydraulischer Grundbruch
 - Bodenverflüssigung
- ▶ **Hydraulische Sicherheit**
 - Hydraulischer Grundbruch, Auftrieb; in Anlehnung an DIN 1054
 - Sicherheit gegen innere Erosion (Piping); in Anlehnung an DIN 1054
 - (Materialumlagerung, in Anlehnung an DIN 1054)
 - Erosionssicherheit; Suffosion, Kolmation; in Anlehnung an DIN 19712 und DWA-M 507

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

▶ Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit

Seeböschungssystem (Seekippenböschungen) – Einzelnachweise (Fortsetzung)

- ▶ Langzeitsicherheit gegen äußere Erosion (Oberflächenerosion); in Anlehnung an DIN 19712 und DIN 18196; Berücksichtigung von Bepflanzungen des Böschungskörpers (Erosionsschutz, Wasserhaltung, bewehrende Wirkung etc.)
- ▶ Wellenschlag und Schwallwellen, Ermittlung der Rückgriffsweiten , der Wellenauflaufhöhen und des Uferverbau
- ▶ Abschätzung des Sackungs- und Verflüssigungspotentials durch Seewasserspiegeländerungen in der Einstau- und in der Betriebsphase in Anlehnung an die Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ EAU 2012
- ▶ Hochwasserschutz, Einbindung in den Bilanzbereich – vorsehen einer Speicherlamelle

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit

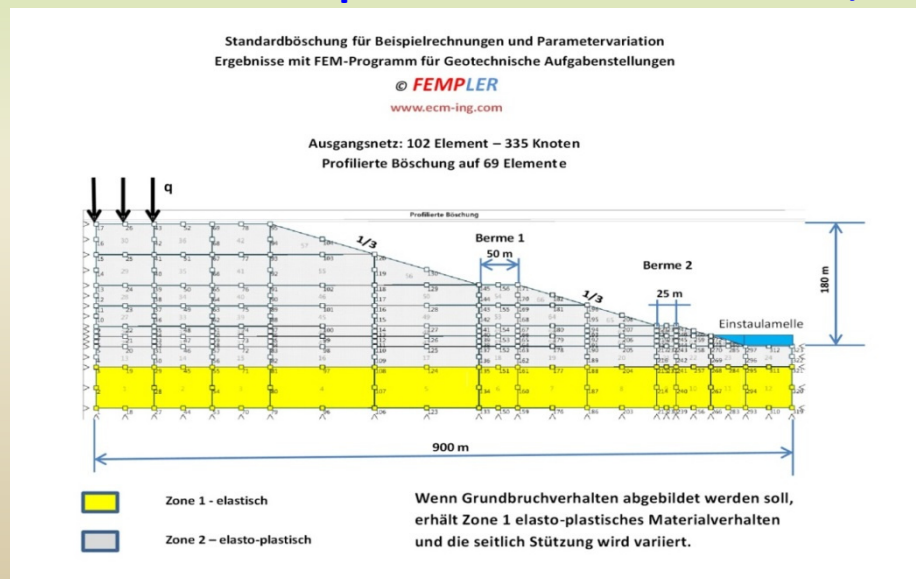
Zunächst sollte das Spannungs-Verformungs-Verhalten des Böschungssystems des TRL bzw. des TRS untersucht. Primäres Ziel ist es:

- Schwächezonen, Zonen des Versagens, Gleitflächen zu finden, als Grundlage für eine nachfolgende Stabilitätsberechnung

Weitere Ergebnisse:

- Ermittlung des Abstandes zur Versagensfläche, mögliche Versagenspfade mit der Möglichkeit der Bestimmung (Abschätzung) des Versagensrisikos

Beispiel eines Standortmodell, innere und äußere Diskretisierung



Beispiel eines Standortmodells, innere und äußere Diskretisierung. Die Endböschung des TRS wird durch Profilierung im FE-Programm nachgebildet, Herausnahme und Hinzufügen von Elementen. Auf gleiche Weise wird der Einstau simuliert. Die Abbildgenauigkeit in der Einwirkungsmatrix wird sehr hoch.

Auszug aus der gutachterlichen Stellungnahme vom 01.12.2012

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident Dr. Bollermann

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit

Für die Modellierung sind notwendig:

- die Böschungskontur des für die Flutung vorbereiteten TRL zu ermitteln, insbesondere in den kritischen Bereichen
- die Böschungsstruktur wird vernetzt (diskretisiert)
- die Belastungsmatrix (Einwirkungsmatrix) ermittelt und der diskretisierten Struktur zugeordnet
- die Matrix der Zustandsgrößen (Materialeigenschaften) ermittelt und eine Zonierung in der diskretisierten Struktur vorgenommen, bekannte Schwächezonen, Verwerfungen etc. sind zu berücksichtigen
- die Versagensfläche (Mohr-Coulomb, Drucker-Prager, Zienkiewics, Arslan etc) bestimmt und in das FEM-Programm eingepflegt (wenn nicht schon eine Anzahl entsprechender Stoffgesetze dort implementiert ist)

Widerstände nach DIN 1054:2010

$$\tan \phi'_d = \frac{\tan \phi'_k}{\gamma_\varphi}$$

$$c'_d = c'_k / \gamma_c$$

Die Bergbehörde wird in der Regel bereits bei der Prüfung von Rahmen- und Hauptbetriebsplänen entscheiden, für welche Böschungen die Anfertigung von Standsicherheitsberechnungen erforderlich ist.

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

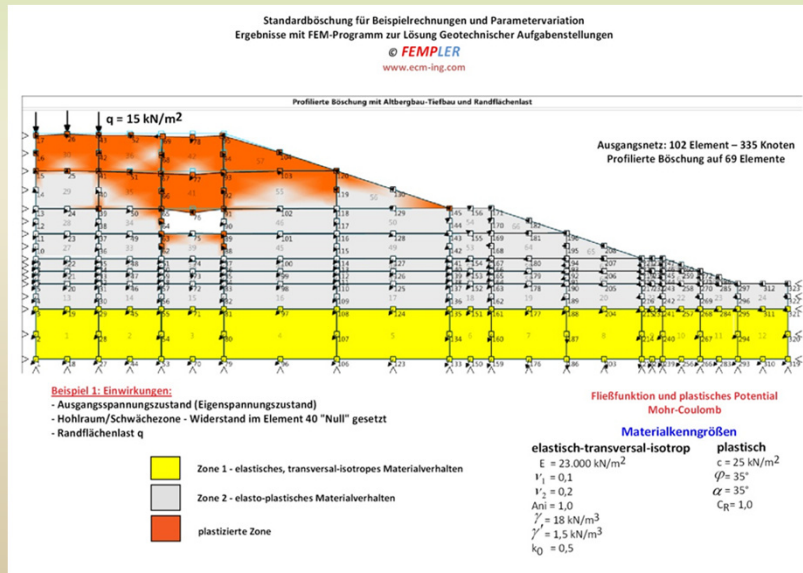
Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit

Auf dieser Grundlage werden mit einem entsprechenden FEM-Programm die Berechnungen durchgeführt. Das FEM-Programm sollte auf den Standort zugeschnitten sein (Standortmodell - standortspezifische RB). Es muss in jedem Fall auf der Grundlage der RfS vom zuständigen Bergamt zugelassen werden.

Ergebnisse dieser Berechnungen:

- Ermittlungen von Schwächezonen – Zonen hoher Scherbeanspruchung (Deviatoranteil), Überschreitung der Scherfestigkeit, mit einer nachgeschalteten Auswerterroutine (Regression, grafisch etc.) kann die Form der Gleitfläche ermittelt werden, die wiederum Eingang in die nachfolgenden Stabilitätsberechnungen übernommen werden.



Beispiel: Ergebnisse der Berechnung mit einem Standortmodell mit Hilfe der FEM. Es besteht die Möglichkeit die Materialzonierung so vorzunehmen, dass jedem Element andere Materialeigenschaften zugewiesen werden. Die Abbildgenauigkeit in der Widerstandsmatrix wird sehr hoch.

Auszug aus der gutachterlichen Stellungnahme vom 01.12.2012

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

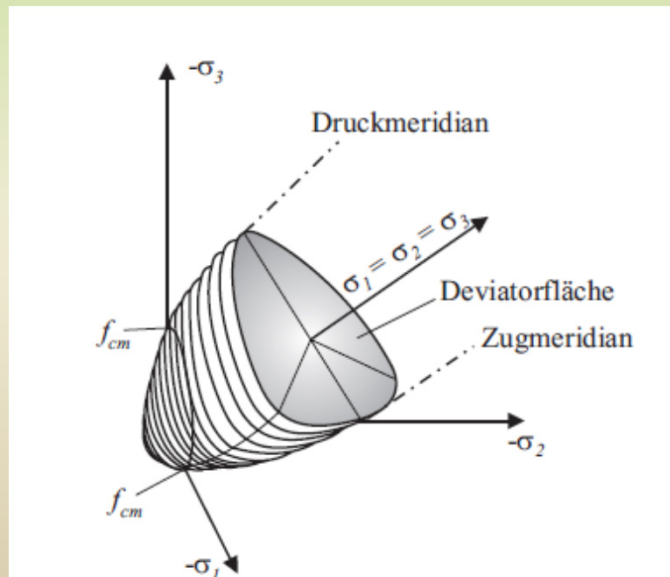
Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit

- Ermittlung kritischer Verformungen bzw. Vorgabe kritischer Verformungen und Ermittlung der dazugehörigen Belastungsmatrix

Weiterhin möglich wäre:

- Ermittlung des Abstandes zur Versagensfläche (oder Grenzzustandsfläche) und damit des Versagensrisikos



Grenzfläche dreiachsiger Grenzzustände nach Ottosen

Beispiel für eine Versagensdefinition zunächst für einen Knotenpunkt:

Für eine hydrostatische Spannung tritt Versagen ein, sobald der deviatorische Anteil des Spannungsvektors außerhalb der Deviatorfläche liegt.

Für einen Kollaps muss eine globale Definition des Versagens gefunden werden.

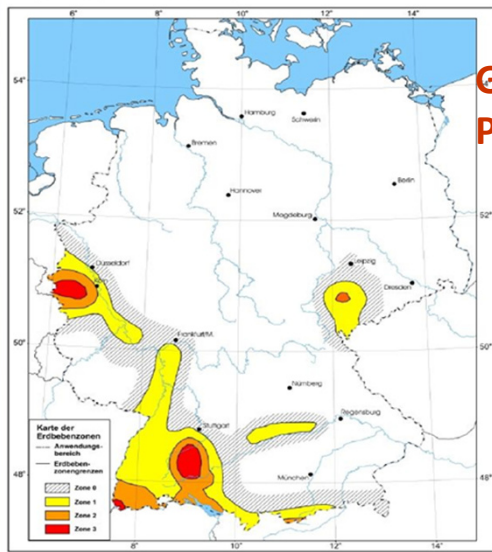
Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit Berücksichtigung „Dynamischer Ereignisse“

TRS sind im Rheinischen Braunkohlenrevier als große Wasserspeicher, unter seismischen (dynamischen) Einwirkungen, zu betrachten. In der Ergänzung vom 08.08.2013 ist dies in der RfS aufgegriffen. Dies war auch zwingend notwendig, weil die 3 Großtagebaue im Rheinischen Braunkohlenrevier und damit auch die zukünftigen TRS und Hochkippen in der Erdbebenzone 3, gemäß DIN 4149, liegen. Siehe auch DIN 19700 und Merkblatt 58 LANUV.

Karte der Erdbebenzonen für die erdbebengerechte Baunorm E-DIN 4149 (in Analogie zum Eurocode 8)

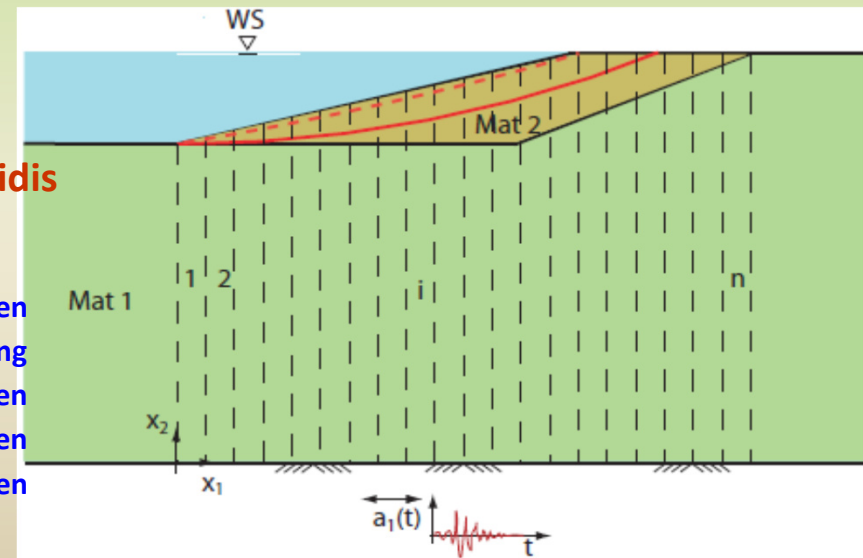


Erdbebenzonen der E-DIN 4149

Gutachten
Prof. Dr.-Ing. habil. Triantafyllidis



„Überprüfung des quasi - statischen Ansatzes der Erdbebenbeschleunigung bei Standsicherheitsuntersuchungen und Bewertung der Rechenverfahren für Böschungen im Rheinischen Braunkohlenbergbau“



Aus Gutachten Prof. Dr.-Ing. habil. Theodor Triantafyllidis mit eindimensionaler Wellenausbreitung in vertikalen Lamellen einer Böschung

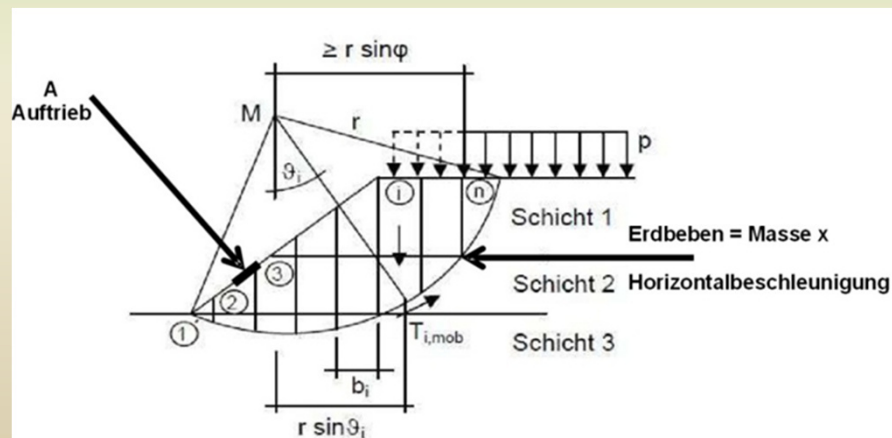
Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit Berücksichtigung „Dynamischer Ereignisse“

Der Wunsch des Bergamtes Arnsberg, die dynamische Belastung im Standsicherheitsnachweis berücksichtigen zu können, ist verständlich, ist es doch ein Verfahren von dem man große Erfahrungen besitzt. Prof. Dr.-Ing. habil. Theodor Triantafyllidis hat mit seinem Gutachten zuverlässig den pseudo-statische Koeffizient auf der Grundlage stochastischer Erdbebenauswertung in der Region ermittelt, so dass die horizontale pseudo-statische Kraft aus dem Lastfall Erdbeben in den Standsicherheitsnachweis, in Anlehnung an DIN 19700, der RfS, siehe unten, eingepflegt werden konnte.

Quasi - statischer Ansatz der Erdbebenbeschleunigung bei Standsicherheitsuntersuchungen



Berechnungsmodell für Lamellenverfahren mit verschiedenen Wirkungen Eigengewicht, Auftrieb und dynamischer Einwirkung auf eine fiktive Böschung/ S. 50 Gutachterliche Stellungnahme, M. Lersow

$$F_{horiz} = m \cdot \bar{a}_{horiz} = m \cdot \chi \cdot a_{horiz, max}$$

- F_{horiz} - horizontale pseudo-statische Kraft
- m - Masse des Bruchkörpers
- $a_{horiz, max}$ - max. horizontale Beschleunigung an der Gleitfläche (entspricht PGA Peak Ground Acceleration - Spitzenbeschleunigung)
- χ - pseudo-statische Koeffizient

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit Berücksichtigung „Dynamischer Ereignisse“

Erdbebenfall 1 – Betriebserdbeben (BtE) – Gemäß DIN 19700 bzw. Merkblatt 58 LANUV

Der Erdbebenfall 1 dient dem Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit der Stauanlage. Die Stauanlage (Wasserspeicher) muss dem Betriebserdbeben ohne **Nutzungsbeschränkungen widerstehen.** Falls bei einem Erdbebenereignis die bei den Nachweisen des Betriebserdbebens berücksichtigten Beschleunigungen überschritten werden, ist nach dem Erdbebenereignis eine besondere Überprüfung der Stauanlage erforderlich. Eine besondere Überprüfung beinhaltet im vorliegenden Fall mindestens eine zusätzliche visuelle Kontrolle des Absperrbauwerkes und der Einzelbauwerke, die Durchführung von Sondermessungen, einschließlich Auswertung sowie eine Überprüfung der Verschlüsse. **Dies sollte adäquat für TRS z.B. in der RfS übernommen werden.**

Erdbebenfall 2 – Bemessungserdbeben (BmE) - Gemäß DIN 19700 bzw. Merkblatt 58 LANUV

Der Erdbebenfall 2 dient dem Nachweis der Standsicherheit der Stauanlage (Wasserspeicher). **Die Stauanlage muss dem Bemessungserdbeben ohne globales Versagen widerstehen.** Insbesondere darf die **Standsicherheit der Böschungen und Dämme nicht gefährdet werden; die Entleerungsmöglichkeit der Stauanlage nach einem Bemessungserdbeben ist zu bewerten.** Das Auftreten lokaler Schäden kann toleriert werden; in jedem Fall ist nach einem derartigen Erdbebenereignis eine besondere Überprüfung der Stauanlage erforderlich. **Die Intensität des Bemessungserdbebens ist höher als die des Betriebserdbebens und tritt am Standort der Stauanlage äußerst selten auf.** Die zu berücksichtigenden Auftretenshäufigkeiten der beiden Erdbebenfälle 1 und 2 sind in DIN 19700-11 festgelegt.

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit Berücksichtigung „Dynamischer Ereignisse“

Restrisiko

Das verbleibende Risiko bei Überschreiten des Bemessungserdbebens ist zu bewerten und in Abhängigkeit von den standortspezifischen Bedingungen durch flankierende, nachnutzungsseitige und/oder restriktive Maßnahmen ausreichend zu vermindern. Als flankierende Maßnahme können das Langzeitmonitoring, ein Alarm- (Melde-)system und/oder ein Notfallplan dienen. In der Regel finden als bewährte Nachweismöglichkeiten zertifizierte, allgemein anerkannte Rechenverfahren Anwendung. Selbstverständlich sind auch neu- und weiterentwickelte Verfahren zulässig, wenn diese mindestens gleichwertig und wissenschaftlich anerkannt sind. Die Bewertung muss in die Risikoanalyse der Geotechnischen Umweltbauwerke, hier TRS Inden II, einfließen.

Eine Risikoanalyse ist in die RfS bisher nicht eingeflossen. Es wird vorgeschlagen diese im bergrechtlichen und wasserrechtlichen Planfeststellungsverfahren adäquat zu berücksichtigen.

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit Berücksichtigung „Dynamischer Ereignisse“

Für den Nachweis der Erdbebensicherheit von TRL und TRS hat der Arbeitskreis Gebirgsmechanik im Rheinischen Braunkohlenbergbau der Bezirksregierung Arnsberg zwei Postulate aufgestellt:

- bei den Standsicherheitsberechnungen der Restseen wird zwar das Sicherheitsniveau von großen Stauanlagen angesetzt, aber es wird übereinstimmend festgestellt, dass das Risikopotenzial der Restseen auch bei der Sekundärgefährdung viel geringer ist als dasjenige der großen Stauanlagen.
- die Wiederkehrperiode von ca. 500 Jahren als maßgebend für die Bemessung der Standsicherheit der Restseeböschungen während der Befüllphase angesehen wird. Nach der Befüllphase wird für die Bemessung des dauerhaften Endzustandes ein Erdbebensignal für die Wiederkehrperiode von ca. 2.500 Jahren zugrunde gelegt.

Ob das 1. Postulat sinnvoll ist, darüber lässt sich z.Z. nur spekulieren. So dürften in angemessener Zeit nach Beendigung der Befüllung der TRS durchaus regionale Begehrlichkeiten entstehen, die Endböschungssysteme zu bebauen bzw. in sie einzugreifen, mit fatalen Folgen für die Stabilität. Die Errichtung von Einzelbauwerken im und auf dem Endböschungssystem muss allzeit ausgeschlossen bleiben, siehe auch Einzelbauwerke im Erdbebenfall. **Das 2. Postulat ist sehr sinnvoll, denn dies heißt übersetzt:** Es wird grundsätzlich unterstellt, dass sowohl beim Auftreten eines BtE als auch beim Auftreten eines BmE die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit des TRS nicht gefährdet sind. Dies ist auch so in der Ergänzung der RfS vom 08.08.2013 verankert, **allerdings ist die Überprüfung der TRS-Böschungen nach solch einem Ereignis (bisher) nicht berücksichtigt.**

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit Berücksichtigung „Dynamischer Ereignisse“

Obwohl mit der Ergänzung der RfS vom 08.08.2013 ein großer Schritt in eine richtige Richtung gegangen ist, hat Prof. Dr.-Ing. habil. Theodor Triantafyllidis der Bergaufsicht von NRW, hin zur Schaffung verlässlicher Planungsunterlagen für das Unternehmen RWE power AG, einige Hausaufgaben aufgegeben. Diese ergeben sich ebenfalls in Anlehnung an DIN 19700 und dem Merkblatt 58 des LANUV. nämlich: unter einer dynamischen Einwirkung sind auch zu verstehen :

Gebirgsschläge: ergeben sich beim plötzlichen Einbruch natürlicher oder künstlicher Hohlräume im Untergrund. Langsam entstehende Setzungen (durch bergbauliche Einwirkungen -Bergsenkungsgebiet) ergeben zwar keine dynamischen Einwirkungen, können aber – sofern sie die Aufstandsfläche betreffen – zu gravierenden Schäden führen.

Sprengungen in der unmittelbaren Umgebung, siehe auch Sprengverdichtung.

Tiefenverdichtungsverfahren: wie Sprengverdichtungen, Rütteldruckverdichtungen, Fallplattenverdichtungen etc. Deren Verwendung wird in der Sanierungstechnologie – dem Abschlussbetriebsplan geregelt.

Stauinduzierte Beben: Insbesondere beim Einstau können aus der Änderung der Kluftwasserdrücke Erdbeben entstehen. Stauinduzierte Beben wurden bislang erst ab einer Höhe des Absperrbauwerkes von 100 m beobachtet. Bei Tagebaurestlöchern können Vorgänge ähnlich eines hydraulischen Grundbruches ebenfalls einen Kollaps des Gesamtsystems bewirken.

Einzelnachweise bei dynamischen Einwirkungen, Nachweis der Dauerhaftigkeit:

- Böschungsbruchsicherheit
- Versagen der Haldenaufstandsfläche (Grundbruchsicherheit)
- Hydraulischer Grundbruch
- Bodenverflüssigung

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

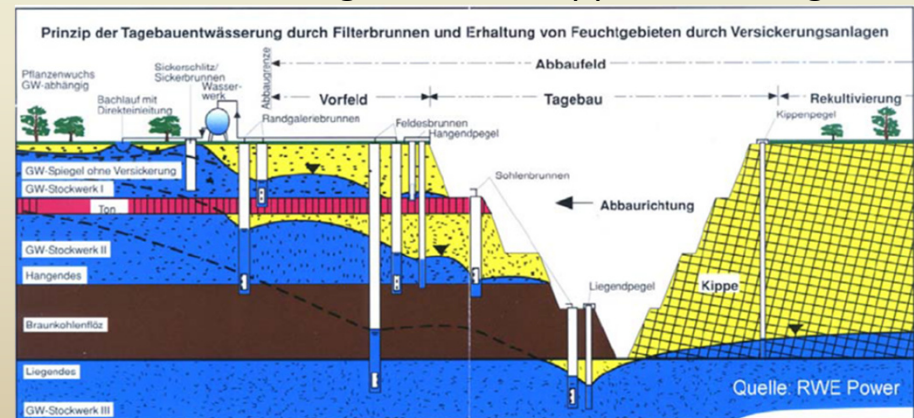
► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit Berücksichtigung „Dynamischer Ereignisse“

Da ist zunächst die direkte Aufforderung von Prof. Dr.-Ing. habil. Theodor Triantafyllidis sich des Nachweises der Sicherheit der Bodenverflüssigung anzunehmen, denn der in der RfS verankerte Erdbebenfall gilt für diesen Zustand nicht. Allerdings gibt es weitere indirekte Hinweise im Gutachten:

Bei Kippenböschungen ist neben der Erstellung von Tragsicherheitsnachweisen im Lastfall Erdbeben zusätzlich zu überprüfen, **ob die Gefahr einer Bodenverflüssigung gegeben ist etc.**

- Untersuchung des Resonanzverhaltens ¹⁾ von Kippenböschungssystemen, insbesondere von mehrfach gebermten, aufgrund der:
 - Eigenschaften und Klassifizierung des Kippenböschungsmaterials (Untergrundklassen etc.),
 - Geometrie der Kippenböschungssysteme, insbesondere von mehrfach gebermten Kippenböschungen
- Ermittlung der Stoffgesetze des Kippenböschungsmaterials, insbesondere in Bezug auf mögliche Versagenszustände

¹⁾**Anmerkung:** Wechselwirkung zwischen Kippenböschungssystem, Untergrund (Aufstandsfläche und TRL-Sohle) und Wasserkörper ist nicht untersucht.



Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zur Langzeitstandsicherheit

Nun könnte man zum Ergebnis kommen, dass mit der Ergänzung der RfS vom 08.08.2013 eine Langzeitstandsicherheit für Kippenböschungen von TRL und TRS definiert sei!!! Dies ist nicht so!!!

Nach wie vor existiert die geomechanische Kategorie einer Langzeitstandsicherheit für die Herstellung langzeitstabiler, langzeitsicherer TRS in der BR D nicht. Eine allgemeine Formulierung für eine Langzeitstandsicherheit, hier für den TRS Inden II – Indenersee, wird auf absehbare Zeit nicht zu finden sein, weil sowohl das zeitabhängige Verhalten der Belastungsmatrix (Einwirkungsmatrix) als auch der Zustandsgrößen (Materialeigenschaften - Widerstandsmatrix) sich nicht zuverlässig beschreiben lassen. Dafür notwendige Berechnungsverfahren, die Abstimmung von Nachweisen auf der Basis von Starrkörperverschiebungen und auf der Basis von Spannungs-Verzerrungs-Beziehungen sind nicht ausreichend entwickelt.

Dies zwingt ganz offensichtlich dazu die Standsicherheitsnachweise in zeitlichen Abständen zu wiederholen, praktisch der zeitlichen Änderung der Matrix der Zustandsgrößen (Materialeigenschaften - Widerstandsmatrix) und der Belastungsmatrix (Einwirkungsmatrix) nachzuführen.

Damit ist aber auch begründet, dass die rechnerischen Standsicherheitsnachweise durch ein zweites Standbein ergänzt werden müssen, nämlich durch ein entsprechendes Monitoring, insbesondere des Langzeitmonitorings.

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zum Monitoringsystem - Langzeitmonitoring

In einem zu entwickelnden und vorzulegenden standortspezifischen Monitoringprogramm sind zunächst die Beobachtungsgrößen und die Beobachtungsintervalle, in Abhängigkeit von der jeweiligen Zustandsphase des geotechnischen Umweltbauwerkes, vorzusehen.

Darin sind die Rückkopplungen zu den Sicherheitsnachweisen und den Vorgaben für das langzeitstabile, geotechnische Umweltbauwerk darzustellen sowie der Input zu einem Frühwarnsystem zu definieren und vorzuschreiben. Es soll Vorgaben zur Prüfdichte/Prüfintervallen, mit standortspezifischen Möglichkeiten der Anpassung, enthalten.

Die Aufgaben der Elemente des Monitoringsystems, deren zeitliche Ausdehnung und deren Schwerpunktaufgaben müssen vom zuständigen Bergamt definiert und vorgegeben werden. Grundsätzlich sollte das Monitoringsystem aus den folgenden Elementen bestehen:

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zum Monitoringsystem - Langzeitmonitoring

Sanierungsbegleitendes Monitoring (Schliessungs-, Vorbereitungsphase des TRL auf die Befüllung) – Dauer; abhängig von der Zeitdauer des jeweiligen Sanierungsprojektes –

- Sicherung der Qualität der Ausführung (Qualitätssicherungsprogramm, QSP)
- Kartierung des Kippenböschungsmaterials und der Vergütungsmethoden etc.

Basismonitoring (eventuelle Nachsorge) – geht gleitend ins Langzeitmonitoring über – Dauer x Jahre standortabhängig, abhängig vom TRL, TRS

- Prüfung der Prognosen und deren Anpassung auf den vorgegeben Zustand
- Ggf. Nachbesserung, Einleitung von Maßnahmen zur Trendumkehr etc.

Langzeitmonitoring (Betriebsphase des TRS) – Dauer; $x a \leq t_{\text{Dauer}}$; in Abhängigkeit vom TRS

- Zugänglichkeit/Prüfbarkeit der Installation sichern
- Management der Objektdaten in Verbindung mit den standortspezifischen Umweltdaten, Sicherung der Datenbanken, Grafische Darstellung und Verknüpfungen
- Detektierung von Versagensmechanismen, Kontaminationsausbreitung, Frühwarnmechanismen etc.

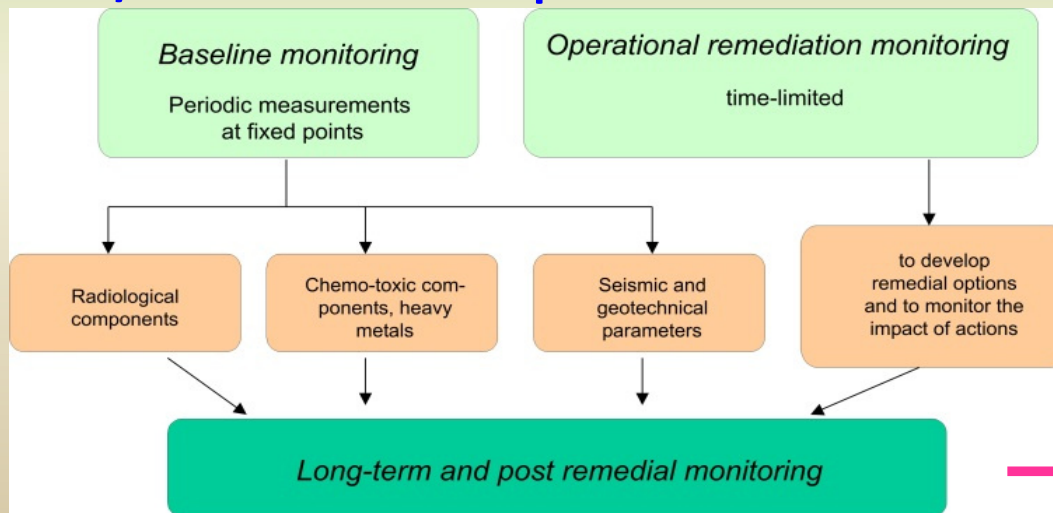
Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ausführungen zum Monitoringsystem - Langzeitmonitoring

- **Detektierung von** Versagensmechanismen, Kontaminationsausbreitungen, Frühwarnmechanismen etc.

Zunächst ist festzulegen, **welche Größen versagens-relevant sein können**; z.B. Verformungen/Bewegungen, Beschleunigungen, Porenwasserdrücke; Spannungen, Risse/Ausgasungen etc. Darauf sind die **Alarmwerte auszurichten**. Woraus sich ein **Frühwarnsystem** ableiten lässt, das **Bestandteil eines Alarm- (Melde-)systems und/oder eines Notfallplans** wird.



Monitoringsystem für Tailings Storage Facilities (TSF), insbesondere für Tailings Dams, aus: M. Lersow/ "Safe closure of uranium mill tailings ponds - on basis of long-term stability-proofs linked with an extensive environmental monitoring"/6th International Congress on Environmental Geotechnics, 2010, New Delhi, India

Frühwarnsystem, als Bestandteil eines Alarm- (Melde-) systems und/oder eines Notfallplans

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

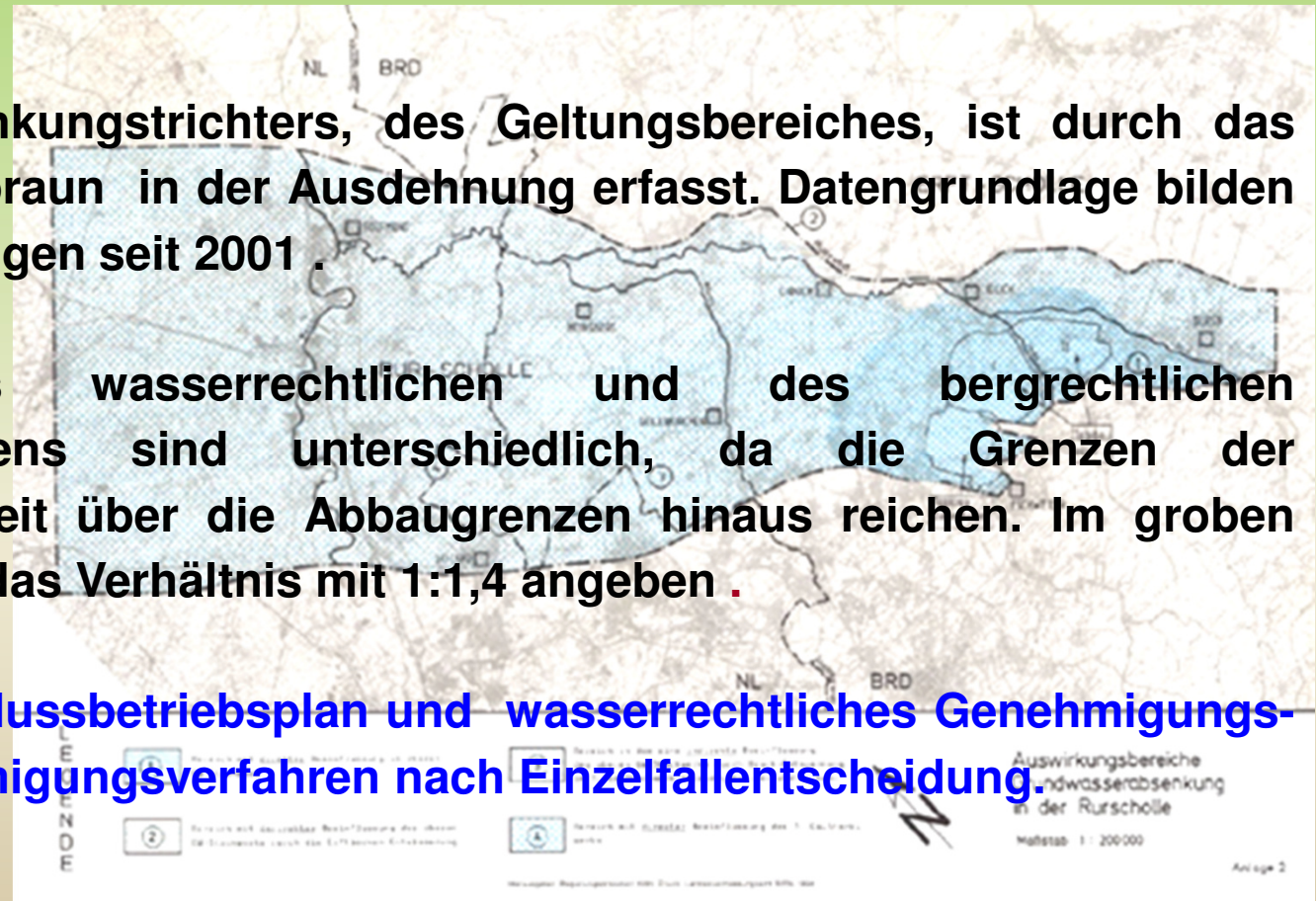
Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Grundwasserwiederanstieg – Kontaminationsausbreitungen

Die Größe des Absenkungstrichters, des Geltungsbereiches, ist durch das Leitnivelement Rheinbraun in der Ausdehnung erfasst. Datengrundlage bilden Wiederholungsmessungen seit 2001.

Die Grenzen des wasserrechtlichen und des bergrechtlichen Genehmigungsverfahrens sind unterschiedlich, da die Grenzen der Absenkungstrichter weit über die Abbaugrenzen hinaus reichen. Im groben Überschlag lässt sich das Verhältnis mit 1:1,4 angeben.

Bergrechtlicher Abschlussbetriebsplan und wasserrechtliches Genehmigungsverfahren sind Genehmigungsverfahren nach Einzelfallentscheidung.



Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Grundwasserwiederanstieg – Kontaminationsausbreitungen Risiko – Grundwasserwiederanstieg – Grundwasserflurabstände und Hochwasserschutz



Bilder rechts und links: Umfeld TRS Nachterstedt/
Schadeleben, copyright by M. Lersow



Bilanzgleichung:
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} K_{xx} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} K_{yy} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} K_{zz} = R - S_{sp} \frac{\partial h}{\partial t}$$

Bewegungsterm (R)Quellen- / Senkenterm *Speicherterm*

Für den Fall des Einstellens der Sumpfungsmaßnahmen: **Bei gefüllten Tagebaurestseen wird die Speicherkapazität S_{sp} des Füllraum de facto auf 0 – Null reduziert.** Für den TRS Inden II ist konzipiert, keine Hochwasserschutzlamelle vorzusehen. Das Wasser fließt bei Erreichung der Einstauhöhe direkt über die Vorflut ab, hier zunächst über die Inde. Im Hochwasserfall kann diese aber keine Wässer mehr aufnehmen. **Das Hochwasser wird im Abstrom deutlich verstärkt.**

Auch das Auftreten von negativen Grundwasserflurabständen ist beim GWWA nicht unwahrscheinlich, wenn dem nicht mit einem adäquaten Drainagesystem entgegen gewirkt wird.

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Grundwasserwiederanstieg – Kontaminationsausbreitungen Risiko – Kontaminationen von GWL, Kontaminationsausbreitung

Der Bereich des Grundwasserabsenkungstrichters (GWAT) im Bereich der Rurscholle ist gekennzeichnet durch:

- GWL, Inanspruchnahme von zumeist 5 GWL Horizonte (9B, 8, 7A, 6D, 6B)
- Schadstoffquellen mit direktem und indirektem Schadstoffeintrag in die GWL

Direkter Eintrag

- Deponien/Sondermüldeponien im Bereich des GWAT
- Standorte von z.B. ehemalige Kohlehydrierungs-Fabriken

Indirekter Eintrag

- Verfüllte Tagebaue Zukunft und Inden I
 - Außenkippen im Umfeld des zukünftigen TRS Inden II
 - Tiefbau, auch auf Steinkohle
- die Absenkungstrichter, sollen nicht über die Schollengrenzen wirken?
 - Absenkungstrichter von Wasserwerken bzw. ehemaligen WW ?

Schlussfolgerung: TRS sind künstliche Gewässer im Sinne von WRRL (2000/60/EG) und CIS (Common Implementation Strategy = Gemeinsame Umsetzungsstrategie), die danach wie folgt definiert sind: „... an einer Stelle geschaffen, wo vorher kein Gewässer vorhanden war. Dort wäre also als höchster ökologischer Zustand ein natürlicher Zustand in Form von ‚trockenem Land‘ anzusetzen, so dass kein sinnvoller ‚guter ökologischer Zustand‘ abgeleitet werden könnte.“ Es liegen keine vergleichbaren natürlichen Wasserkörper und keine Referenzzustände vor. D.h. auch die Verfüllung weicht erheblich vom natürlichen Zustand ab. **Der TRS ist nur dann ein guter und ein erheblich besserer ökologischer Zustand als die Verfüllung,** wenn auch die hier vorgeschlagenen Vorkehrungen getroffen und eingehalten werden (daraus leiten sich ein adäquates Monitoring, insbesondere Langzeitmonitoring und eine entsprechende Nachführung von Maßnahmen, z. B. zur Trendumkehr, zwingend ab).

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ergänzung (1) zum Vortrag

Bei komplexen Geotechnischen Umweltbauwerken, hier TRS Inden II, sollte es üblich sein, eine **Risikoanalyse** vorzulegen. Auf der Folie 19 ist, ausgehend von einem verbleibenden Risiko bei Überschreiten des Bemessungserdbebens, ein allgemeiner Hinweis auf die Risikoanalyse erfolgt. Dabei sollten alle Risiken erfasst werden, die sowohl vom Geotechnischen Umweltbauwerk selbst ausgehen als auch die, die sich aus der Umgebung auf das Geotechnische Umweltbauwerk einstellen. Die Wechselwirkung zwischen Umgebung und Geotechnischem Umweltbauwerk ist komplex zu untersuchen. Nur so können auch entsprechende Maßnahmen geplant, aufeinander abgestimmt und umgesetzt werden bzw. auf die sich einstellende Situation nachgeführt werden – **Risikominimierung** – zu **vernachlässigendes Restrisiko**. Verschiedene Risiken sind hier benannt.

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ergänzung (2) zum Vortrag

Versagenszustände (Varianzbereich-Stabilität) - langzeitstabiles, langzeitstandsicheres Geotechnisches Umweltbauwerk - hier TRS Inden II. Bei Nachweis einer Versagenswahrscheinlichkeit von $VW \leq 10^{-6}$ wird ein Bauwerk, hier ein Geotechnisches Umweltbauwerk, als sicher eingeschätzt. Versagenszustände müssen dauerhaft ausgeschlossen werden. Es scheint zwingend geboten, hier zur Errichtung eines langzeitstabilen, langzeitsicheren TRS Inden II, Zustände abzubilden, bei den Versagen wahrscheinlich oder eintreten wird. Solche Zustände können sich sowohl aus der Einwirkungsmatrix als auch aus der Widerstandsmatrix, sowie deren Wechselwirkungen unter den standortspezifischen RB ergeben. Neben Parameterstudien, der Ermittlung von Varianzbereichen in einer Materialklasse und über Materialklassen, der Ermittlung von Einwirkungen, deren Überlagerung und Varianzbereiche (Auswertung der Bergakte), stochastische Absicherung des Lastfalls Erdbeben für den Standort und der Untergrundklasse etc. muss die Definition eines standortspezifischen Versagensmodells, siehe Folie 14, im Fokus der notwendigen Vorbereitungen für ein langzeitstabiles, langzeitstandsicheres Geotechnisches Umweltbauwerk - hier TRS Inden II, stehen, um das Auftreten solcher Zustände mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit dauerhaft auszuschließen. Es reicht z.B. bei der Parametervariation nicht aus, jeweils die Kleinstwerte für die signifikanten Parameter in die Berechnung einfließen zu lassen, da bewiesen ist, dass bei nichtlinearen, nicht deterministischen Zusammenhängen eindeutige Lösungen im Sinne einer auszuweisenden Wahrscheinlichkeit nicht gefunden werden können.

Anmerkung: Die Eintrittswahrscheinlichkeit (EW) von 2×10^{-3} für ein BtE ergibt eine Wiederkehrperiode von ca. 500 a. Die EW von 4×10^{-4} für ein BmE ergibt eine Wiederkehrperiode von ca. 2.500 a. D.h. in den angegebenen Zeiträumen sind Erdbeben mit den zugrunde gelegten Beschleunigungsspektren wahrscheinlich, woraus die dabei auftretenden Verformungen eines konkreten Kippenböschungssystems ermittelt werden können und so die Frage beantwortet werden kann, ob bei diesen Verformungen die Gebrauchstauglichkeit des TRS noch erhalten bleibt?

Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren Tagebaurestsees Inden

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

► Ergänzung (3) zum Vortrag

Der Autor hat hier auf eine Zusammenstellung der Vorschläge für die weitere Aufbereitung der Planungsunterlagen; wie RfS, Dimensionierungsvorschrift für TRL/TRS, Langzeitstandsicherheit, Langzeitmonitoring für das Geotechnische Umweltbauwerk bewusst verzichtet. Nach Vorlage der gutachterlichen Stellungnahme am 01.12.2012, siehe www.ecm-ing.com, ist bisher schon so viel Bewegung ins Verfahren gekommen, dass davon auszugehen ist, dass die vorgebrachten Vorschläge umfänglich diskutiert und letztendlich auch in Vorschriften, Planungsunterlagen, Monitoringsysteme etc., hier für den TRS Inden II, umgesetzt werden.

An einem Beispiel kann dies gut gezeigt werden: Der Autor hat vorgeschlagen, Versagenszustände für Geotechnische Umweltbauwerke - hier TRS Inden II, zu untersuchen, abzubilden, um das Auftreten solcher Zustände mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit durch adäquate Vorkehrungen dauerhaft auszuschließen. Dafür muss eine Definition des Versagens, Versagenszustände gefunden werden, die auch darin bestehen kann, Versagenspfade aufzuzeigen, Grenzzustände zu formulieren. Das hierzu z.B. auch die Untersuchung des Resonanzverhalten von Kippenböschungssystemen, die Ermittlung eines zutreffenden Stoffgesetzes für Kippenböschungen im Rheinischen Braunkohlenrevier gehört, ist ganz offensichtlich. **Nun kann ein Versagenspfad sofort benannt werden – die Bodenverflüssigung. Fragestellung dazu:** Welche Materialklassen (Korngrößenverteilung, Porenzahl, Wassergehalt-Sättigungsgrad, Porenwasserdrücke-Spannungszustand etc.) bei welcher dynamischen Anregung müssen ausgeschlossen werden, damit Bodenverflüssigung mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit dauerhaft ausgeschlossen werden kann?

Auf der Folie 31 ist ein allgemeines Vorgehen zur Ermittlung und Abbildung von Versagenszuständen für Geotechnische Umweltbauwerke - hier TRS Inden II, angeboten.

Diese Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit jedoch auf copyright.

Literaturangaben und Quellen unter www.ecm-ing.com/referenzen

**Bewertung der notwendigen Vorkehrungen zur Herstellung eines dauerhaft standsicheren
Tagebaurestsees Inden**

Fachexpertengespräch/Einladender : Bezirksregierung Arnsberg/Regierungspräsident

Danke für die Aufmerksamkeit!



Glück Auf!