

**Götz-Wolfgang Thauer:**  
**Die gebirgsmechanische Situation**

Sehr geehrte Damen und Herren,

der folgende Vortrag möchte das Verständnis für die gebirgsmechanische Situation am Standort Asse wecken und aufzeigen, durch welche Maßnahmen es möglich ist, eine sichere Schließung der Schachanlage Asse aus gebirgsmechanischer Sicht herbeizuführen.



## *Schachtanlage Asse*

### **Die gebirgsmechanische Situation**

- 1. Bestimmende Faktoren**
- 2. Mechanische Eigenschaften der Gesteine des Deckgebirges und des Salinars**
- 3. Gebirgsbeobachtungen über und unter Tage**
- 4. Gesamtragsystem aus Deckgebirge und Pfeiler-Schwebensystem an der Südflanke des Assesattels**
- 5. Bewertung der gebirgsmechanischen Situation**

**Götz-Wolfram Thauer, Fachkoordinator Geotechnik**

Der Vortrag ist sehr komplex, er gliedert sich wie folgt: Zuerst werde ich die Faktoren nennen, die die gebirgsmechanische Situation bestimmen. Zum Verständnis der im Gebirge ablaufenden Prozesse ist es erforderlich, einen Einblick in das mechanische Verhalten der beteiligten Gesteine zu bekommen. Ich werde anschließend auf das am Standort Asse laufende Gebirgsbeobachtungsprogramm eingehen, weil die Identifizierung der abgelaufenen gebirgsmechanischen Prozesse im Wesentlichen auf der Grundlage der Ergebnisse der Gebirgsbeobachtungen beruht. Die eigentliche Interpretation der gebirgsmechanischen Vorgänge erfolgt im Zusammenhang mit der Darstellung des Gesamtragsystems, bestehend aus Deckgebirge und Pfeilerschwebensystem an der Südflanke des Asse-Sattels. Dabei werde ich auch auf die Reaktionen des Tragsystems, auf die gegenwärtige Versatzmaßnahme und auf zukünftige Sicherungsmaßnahmen eingehen. Abschließend möchte ich eine zusammenfassende Bewertung der gebirgsmechanischen Situation auf der Schachtanlage Asse mit Sicht auf die Schließung durchführen.



## **Bestimmende Faktoren:**

- **Geologisch-tektonischer Aufbau des Gebirges**
- **Hydrologisch-hydrogeologische Situation**
- **Mechanische Eigenschaften der Gesteine des Salinars und des Deckgebirges sowie des Gesteinsverbandes**
- **Einwirkungen durch bergbauliche Tätigkeit**
- **Reaktionen des Gesamtragsystem auf die Einwirkungen**

Die gebirgsmechanische Situation wird durch folgende Faktoren bestimmt:  
Den geologisch, tektonischen Aufbau des Gebirges, die hydrogeologische Situation, die mechanischen Eigenschaften der Gesteine, des Salinars und des Deckgebirges sowie des Gesteinverbandes, die Einwirkung durch bergbauliche Tätigkeit und die Reaktion des Gesamtragsystems auf die Einwirkung.



## Mechanische Eigenschaften der Gesteine

### Deckgebirge

- elasto-plastisches, zeitunabhängiges Stoffverhalten
- bei konstanter Last begrenzte Verformung
- hohe Gesteinsdichte
- Gebirgsfestigkeit wird durch Trennflächengefüge bestimmt
- Mechanisches Verhalten richtungsabhängig (anisotrop)

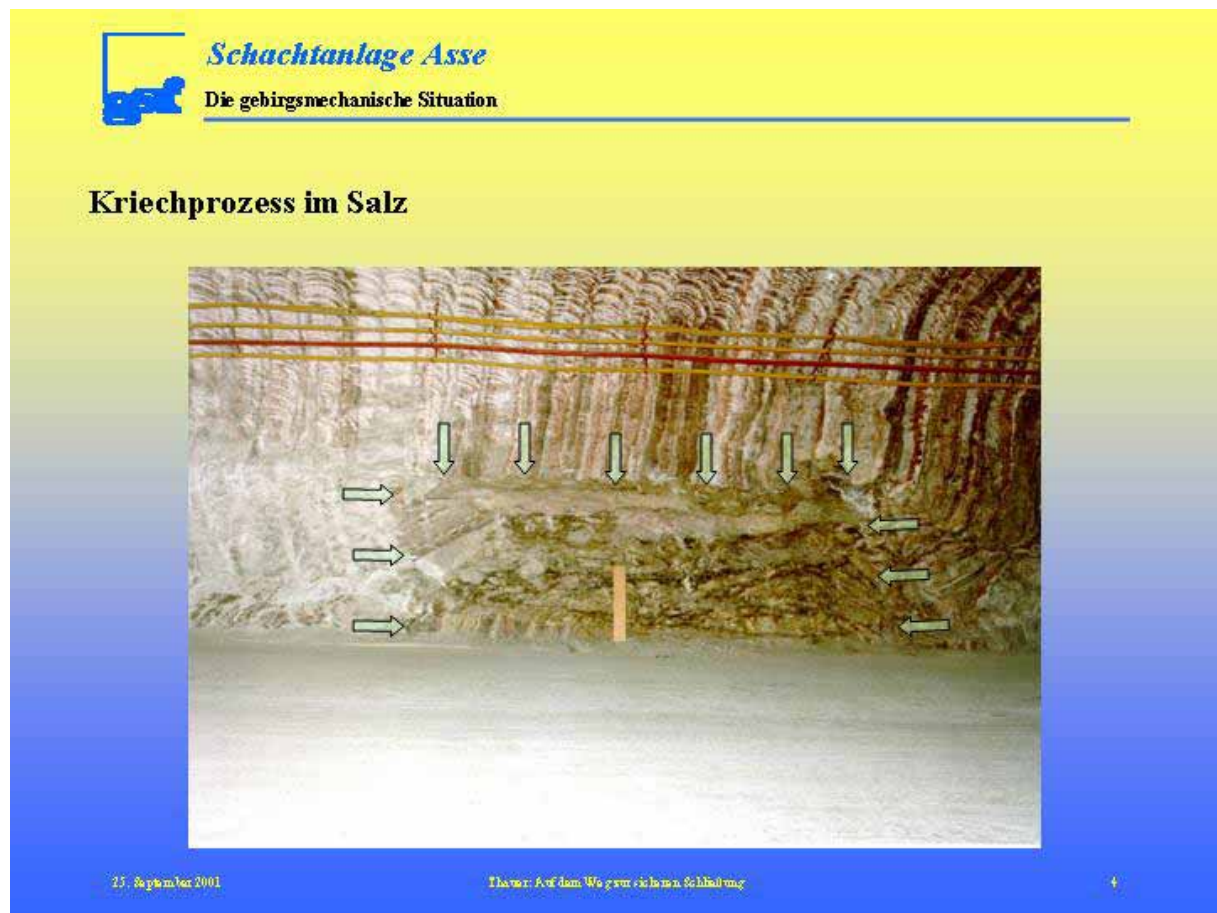
### Salinar

- visko-plastisches, zeitabhängiges Stoffverhalten
- bei konstanter Last zeitabhängige Verformung (Kriechen)
- geringere Gesteinsdichte
- Gebirgsfestigkeit entspricht Gesteinsfestigkeit
- Mechanisches Verhalten richtungsunabhängig (isotrop)

Über den geologisch-tektonischen Aufbau und die hydrogeologische Situation sowie die bergbauliche Tätigkeit haben wir in den vorangegangenen Beiträgen bereits gehört. Ich werde deshalb zunächst auf das Materialverhalten der Gesteine und später dann auf die Reaktion des Gesamttragsystems eingehen. Die das Deckgebirge am Standort Asse aufbauenden Gesteine unterscheiden sich in ihrem mechanischen Verhalten grundlegend von den Gesteinen des Salinars. Die Gesteine des Deckgebirges besitzen ein elasto-plastisches, zeitunabhängiges Stoffverhalten, was bewirkt, dass bei konstantem Lasteintrag unterhalb der Bruchgrenze begrenzte Verformungen möglich sind. Außerdem besitzen sie im Vergleich zu den Salzgesteinen eine hohe Gesteinsdichte und damit ein höheres Gewicht. Am wesentlichsten jedoch ist, dass die Festigkeit des Gebirgskörpers durch das im Gebirge ausgebildete Trennflächengefüge, also die Störungen, Schichtflächen und Klüfte, bestimmt wird. Daraus folgt, dass das mechanische Verhalten des Deckgebirges stark richtungsabhängig, also anisotrop<sub>1</sub> ist.

Im Gegensatz dazu haben die Salzgesteine, also in erster Linie Steinsalz und Carnallit, ein viskoplastisches<sub>2</sub> zeitabhängiges Stoffverhalten, wodurch sie im Gegensatz zu den Deckgebirgsgesteinen bei konstanter Last zeitabhängig verformt werden können. Dieses besondere salzeigene Materialverhalten wird als „Kriechen“ bezeichnet. Die im Vergleich zu den Deckgebirgsgesteinen geringere Gesteinsdichte führt zu dem Streben des Salzes, im Deckgebirge aufzusteigen. Somit entstehen die typischen Salzstrukturen. Wesentlich ist auch, dass im Salz die Gebirgsfestigkeit der Gesteinsfestigkeit entspricht, im Gegensatz zum Deckgebirge, da im Salz kein mechanisch wirksames Trennflächengefüge ausgebildet ist. Insgesamt ist damit das mechanische Verhalten des Salzgesteins im Wesentlichen als richtungsunabhängig, also isotrop<sub>2</sub>, zu bezeichnen.

Um Ihnen zu verdeutlichen, wie sich das beschriebene mechanische Verhalten der Salzgesteine praktisch auswirkt, möchte ich meine Ausführungen durch folgendes Bild ergänzen:



Sie sehen die Kontur einer ehemaligen Strecke im Carnallit auf der 750-m-Sohle der Schachtanlage Asse. Diese Strecke wurde im Zusammenhang mit der Salzgewinnung aufgefahen und später größtenteils versetzt. Durch die Wirkung des Kriechprozesses ist es innerhalb eines Zeitraumes von ca. 30 bis 40 Jahren zu einem vollständigen Verschluss des ehemaligen Hohlraumes gekommen.



## Wechselwirkung zwischen Deckgebirge und Salinar



**messbare Veränderungen unter und  
über Tage**



**Erfassung im markscheiderisch-  
geotechnischen Überwachungsprogramm**



**Rückschlüsse auf den Zustand des  
Gebirges und dessen Tragfähigkeit**

Da das Deckgebirge und der Salzsattel in einer engen Wechselwirkung stehen, beeinflussen sich die vom unterschiedlichen Materialverhalten geprägten Spannungs- und Verformungsfelder wechselseitig, wodurch es zu messbaren Veränderungen unter und über Tage kommt.

Diese messbaren Veränderungen können in einem markscheiderisch geotechnischen Messprogramm erfasst werden. Das Überwachungsprogramm wird als Gebirgsbeobachtungsprogramm bezeichnet und wird am Standort Asse seit Mitte der 60er Jahre durchgeführt. Anfang der 80er Jahre wurde dieses wesentlich erweitert. Aus den Ergebnissen dieser Überwachung können Rückschlüsse auf den Zustand des Tragsystems ermittelt und dessen Resttragfähigkeit abgeschätzt werden.



## Gebirgsbeobachtungsprogramm

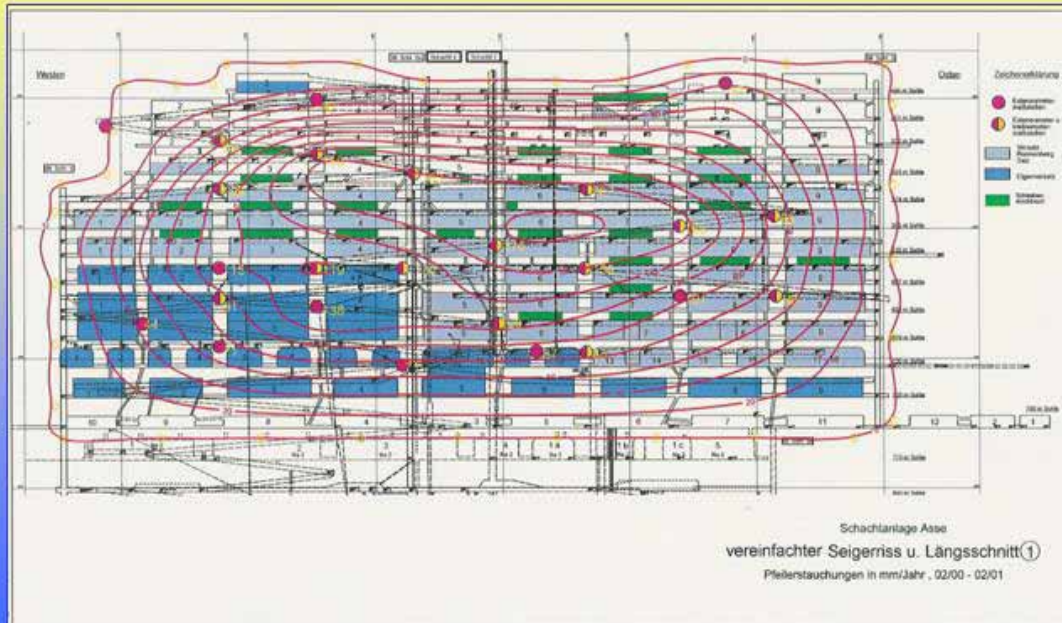
### Unter Tage

- **Höhen- und Lagemessungen im gesamten Grubengebäude**
- **Konvergenzmessungen in Strecken und Abbauen**
- **Pfeilerstauchungsmessungen im Abbaufeld an der Südflanke**
- **mikroseismische Überwachung im Abbaufeld an der Südflanke**
- **Spannungsmonitoring im Abbaufeld an der Südflanke**

Im Folgenden möchte ich kurz auf die wesentlichen Elemente des Gebirgsbeobachtungsprogramms näher eingehen. Unter Tage umfasst das Messprogramm Höhen- und Lagemessungen im gesamten Grubengebäude, Konvergenzmessungen in Strecken und Abbauen, Pfeilerstauchungsmessungen im Baufeld an der Südflanke, mikro-seismische Überwachungen im Baufeld an der Südflanke sowie Spannungsmessungen im Baufeld an der Südflanke. Es wird deutlich, dass das Baufeld an der Südflanke des Asse-Sattels in besonderem Maße überwacht wird. Dies geschieht deshalb, weil dieses Baufeld aufgrund seiner Größe und des Durchbauungsgrades maßgebend für die gebirgsmechanische Situation am Standort Asse ist. Aus diesem Grund werden sich meine späteren Ausführungen zum Gesamttragsystem auch an diesem Baufeld orientieren.



### Pfeilerstauchungen



Um zu verdeutlichen, welcher Aufwand zur Messwerterfassung notwendig ist und zu welchen Ergebnissen dieser Aufwand führt, sind auf dem folgenden Bild das Messsystem zur Überwachung der Pfeilerstauchung und die ermittelten Stauchungsbeträge für den Zeitraum von 2000 bis 2001 dargestellt. Sie sehen einen vereinfachten Längsschnitt in West-Ost-Richtung, wir schauen also von Süden auf das Baufeld an der Südflanke. Sie erkennen die in den Pfeilern installierten Extensometer zur Messwerterfassung. Diese sind gekennzeichnet durch die roten und rot/gelben Punkte in den Pfeilern. Es gibt insgesamt 26 Extensometer, die in etwa gleichmäßig über das gesamte Baufeld verteilt sind. Mit Ihnen wird die Stauchung der Pfeiler in Nord-Süd-Richtung bis in eine Größenordnung von 1/100 Millimeter erfasst. Die dargestellten roten Linien sind Isolinien, die die Bereiche mit gleichen jährlichen Stauchungen erfassen. Erwartungsgemäß sind die Stauchungen etwa in der Mitte des Baufeldes am größten und am Baufeldrand am kleinsten. Sie betragen in der Mitte des Baufeldes ca. 180 Millimeter pro Jahr und am Baufeldrand ca. 20 Millimeter pro Jahr. Die gemessenen Stauchungen resultieren im Wesentlichen aus einer Bewegung oder aus einer Verformung der südlichen Sattelflanke in Richtung des Sattelkerns.



## Gebirgsbeobachtungsprogramm

### Über Tage

- **Lagemessungen zur Ermittlung der Horizontalverschiebungen**
- **Höhenmessungen zur Ermittlung der Bodensenkungen**
- **Schachtteufenmessungen und Schachtlotungen**

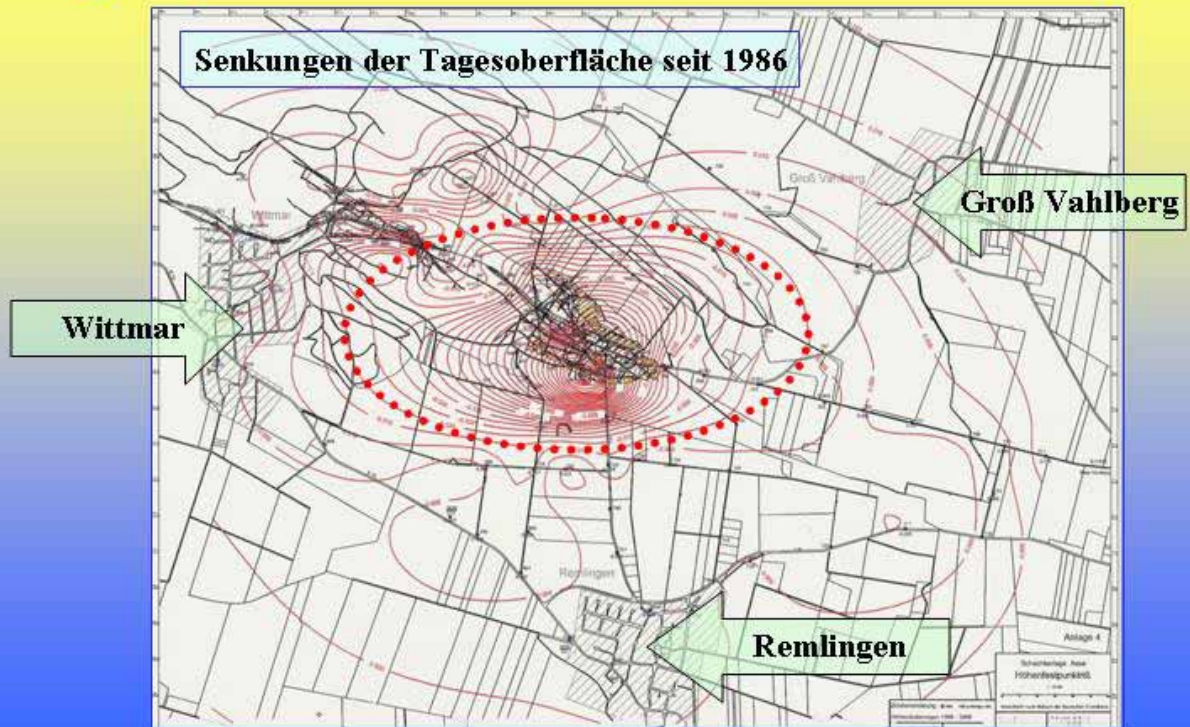
Über Tage umfasst das Messprogramm Lagemessungen zur Ermittlung der horizontalen Verschiebungen, Höhenmessungen zur Ermittlungen der Bodensenkungen und Schachtteufenmessungen sowie Schachtlotungen. Die Höhenmessungen zur Ermittlung der Bodensenkungen stellen dabei ein wesentliches Überwachungsinstrument dar. Die Koppelung der Entwicklung der Bodensenkung an der Tagesoberfläche mit den unter Tage gemessenen Verformungen gestattet es, Rückschlüsse auf die Integrität des Deckgebirges zu ziehen.





## Schachtanlage Asse

Die gebirgsmechanische Situation



23. September 2001

Thauer, A. of dem. Weg zur sicheren Schaltung

9

Um Ihnen auch hiervon einen Eindruck zu vermitteln, sind auf diesem Bild die Messpunkte des Höhenfestpunktnetzes über Tage und die ermittelten Bodensenkungen von 1986 bis zum Jahr 2000 dargestellt. Sie sehen einen Ausschnitt aus der Flurkarte mit den vorhandenen Messpunkten. Überwacht wird ein Gebiet von Groß-Vahlberg im Osten bis nach Wittmar im Westen, von Remlingen im Süden bis zum Festberg im Norden. Um eine Zuordnung zur Lage des Grubengebäudes vornehmen zu können, ist außerdem der Sohlenriss der 750-m-Sohle eingetragen, und zwar genau im Zentrum, dieser kleine Fleck umfasst also das gesamte Grubengebäude auf der 750-m-Sohle. Es wird deutlich, dass sich ein Senkungstrog im Zentrum über der Mitte des Baufeldes an der Südflanke gebildet hat. Über Tage befindet sich dieses Zentrum im Bereich der Villa, unmittelbar am Schachtgelände. Die gemessenen Senkungen betragen für den dargestellten Zeitraum von 1986 bis 2000 im Senkungsmaximum 160 Millimeter, auf den gesamten Zeitraum des Bergbaus bezogen ergibt sich eine Maximalsenkung von 290 Millimetern.

Hervorheben möchte ich den Bereich der 5-Millimeter-Senkungslinie, sie umschließt den eigentlichen Senkungsdruck und befindet sich etwa auf halbem Weg von Remlingen bzw. Groß-Vahlberg zur Schachtanlage. Die Entwicklung der dargestellten Senkung war und ist mit keinerlei Schäden an der Tagesoberfläche verbunden.



## **Gesamtragsystem aus Deckgebirge und Pfeiler-Schwebensystem an der Südflanke des Assesattels**

### **Elemente**

- **begrenzt standfestes System aus Pfeilern und Schweben**
- **umgebendes, unverritztes Salzgestein (vor allem der Sattelkern)**
- **Gesteinsschichten des Deckgebirges im Einwirkungsbereich des Grubengebäudes (Oberer Buntsandstein und Unterer Muschelkalk)**

Ich komme nun zum Kern meines Vortrages, zur Darstellung des Gesamtragsystems, bestehend aus Deckgebirge und Pfeilerschwebesystem an der Südflanke des Asse-Sattels und die Reaktionen des Tragsystems auf die verschiedenen Einwirkungen. Zu den Tragelementen des Tragsystems gehört das nachgiebige und begrenzt standfeste System aus Pfeilern und Schweben, welches der Gewinnungsbetrieb zurückgelassen hat. Begrenzt standfest bedeutet dabei, dass das System nicht in der Lage ist, die Deckgebirgslast dauerhaft abzutragen. Vielmehr entziehen sich die nachgiebigen Pfeiler und Schweben der Last durch Verformung.



### Schachtanlage Asse II Schnitt 2



23. September 2001

Thema: Auf dem Weg zum sicheren Schichtberg


11

Anhand dieses Bildes möchte ich Ihnen noch einmal die genannten Tragelemente zeigen. Sie sehen hier den bekannten Vertikalschnitt in Nord-Süd Richtung durch das Deckgebirge und das Salinar mit dem Grubengebäude der Schachtanlage Asse. Man erkennt deutlich die Dominanz des Abbaufeldes an der Südflanke gegenüber dem restlichen Grubengebäude. Zu den Tragelementen sind die Pfeiler und Schweben dieses Systems zu nennen, der Sattelkern ist wenig durchbaut, die Gesteinsschichten des Oberen Buntsandsteins und des Unteres Muschelkalkes.



## Gesamtragsystem aus Deckgebirge und Pfeiler-Schwebensystem an der Südflanke des Assesattels

### Reaktionen vor der Versatzmaßnahme

- **Verformung des System aus Pfeilern und Schweben unter der Last des Deckgebirges**
  - **Verformungseintrag in das Deckgebirge und Beteiligung am Lastabtrag**
  - **Überbeanspruchung der am Lastabtrag beteiligten Bereiche des Deckgebirges**
  - **Erhöhung des Lasteintrages aus dem Deckgebirge**
- 

Ich komme nun auf die Reaktion des Gesamtragsystems vor der Versatzmaßnahme zu sprechen. Unter der Last des Deckgebirges kommt es zu einer ständig anhaltenden Verformung der Pfeiler und Schweben. Daraus resultiert ein ständiger Verformungseintrag in das Deckgebirge und eine Beteiligung der genannten Gesteinsschichten am Lastabtrag. In der Folge kommt es langfristig zu einer Überbeanspruchung der am Lastabtrag beteiligten Bereiche des Deckgebirges, woraus in letzter Konsequenz eine Erhöhung des Lasteintrages aus dem Deckgebirge auf die Sattel-flanke resultiert. Dies bedeutet natürlich eine stärkere Verformung des Tragsystems und eine Fortsetzung des Prozesses auf immer höherem Niveau. Durch die 1995 begonnene flächenhafte Einbringung von Versatz aus der Halde Ronnenberg konnte diese Entwicklung durchbrochen werden.



## **Gesamtragsystem aus Deckgebirge und Pfeiler-Schwebensystem an der Südflanke des Assesattels**

### **Auswirkungen der gegenwärtigen Versatzmaßnahme**

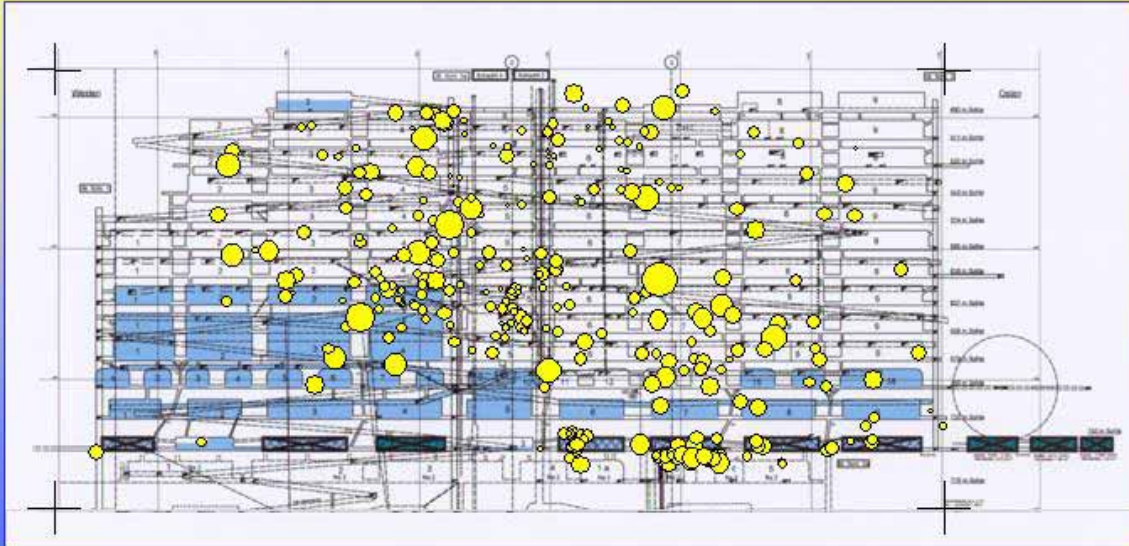
- **Erhöhung des Lastabtragvermögens der Pfeiler durch Konturstabilisierung**
- **Verlangsamung des Verformungsprozesses im Bereich der verfüllten Abbaue**
- **Verringerung des Hohlraums**

Folgende Auswirkungen sind mit der Versatzmaßnahme verbunden: Eine Erhöhung des Lastabtragevermögens der Pfeiler durch die konturstabilisierende Wirkung des Versatzes, eine Verlangsamung des Verformungsprozesses im Bereich der verfüllten Abbaue und nicht zuletzt eine Verringerung des für die Deformation zur Verfügung stehenden Hohlraumes. Der Effekt der Konturstabilisierung an den Pfeilern lässt sich anhand der Ergebnisse der mikroseismischen Überwachung hervorragend verdeutlichen, da das angewandte Messverfahren praktisch das Knistern in den Pfeilern sichtbar macht, d. h., es werden Ergebnisse von Verschiebungen im Mikrometerbereich ausgewiesen.



## Schachtanlage Asse

Die gebirgsmechanische Situation



### Mikroseismische Ereignisse 1995

25. September 2001

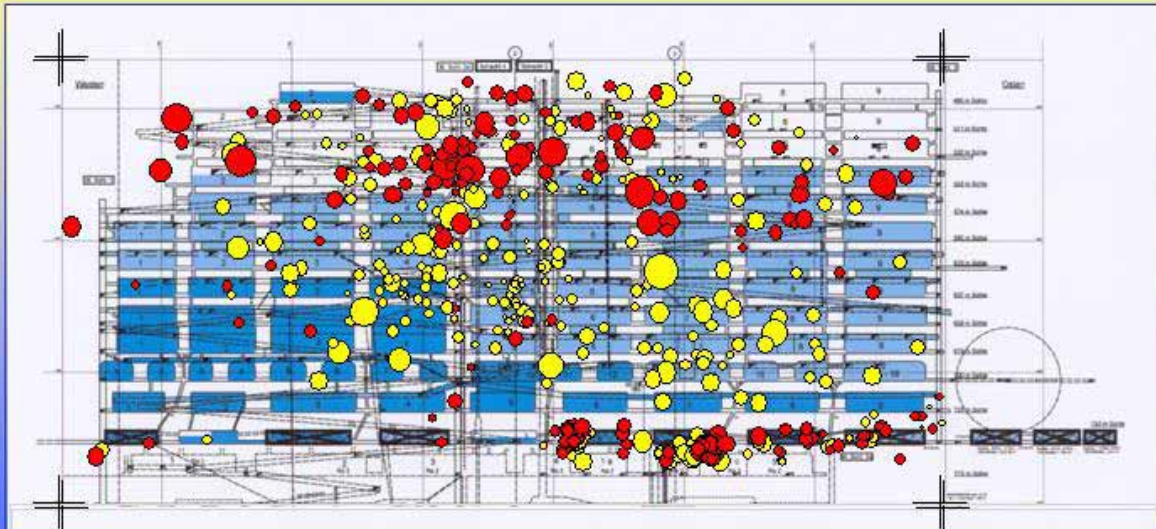
Thauer, A. et al.: Wie grün sieht man Schieferung?

14

Auf diesem Bild sehen Sie den bekannten Längsschnitt in West-Ost-Richtung durch das Abbaufeld an der Südflanke. Blau hinterlegt sind die bis 1995 verfüllten Abbaue. Die erscheinenden gelben Punkte registrieren die mikroseismischen Ereignisse im Jahr 1995. Man erkennt deutlich, dass die registrierten Lokationen sich etwa gleichmäßig über das gesamte Abbaufeld verteilen.



Mikroseismische Ereignisse 2000



Mikroseismische Ereignisse 1995

25. September 2001

Thema: Auf dem Weg zur sicheren Schließung

13

Auf dieser Abbildung ist der Verfüllungsstand zum Jahr 2000 eingeblendet. In den oberen Sohlen erfolgt gegenwärtig die Versatzmaßnahme. Durch Einblendung der roten Punkte, die die mikroseismischen Ereignisse im Jahr 2000 verdeutlichen, ist ein deutlicher Rückgang der seismischen Aktivität im Bereich der versetzten Abbaue ersichtlich.



## Gesamtragsystem aus Deckgebirge und Pfeiler-Schwebensystem an der Südflanke des Assesattels

### Auswirkungen der Porenraumfüllung mit $MgCl_2$ -Lösung

- **Aufbau eines hydrostatischen Stützdruckes und Rückgang der Konvergenz im Grubengebäude**
- **Reduzierung des Verformungseintrages in das Deckgebirge**
- **Entlastung und Stabilisierung des Deckgebirges**
- **Rückgang der Senkungsrate an der Tagesoberfläche**
- **Verhinderung des Zutritts von lösungsfähigen Wässern aus dem Deckgebirge**
- **Verhinderung von Bruchvorgängen im Deckgebirge aufgrund unkontrollierter Lösungsvorgänge im Salinar**

Ich möchte jetzt einen Ausblick auf die gebirgsmechanischen Auswirkungen der Porenraumverfüllung mit Magnesiumchloridlösung geben. Zunächst kommt es zum Aufbau eines hydrostatischen Stützdruckes und dem Rückgang der Konvergenz im Grubengebäude. Gleichzeitig kommt es damit zu einer Reduzierung des Verformungseintrages in das Deckgebirge und damit verbunden natürlich zu einer Entlastung und Stabilisierung des Deckgebirges, was wiederum den Rückgang der Senkungsrate an der Tagesoberfläche zur Folge hat. Durch die Porenraumverfüllung mit Magnesiumchloridlösung wird aber auch verhindert, dass es zu einem Zutritt von lösungsfähigen Wässern aus dem Deckgebirge kommt, wodurch verhindert wird, dass es zu Bruchvorgängen im Deckgebirge aufgrund unkontrollierter Lösungsvorgänge im Salinar kommt. Diese für die Sicherheit in der Nachbetriebsphase positiven Wirkungen sind auch aus den Erfahrungen bei der Schließung anderer Salzbergwerke bekannt.





## Bewertung der gebirgsmechanischen Situation

- ➔ **Die gebirgsmechanische Situation am Standort Asse kann als hinreichend erfasst betrachtet werden.**
- ➔ **Die entwickelten Modellvorstellungen gestatten eine ausreichend sichere Beschreibung der abgelaufenen und der zu erwartenden gebirgsmechanischen Reaktionen.**
- ➔ **Durch die Kombination der Versatzmaßnahme mit einer planmäßigen Verfüllung des Porenraumes mit  $MgCl_2$ -Lösung wird es gelingen, einen langzeitsicheren gebirgsmechanisch stabilen Zustand zu erreichen.**
- ➔ **Die Erhaltung der noch vorhandenen Integrität des Deckgebirges und der Schutz der Tagesoberfläche können damit dauerhaft sichergestellt werden.**

Ich komme nun zum letzten Teil meines Vortrages, einer zusammenfassenden Bewertung der gebirgsmechanischen Situation. Ich habe diese Zusammenfassung in folgende vier Thesen gekleidet.

1. Die gebirgsmechanische Situation am Standort Asse kann als hinreichend erfasst betrachtet werden.
2. Die entwickelten Modellvorstellungen gestatten eine ausreichend sichere Beschreibung der abgelaufenen und der zu erwartenden gebirgsmechanischen Reaktion.
3. Durch die Kombination der Versatzmaßnahme mit einer planmäßigen Verfüllung des Porenhohlraumes mit einer Magnesiumchloridlösung wird es gelingen, einen langzeitsicheren, gebirgsmechanisch stabilen Zustand zu erreichen.
4. Die Erhaltung der noch vorhandenen Integrität des Deckgebirges und der Schutz der Tagesoberfläche können damit dauerhaft gesichert werden.



## Schachtanlage Asse

Die gebirgsmechanische Situation



23. September 2001

Thema: Auf dem Weg zum neuen Schichtweg

18

Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit, Glück Auf.