

# Sanierung von Bergwerken durch gesteuerte Flutung

## Entwicklung und Einsatz eines neuartigen Verfahrens am Beispiel der Grube Königstein

**Abstract**

The Königstein mine is located about 20 km south of Dresden and 1 km southwest of the Elbe River, in the Free State of Saxonia. Conventional underground mining operations commenced in 1967. In 1984 the in situ leach technique had totally replaced conventional mining methods. Mining ceased following re-unification of the German states in 1990. The deposit is located at a depth of 150 to 300 m, relative to the surface profile. It forms part of the geological and hydrogeological sequence of the Pirna Basin. During the mining operation the third and fourth aquifers were dewatered.

It is the concept of WISMUT to allow the mine to flood. The flooding will occur under a controlled two stage process of  
 – flooding with collection and treatment of contaminated water and  
 – abandonment once the water quality within the mine reaches an acceptable level.

The flooding concept based on investigations, modelling and a pilot flooding experiment. Engineering works include the establishment of a monitoring system and a water treatment plant.

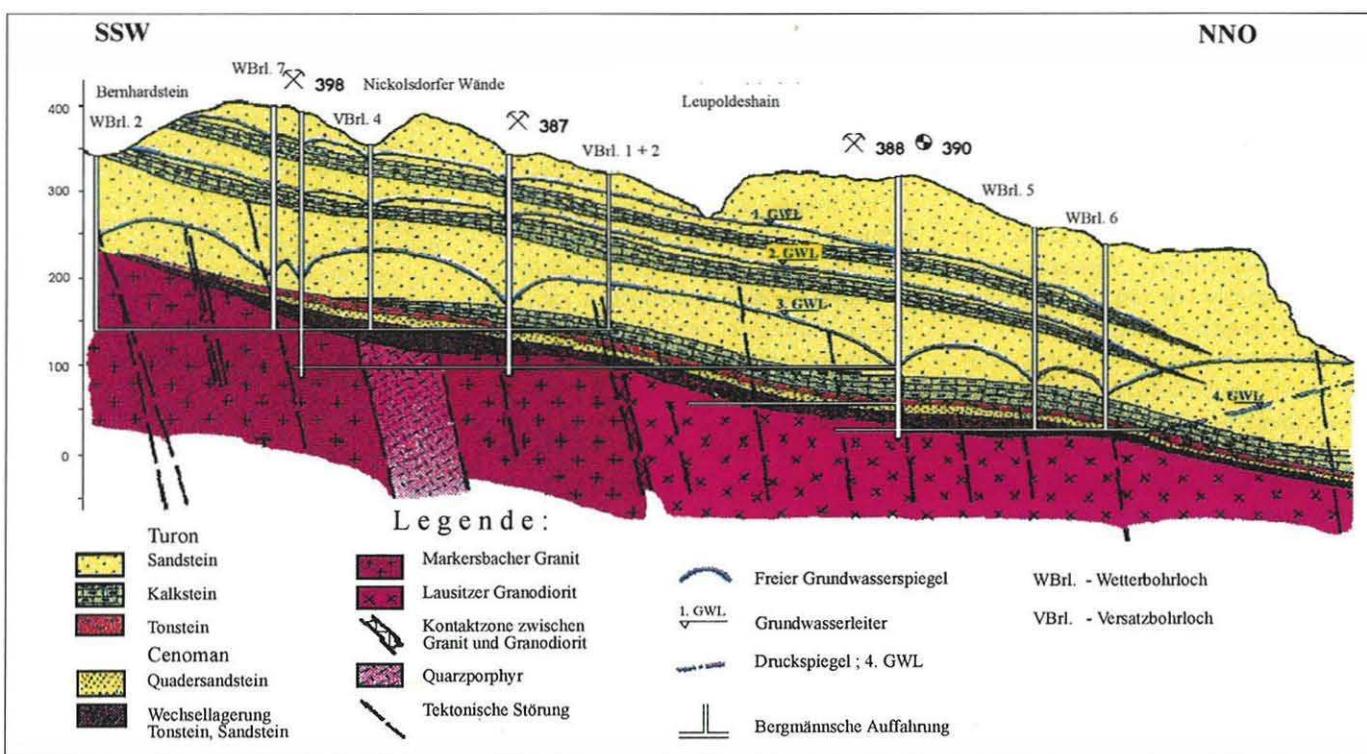
**1 Rahmenbedingungen der Sanierung**

Das Bergwerk Königstein liegt im Südosten des Freistaates Sachsen im Bereich des Landschaftsschutzgebietes „Sächsische Schweiz“. 1961 wurde die Erkundung der Lagerstätte aufgenommen und 1964 mit der Teufe des Schachtes 387 ihre Erschließung. 1967 begann die Urangewinnung durch konventionellen untertägigen Abbau. Da die vorgefundenen Urangehalte den Abbau zunehmend uneffektiver werden ließen, begann man Anfang der siebziger Jahre mit Untersuchungen zu alternativen Gewinnungsverfahren.

Diese Untersuchungen führten schließlich dazu, daß zuerst versuchsweise und ab 1984 die Urangewinnung vollständig auf chemische Gewinnung umgestellt wurde. Insgesamt wurden bis 1990 aus der Lagerstätte 18 000 t Uran gewonnen, davon circa 5 400 t durch untertägige Laugung.

**2 Geologische und Lagerstättenparameter**

Ein geologischer Schnitt durch die Lagerstätte ist in Abbildung 1 dargestellt. Im erschlossenen Bereich hat der Erzkörper im Einfalten eine Länge von 4,5 km und eine maximale Breite von 1,5 km im Streichen. Die Lagerstätte fällt von SSW nach NNE mit einem Generaleinfallen von 2,5 bis 3 gon ein. Lokal tritt steileres Einfallen auf. Die Erzverteilung ist flözartig. Drei Erzhorizonte



**Abb.1.** Geologischer Schnitt (schematisiert) durch die Lagerstätte Königstein; Schnittlinie verläuft etwa im Einfalten. Die Lagerstätte ist durch Tagesschächte, Wetter- und Versatzbohrlöcher und vier Hauptsohlen (+ 25 m, + 50 m, + 94 m, + 135 m ü. NN) erschlossen.

sind vorhanden. Im Zentrafeld treten Erzmächtigkeiten von 20 bis 30 m auf. In tektonischen Zonen laufen die Erzhorizonte zu durchgängiger Kluftvererzung zusammen. An den Flanken sinken die Mächtigkeiten bis auf Dezimeter ab. Die Tiefe des erschlossenen Erzlagers reicht von 25 m NN im Norden bis 230 m NN im Süden bei einer Überdeckung je nach Tagesprofil von 150 bis 250 m.

Im Untergrund der Lagerstätte befinden sich jungpräkambrische und paläozoische Granodiorite und Granite. Die Vererzung ist als feinste Imprägnation an die Sandsteine des terrestrischen und marinen Cenomans gebunden und reicht stellenweise bis in den unteren Turon. Der Turonpläner (t1p) ist bis 25 m mächtig und stellt das Haupthangende der Lagerstätte dar. Die darüber liegenden Turonschichten reichen bis über Tage, wobei sich in der Kreidezeit die Sedimentationsfolge insgesamt viermal wiederholte.

### 3 Hydrogeologie

Im Pirnaer Becken treten vier Grundwasserleiter auf. Für die Sanierung sind der 3. und der 4. Grundwasserleiter von besonderer Bedeutung. Im Bereich des

Grubengebäudes ist dieser Grundwasserleiter durch die ständige Wasserhebung in Verbindung mit der Bergbauaktivität entwässert, die Absenkung beträgt 60 bis 120 m. Der Depressionstrichter hat eine Ausdehnung von 11 km in NS- und 17 km in EW-Richtung. Der 3. Grundwasserleiter ist der wasserreichste und mächtigste im Gebiet. Durch die Bergbauaktivität wurde er um 20 bis 60 m abgesenkt. Sein Depressionstrichter umfaßt eine Ausdehnung von 2,5 km in NS- und maximal 8,5 km in EW-Richtung. Beide Grundwasserleiter werden durch Pegel im Umkreis von 600 km<sup>2</sup> überwacht. Der 3. Grundwasserleiter durchfließt die Turonsandsteine oberhalb des Turonpläner (t1p). Er hat im Süden mit dem 4. Grundwasserleiter ein gemeinsames Einspeisungsgebiet.

### 4 Konzept der gesteuerten Flutung

Mit der Einstellung der kommerziellen Urangewinnung (Ende 1990) bestand die schwierige Aufgabe, einen in voller Produktion stehenden Laugungsbergbaubetrieb stillzulegen. Gleichzeitig war ein Sanierungskonzept zu entwickeln, das eine schrittweise Integration aller noch künftig anfallenden Erkenntnisse ermöglichte und dennoch

parallel dazu die technische Vorbereitung der Flutung der Lagerstätte zuläßt. Der eigentlich „logische“ Ablauf Grundlagenuntersuchungen – Konzeptentwicklung auf verschiedenen Ebenen – Ableitung und Bestätigung der Vorzugsvariante und anschließende technische Realisierung hätten zu einer beträchtlichen Verlängerung der Gesamtsanierungszeit und damit zu einer Erhöhung der Kosten geführt. Aus diesem Grund wurden 1991 und 1992 prinzipiell mögliche Varianten der Flutung der Grube Königstein untersucht und diskutiert.

Basis dafür bildeten Untersuchungen, die im Zusammenhang mit der Erkundung und Erschließung der Lagerstätte sowie zur Vorbereitung und Durchführung der Laugung getätigten wurden. Da international keine Erkenntnisse oder Erfahrungen zu einem derartigen Sanierungsobjekt vorliegen, wurde, gestützt auf die eigenen langjährigen theoretischen und praktischen Erfahrungen beim „Umgang“ mit der Lagerstätte, die gesteuerte Flutung als Grundrichtung (Abbildung 2) ausgearbeitet. Weitere Grundrichtungen, die mit unterschiedlicher Bewertungstiefe bearbeitet wurden, waren die Sofortflutung und das unbegrenzte Offenhalten der Grube. Dabei wurden

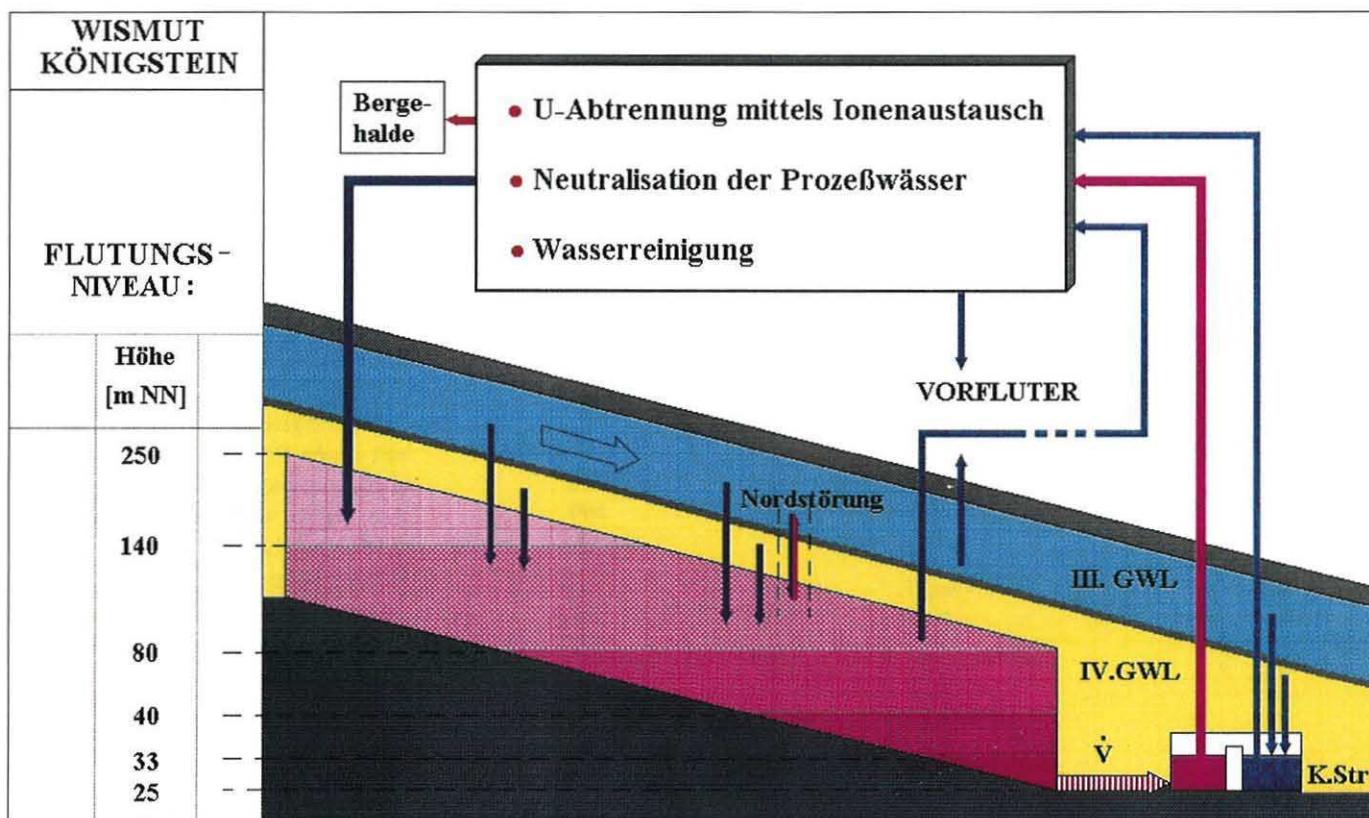


Abb. 2. Prinzipdarstellung der gesteuerten Flutung. Durch die Schaffung eines quasi geschlossenen Systems werden die Schadstoffe aus der Grube abgetrennt und über Tage abgetragen und auf einer Bergehalde verbracht.

bei allen Grundrichtungen verschiedene Untervarianten betrachtet. Das Offenhalten der Grube wurde verworfen, da es sich dabei um keine eigentliche Sanierung handelt und diese außerdem mit hohen Belastungen und Kosten verbunden ist. Die Sofortflutung wurde aufgrund nicht kalkulierbarer radiologischer und konventioneller Risiken ausgeschlossen.

## 5 Gefährdungspotential

In der Grube Königstein wurde durch die Anwendung der schwefelsauren Laugung eine Mobilität von Schadstoffen geschaffen, die weit über die von konventionell abgebauten Lagerstätten hinausgeht. Zusätzlich wurden durch die Laugung mobile Schadstoffe in die Lagerstätte eingebracht.

In der Lagerstätte befinden sich im wesentlichen drei Quellen, die Schadstoffe freisetzen können:

- hochkonzentrierte Lösungen,
- wasserlösliche Salze und das
- mineralogische Inventar.

Bei Flutung der Grube wird die Zusammensetzung des Flutungswassers im wesentlichen durch zwei Prozesse bestimmt:

- einen kurzfristig wirksamen Prozeß, nämlich die Verdünnung der hochkonzentrierten Lösung und die Auflösung der Salze,
- einen langfristig wirksamen Prozeß der Reaktion des mineralogischen

Inventars mit Flutungs- bzw. Grundwasser.

Die auf Grundlage umfangreicher Untersuchungen erwarteten Stoffkonzentrationen im Flutungswasser sind in Tabelle 1 angegeben.

Die Flutung der Lagerstätte Königstein kann zu einem Übertritt dieser hochkontaminierten Flutungswässer in den zur Trinkwassergewinnung genutzten 3. Grundwasserleiter führen und diesen maßgeblich belasten.

## 6 Sanierungsziele und Sanierungsstrategie

Da die maßgebliche Gefährdung der Umwelt bei Flutung der Grube in der Ausbreitung von Schadstoffen im 3. und 4. Grundwasserleiter besteht, besitzt die die Grube verlassende Schadstoffmenge und die Form des Schadstoffimpulses zentrale Bedeutung.

Daraus abgeleitet ergeben sich zwei Ziele für die Sanierungs durchführung:

- Reduzierung der insgesamt freigesetzten Menge an Schadstoffen,
- Reduzierung des in die Grundwasserleiter eintretenden Impulses.

Mit dem ersten Ziel werden langfristig tolerable Belastungen (emissionswirksame Belastungen) im Grundwasser angestrebt und mit dem zweiten Ziel eine immissionswirksame Belastung des Grundwassers vermieden.

Beide Ziele bedingen eine aktive Beeinflussung der Schadstoffquelle.

Theoretisch können beide Ziele durch eine ausreichende Blockierung der Quelle erreicht werden. Da dies technisch einen Neuaufschluß der Lagerstätte zur Vorbereitung der Blockierung bedeutet und wirksame Blockierungsverfahren nicht zur Verfügung stehen, ist dies aus wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Aspekten nicht zu rechtfertigen.

Die Reduzierung des Impulses setzt eine Steuerung der Schadstoffquelle voraus. Diese Steuerung muß dabei zeit- und lastenabhängig erfolgen. Dies ist mit einer gesteuerten Flutung realisierbar. Damit werden kurzfristig wirksame Prozesse für den Impuls unbedeutend, da die so freigesetzten Schadstoffe über Tage dem Flutungswasser entzogen werden. Gleichzeitig erfolgt eine Reduzierung des Gesamtschadstoffpotentials. Eine immissionswirksame Belastung der Grundwässer wird vermieden. Weiterhin kann durch die Steuerung der Quelle die Emission auf ein Maß reduziert werden, daß in Verbindung mit den hydraulischen Gegebenheiten natürliche Abbauprozesse in den Grundwasserleitern voll wirksam werden können. Nachteil dieser Art der Flutung ist die Aktivierung langfristig wirksamer Prozesse während der Steuerung. Die dadurch mobilisierten Schadstoffe wirken sich auf den Zeitraum der Steuerung aus. Da die Stofffreisetzung aus diesen Prozessen jedoch deutlich geringer ist als aus den erstgenannten, ist eine signifikante Verlängerung des Steuerzeitraums nicht zu erwarten. Um das verbleibende Risiko zu minimieren, sind Maßnahmen wie partielle Blockierung der Quelle und Hemmung der Freisetzungsprozesse erforderlich.

Für die Sanierung der Lagerstätte Königstein ergeben sich zusammenfassend folgende Aussagen:

- Das geringste ökologische Risiko ist mit einer Reduzierung des Schadstoffpotentials und einer Steuerung der Quelle verbunden. Emissionen sind somit tolerabel zu gestalten und immissionswirksame Belastungen zu vermeiden.
- Die Flutung erfordert eine wirksame Optimierung verschiedener, teilweise gegenläufiger Prozesse. Die Flutung sollte daher bis zum Erreichen einer hohen Aussagesicherheit reversibel durchgeführt werden.
- Die Flutungswaschung bietet die Voraussetzung für die Optimierung der Prozesse mit geringstem ökolo-

Tabelle 1. Zu erwartende Schadstoffkonzentrationen im Flutungswasser.

Item	Einheit	Wert
Eh	mV	800
pH		2,2
Na <sup>+</sup>	mg/l	850
K <sup>+</sup>	mg/l	10
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	70
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	550
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	6000
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	40
Fe <sup>2+</sup>	mg/l	300
Fe <sup>3+</sup>	mg/l	800
Mn <sup>2+</sup>	mg/l	25
Al <sup>3+</sup>	mg/l	50
Cl <sup>-</sup>	mg/l	750
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	50
U <sub>gel</sub>	mg/l	60
Ra <sub>gel</sub>	mBq/l	200
Co	mg/l	4
Ni	mg/l	9
Cr	mg/l	1
Zn	mg/l	125
Cu	mg/l	5
As	mg/l	2
Cd	mg/l	1
Th	mg/l	1

gischen Risiko, die Möglichkeit eines baldigen Sanierungsbeginns und die ständige Implementierung des weiteren Erkenntniszuwachses.

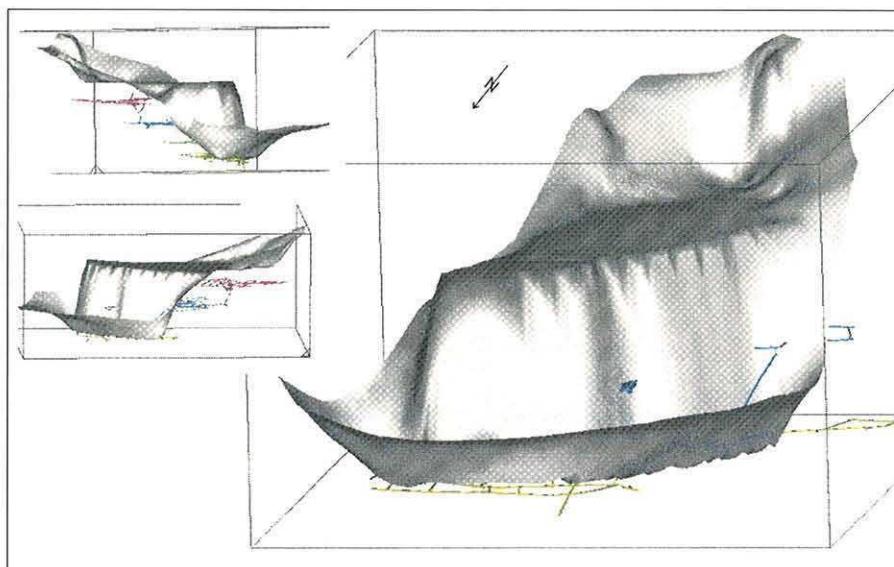
## **7 Kontrollstrecken- und Monitoringsystem**

Für die praktische Umsetzung des Konzeptes galt es, sich frühzeitig für ein technisches System zur Steuerung der Flutung zu entscheiden, mit dem ökologische Risiken minimiert werden, welches mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand errichtet und betrieben werden kann und welches die Implementierung von Optimierungsmaßnahmen ermöglicht. Diesen Forderungen wird mit einem System von Kontrollstrecken am besten entsprochen. Das Prinzip beinhaltet eine Umschlingung der Lagerstätte in potentiellen Abstrombereichen durch bergmännische Auffahrungen, sogenannten Kontrollstrecken. Diese werden mit Drainagesystemen ausgerüstet, die eine sichere Trennung von anströmendem Grundwasser und abströmendem Flutungswasser gewährleisten (Abbildung 3). Durch die Aufrechterhaltung des Depressionstrichters wird ein unkontrolliertes Austreten von Flutungswasser verhindert. Das in den Kontrollstrecken gesammelte Wasser wird nach über Tage gefördert und der entsprechenden Wasserbehandlung zugeführt. Durch direkte Abläseinrichtungen aus dem Flutungsraum und die Möglichkeit der Reinfiltration gereinigter oder zusätzlicher Wässer lässt sich die Flutungsgeschwindigkeit und der Flutungsspiegel steuern. Für die Realisierung dieses Konzeptes ist der Aufbau eines umfassenden Monitoringsystems Voraussetzung.

Das Monitoring hat dabei zwei Funktionen zu erfüllen:

- eine ökologische Funktion, d. h. die Gewährleistung der Umgebungsüberwachung und Beweissicherung auf allen relevanten Expositionspfaden,
  - eine technische Funktion, d. h. die Bereitstellung der für die Steuerung der Flutung erforderlichen Prozeßparameter.

Für die Flutung der Grube Königstein wurde ein Monitoringsystem konzipiert, das auf Grundlage von manuellen und automatischen Messungen (Abbildung 4) diese Funktionen erfüllt. Es beinhaltet die großräumige Überwachung der Grundwasserleiter, die Ableitung



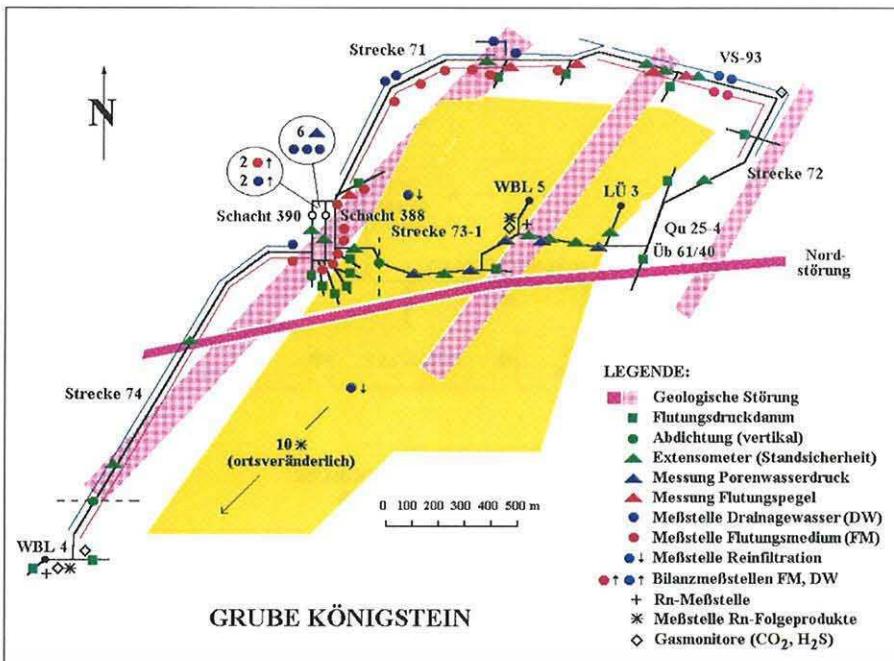
**Abb. 3.** Visualisiertes Modell des Druckspiegels im 4. Grundwasserleiter bei Flutung der Grube bis 180 m NN und Betrieb der Kontrollstrecke; Darstellung der hydraulischen Wirkung der Kontrollstrecke.

und Ausbreitung von radioaktiven und konventionellen Luftschadstoffen, die geomechanische Überwachung unter und über Tage, die Überwachung der Bergbausicherheit sowie die Erfassung von Prozeßdaten im unmittelbaren Flutungsraum. Verbunden mit dem erforderlichen Qualitätssicherungssystem und dem Datenmanagement werden damit die Voraussetzungen für die Durchführung der gesteuerten Flutung geschaffen.

## **8 Wissenschaftliche Untersuchungen**

Für die Ausarbeitung und Weiterentwicklung des Flutungskonzeptes waren und sind eine Vielzahl von wissenschaftlichen Untersuchungen unter Einbeziehung des international verfügbaren Wissensstandes notwendig. Die Untersuchungen stützen sich dabei auf drei wesentliche Säulen:

- (1) Detaillierte geologische, mineralogische, geochemische, geomecha-



**Abb. 4.** Übersicht über automatischen Meßstellen im Nordteil der Grube als Bestandteile des Monitoringsystems. Kontinuierlich arbeitende Meßstellen werden zur Überwachung von gebirgsmechanischen, hydrochemischen und radiologischen Parametern errichtet.

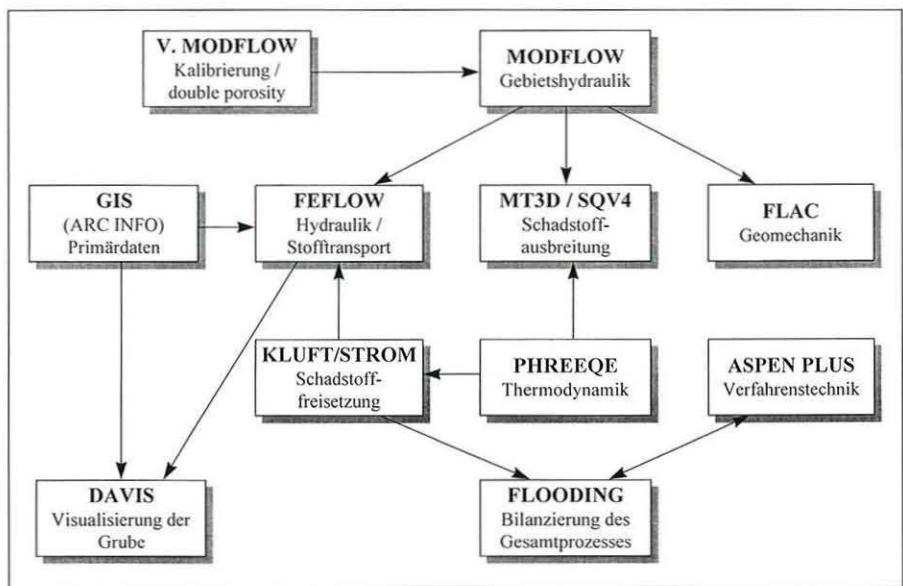


Abb. 5. Übersicht über Modelle, Modellgegenstand und Kopplung der Modelle, die zur Vorbereitung der Flutung der Grube Königstein eingesetzt wurden.

nische und hydrogeologische Erkenntnisse aus der Erkundung der Lagerstätte und der praktischen Bergbauaktivität,

(2) Erkenntnisse, die aus der Durchführung von großtechnischen In-situ-Versuchen in der Lagerstätte gewonnen werden und aus der Auswertung bereits realisierter Flutungen,

(3) Erkenntnisse aus spezifischen Forschungsarbeiten und Laboruntersuchungen.

Zur Verarbeitung der gewonnenen Erkenntnisse wurde die in Abbildung 5 dargestellte Modellstrategie entwi-

kelt. Durch die Verknüpfung unterschiedlicher fachspezifischer Modelle und der Anwendung verschiedener numerischer Simulationsverfahren konnte eine hohe Aussagesicherheit erreicht werden. Da letztendlich jedoch alle Modellaussagen von der Qualität der verfügbaren Datengrundlage abhängen, bildet die Schaffung der Datenbasis einen wesentlichen Schwerpunkt der Untersuchungen. Um eine möglichst realitätsnahe Datenbasis zu erhalten und um die Grundprozesse einer gesteuerten Flutung zu studieren, wurde 1993 mit einem Flutungsexperi-

ment begonnen, welches die Flutung der Lagerstätte annähernd im Maßstab 1 : 100 abbildet. Mit dem Flutungsexperiment wurden circa 150 000 m<sup>3</sup> Grubenhohlraum in einem hydraulisch isolierten Teil der Lagerstätte geflutet. Die aus dem Experiment gewonnenen Aussagen zu hydrodynamischen, hydrochemischen, gebirgsmechanischen und radiologischen Prozessen sowie zur Funktionalität von Steuerungs- und Monitoringsystemen bilden wesentliche Primärdaten für die Modellierung (Abbildung 5).

Unterstützt durch eine Vielzahl weiterer Feldversuche (z. B. Pumpversuche, Tracerversuche, Waschversuche, Isotopenuntersuchungen, mikrobielle Untersuchungen), von Laboruntersuchungen (z. B. umfangreiche hydro- und geochemische Analysen, Ermittlung petrophysikalischer Parameter, Ermittlung von Migrationsparametern, Versatzuntersuchungen) und durch umfassende gebirgsmechanische Untersuchungen konnte ein verifiziertes Abbild der Lagerstätte und der potentiellen Einflußbereiche erstellt werden. Auf Grundlage der durchgeföhrten Untersuchungen konnte das Prinzip der gesteuerten Flutung wissenschaftlich unterstellt und weiter definiert werden.

Für die weitere Umsetzung des Konzeptes wurden Untersuchungen durchgeführt, die die Blockierung von Kontaminationsquellen zumindest partiell ermöglichen. Neben der Betrachtung herkömmlicher Verfahren (z. B. Injektionstechniken, Neutralisationsverfahren) wurden erfolgversprechende Lösungen zur Konditionierung des Flutungswassers und zur gezielten Bildung von schwer löslichen Sekundärmineralen erarbeitet.

Zur Durchführung der gesteuerten Flutung ist es erforderlich, neben der Lösung der untertägigen Probleme die notwendigen Steuerungsinstrumentarien auch über Tage bereitzustellen. Dazu zählt insbesondere die Bereitstellung der benötigten Wasserbehandlungskapazitäten. Auf Grundlage der Flutungsprognose wurde ausgehend von den bestehenden Anlagen der Wasserbehandlung und Uranaufbereitung ein Konzept entwickelt, mit dem die Steuerung der Flutung gewährleistet werden kann (Abbildung 6). Die Realisierung dieses Konzeptes erfolgt schrittweise entsprechend den erteilten Genehmigungen und dem konkreten Flutungsverlauf.

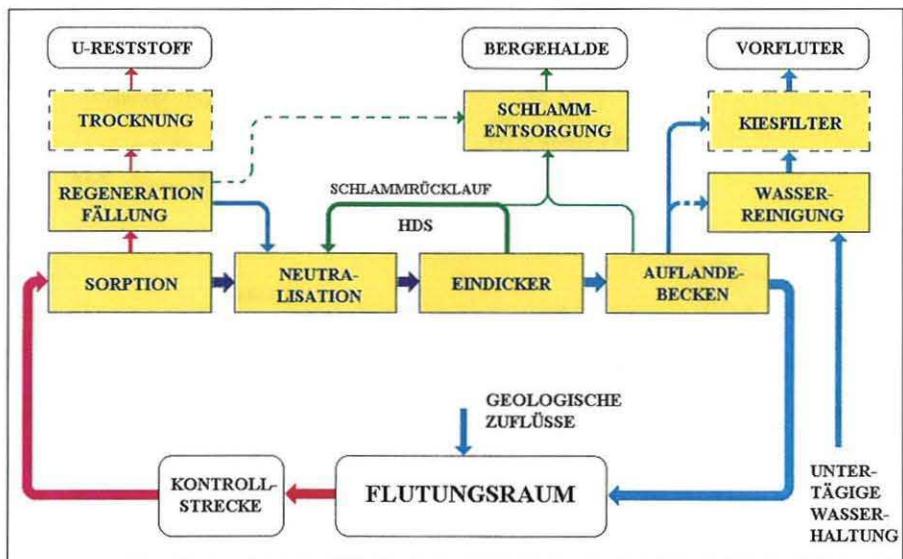


Abb. 6. Darstellung der zur Durchführung der gesteuerten Flutung konzipierten überörtlichen Prozessschritte; die Abtrennung des Urans zur weiteren Verwertung, die Neutralisation der Flutungslösung, die Schlammensorgung und die Reinigung des in die Vorflut eingeleiteten Wassers.

## 9 Schlußfolgerungen und Ausblick

Mit dem Konzept der gesteuerten Flutung wurde eine Variante zur Sanierung der Lagerstätte Königstein entwickelt, die den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt vor den durch den Bergbau verursachten Gefahren auch nach Einstellung des Betriebes sichert. Die gesteuerte Flutung ermöglicht die Wie-

derherstellung annähernd ursprünglicher Verhältnisse in überschaubaren Zeiträumen.

Ausgehend vom heutigen Kenntnisstand wird für die Flutung der Grube Königstein ein Zeitraum von 15–20 Jahren erforderlich sein. Maßgeblich beeinflußt werden dieser Zeitraum und die damit verbundenen Kosten (geschätzte Gesamtkosten über eine Mrd.

DM) von der weiteren Implementierung von unterstützenden Maßnahmen sowie vom Verlauf der eingeleiteten bergrechtlichen und strahlenschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren.

### Anschrift des Verfassers:

Jochen Schreyer, WISMUT GmbH, Postfach 52, D-09034 Chemnitz.

**Nordmeyer's DSB Geräte Serie**

**Drehen Spülen Schlagen Bohren**

**Trockendreh-, Spül-, Kern-, Saug-, Lufthebe- u. Hammerbohrungen**

**DSB 1/3.5 1/5**

**DSB 2/7 2/10**

**DSB 3/14**

**Über Techn. Daten, Leistungen und Bauvarianten unserer DSB-Geräte-Serie fordern Sie bitte detaillierte Unterlagen an. Oder - Fragen Sie uns direkt.**

**Zu Anfang haben  
Unsere Bohrgeräte  
geschaut,  
was "drunter" ist.  
Die Boden-  
erkundung**

**... das  
Auffinden  
von  
gesundem,  
natürlichem  
Wasser.**

**Es sind unsere  
DSB-Geräte,  
die es finden.  
Die Brunnen-  
bohrung**

**Nordmeyer GmbH & Co. KG  
Postfach 1604  
D-31206 Peine**

**Telefon 05171/542-0  
Telefax 05171/542-110**