



# BELASTBARKEIT NUMERISCHER MODELLE FÜR KOMPLIZIERTE GRUBENWASSERANSTIEGE (NUMGRU)

Prof. Dr. M.-Th. Schafmeister, Greifswald (Projektleiterin)

Dr. T. Kessler (wiss. Mitarbeiter)

Projektdauer: 2017 – 2022

## Kurzfassung der Projektergebnisse

Das Teilprojekt NumGru des *Forums Bergbau und Wasser* beschäftigte sich mit der Überprüfung, Entwicklung und Anwendung von numerischen Modellierungsansätzen zu Grubenwasseranstiegen. Vorrangig ging es um die Abbildung und die Prognose des Anstiegsverlaufs innerhalb des Grubengebäudes sowie im Nebengestein.

### BEWERTUNG UND VERGLEICH VON GRUBENWASSERANSTIEGSMODELLEN

Ausgangspunkt der Untersuchungen waren die im Bergbau häufig angewendeten Boxmodelle, welche einen finite-Volumen Ansatz verfolgen und die Wasserzuströme über das gesamte Hohlräumvolumen bilanzieren. In Zusammenarbeit mit der DMT (Deutsche Montan Technologie) wurde das häufig angewendete Boxmodell 3D studiert, die Parametrisierung angepasst und für den ehemaligen Bergwerksstandort Königsborn angewendet. Parallel wurde mit der finite-Elemente Software Feflow ein Grubenwasseranstiegsmodell für denselben Standort entwickelt, um die Unterschiede und Vorzüge der beiden Ansätze zu identifizieren.

Der Berechnungsansatz des Boxmodells erwies sich zunächst als gut geeignet, um den Wasseranstieg in Strecken und Schächten abzubilden. Über die Berechnung des Resthohlräumvolumens zeichnen die Wasserzuflüsse einen zeitlichen Verlauf des Wasseranstiegs, der die gemessenen Anstiegsverläufe zu reproduzieren in der Lage ist. Modellunsicherheiten ergeben sich in erster Linie durch die Berechnung der Resthohlräumvolumina, welche in Bergwerken bis zu 30 Prozent betragen können. Mittels Überlaufpunkten und hydraulischer Verbindungen können punktuell verschiedene Wasserprovinzen miteinander verknüpft werden. Dies ist ein großer Vorteil, da große Bergwerksareale modelliert werden können bei vergleichsweise geringem Rechenaufwand.

Hydraulische Prozesse im Gebirgsbereich während des Flutungsgeschehens können allerdings in Volumenbilanzmodellen nicht abgebildet werden. Beispielsweise kommt es während des Grubenwasseranstiegs punktuell zu Zuflüssen in das Grubengebäude, welche z.B. durch Verbruchbereiche, hydraulische Barrieren, Schachtbewandungen einen ungleichmäßigen Wasseraustausch von Grubengebäude und Gebirgsmatrix entwickeln. In der Folge sind die Grubenwasserstände kurz- und mittelfristig von den Grundwasserständen im Nebengebirge entkoppelt. Um diese Vorgänge betrachten zu können, bieten sich finite-Elemente Modelle an, welche den gesamten hydraulischen Einflussbereich des Bergwerks diskretisieren und sich an jedem beliebigen Punkt hydraulische Potentiale berechnen lassen. Ein solches Modell benötigt ein Vielfaches an Rechenkapazitäten sowie eine detaillierte Konzeptvorstellung für die tektonischen und bergbaubedingten Hohlräume und deren Parametrisierung.

Ein vereinfachtes finite-Elemente Modell für den Standort Königsborn zeigt eine Machbarkeit im Rahmen des Forschungsvorhabens, welches jedoch für die praktische Anwendung eines umfassenden Konzeptmodells bedarf und andererseits aufwändig parametrisiert werden muss. Beispielsweise ist die Kalibrierung eines finite-Elemente Modells anhand von Entnahmeraten und Wiederanstiegskurven im Schacht nicht ausreichend, um das gesamte Modellgebiet hinreichend gut zu beschreiben. Es bedarf zusätzlicher Zeitreihen tiefer Grundwassermesspunkte im Nebengestein, um die Unsicherheiten des Modells zu reduzieren. Ein finite-Elemente Modell empfiehlt sich daher in Fällen, in denen eine umfangreiche Datenbasis vorhanden ist und in denen Fragestellungen beantwortet werden wollen, die über die Grubengebäudehydraulik hinausgehen. Eine detaillierte Beschreibung von finite-Volumen- und finite-Elemente-Modellansätzen für Grubenwasseranstiege wurde auf mehreren Konferenzen (IMWA, FH-DGGV) vorgetragen und wird nun in einem wissenschaftlichen Beitrag veröffentlicht werden.

## ENTWICKLUNG EINES HYDRAULISCHEN KONZEPTEES FÜR DIE FLUTUNG VON GRUBENGEBÄUDEN

Bei der Flutung von Grubengebäuden treten verschiedene Strömungstypen basierend auf den geologischen und anthropogen geschaffenen Hohlräumen auf. Zunächst gibt es eine meist störungsgebundene Tiefen-infiltration aus höherliegenden Grundwasservorkommen oder meteorischen Wassers. Dieses Wasser transferiert normalerweise als Darcy-Strömung in vertikaler Richtung in Richtung des Grubengebäudes. Das Grubengebäude selbst besteht aus intakten, verbrochenen oder verfüllten Strecken und Schächten, welche frei oder als Rohrströmung durchströmt werden. Dazu kommt es in den verbrochenen Schichten im Hangenden der abgebauten Flöze zu einer starken Klüftung des Gebirges mit klüftgebundener Strömung sowie einem verstärkten Wasseraustausch zwischen Hohlraum und Gebirgsmatrix. In Abbildung 1 ist das hydraulische Konzept einer Bergwerksflutung veranschaulicht.

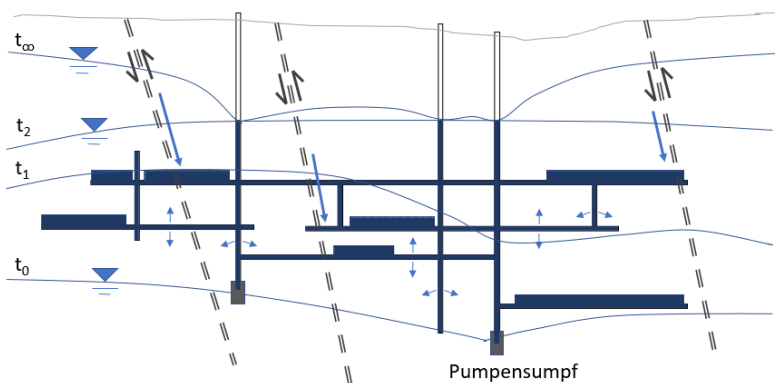


Abbildung 1: Konzeptualisierung des Grubenwasseranstiegs und der Strömungskomponenten. Neben der störungsgebundenen Infiltration meteorischen Wassers, verbunden mit einer unmittelbaren Flutung des Grubengebäudes, strömt Wasser in die Gesteinsmatrix und lässt den Grundwasserstand im Gebirge langsam ansteigen ( $t_0$  bis  $t_\infty$ ).

In diesem Arbeitspaket wurde versucht, den Modellraum eines Bergwerks derart zu konzeptualisieren, dass die Strömungen in den oben beschriebenen Hohlräumen kombiniert und intergiert werden können. In einfachen numerischen Experimenten wurden die Strömungstypen für die einzelnen Hohlraumtypen parametrisiert und simuliert. Hier zeigen sich finite-Elemente Modelle als sehr flexibel, da verschiedene Strömungsfunktionen für poröse Medien, Rohrstrukturen oder auch freie Gerinne definiert werden können. Gleichzeitig verfolgt das verwendete finite-Elemente Modell einen single-Kontinuumsansatz, welcher keine separate Berechnung von hydraulischen Potentialen in benachbarten Modellbereichen mit unterschiedlicher Strömungscharakteristik erlaubt. Dies bedeutet, dass Grundwasseranstiege in Grubengebäude und Gebirgsmatrix nicht separat abgebildet werden können und der hydraulische Gradient an den Hohlraumgrenzen gemittelt wird. In einem weiteren Teilprojekt (siehe Bedoya-Gonzalez) ist ein doppelter Kontinuum Ansatz angewandt worden, in welchem die vertikale Infiltration in Klüften und Gebirgsmatrix separat berechnet werden.

## GRUBENWASSERANSTIEGSMODELLIERUNG BERGWERK WESTFALEN

Für das ehemalige Bergwerk Westfalen am östlichen Rand des Ruhrgebietes wurde schließlich ein detailliertes finite-Elemente Grubenwasseranstiegsmodell konzipiert und umgesetzt. Das Bergwerk ist bereits seit vielen Jahren stillgelegt und zeigt einen unvollständigen Grubenwasseranstieg. Im Modell wurden alle hydraulisch relevanten Bergwerksbereiche inklusive der verschiedenen Hohlraumtypen berücksichtigt. Das bedeutet, dass das gesamte Hauptstreckennetz sowie Schächte, Abbaubereiche und tektonische Störungen digitalisiert und in das Modell eingefügt wurden. Bergbauliche Förderwege wurden als eindimensionale diskrete Strukturen

implementiert, was eine gesonderte Parametrisierung der Hohlräume erlaubt, ohne dass diese einzeln diskretisiert werden müssen. In Abbildung 2 sind diese Strukturen für vier Bergwerkssohlen gezeigt. Die geklüfteten Verbruchbereiche im Hangenden von Abbauen wurden mit variablen äquivalenten hydraulischen Durchlässigkeiten belegt um einen guten Wasseraustausch zwischen Gebirge und Bergwerk sicherzustellen. Dabei kann einer weiteren Charakteristik von Bergwerken, nämlich die Zeitabhängigkeit von Materialeigenschaften durch Setzungsprozesse, mittels zeitabhängiger Parametrisierung Rechnung getragen werden.

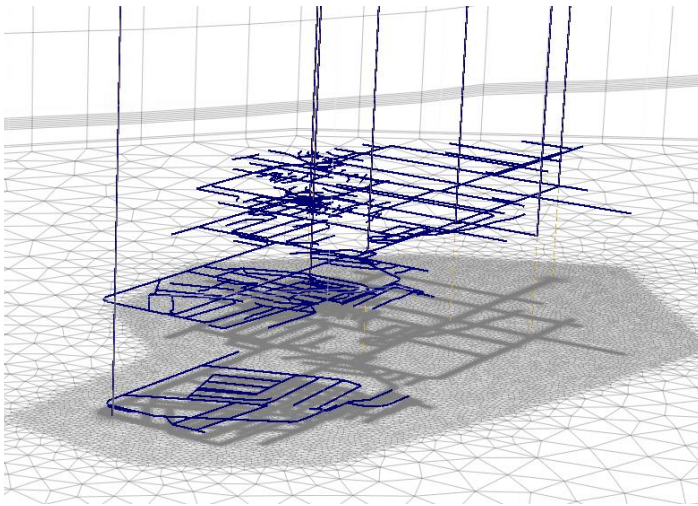


Abbildung 2: Strecken und Schächte des Bergwerks Westfalen sind auf vier Sohlen als eindimensionale diskrete Strukturen im Modellraum integriert.

Kalibriert wurde das Modell anhand von tiefen Grundwassermessstellen in der Umgebung des Bergwerks sowie eines teilweise dokumentierten Grubenwasseranstiegs in einem der Schächte. Diese Vorgehensweise führt zwangsläufig zu Modellunsicherheiten, da der Grubenwasseranstieg im Schacht wesentlich schneller vor sich geht als jener im angrenzenden Gebirge. Das Modell berechnet den Anstieg wie oben beschrieben nur für das gesamte Kontinuum, und überschätzt daher den Anstieg im Gebirge.

Die Ergebnisse der Westfalen Modellierung wurden auf verschiedenen Fachtagungen vorgestellt und diskutiert. Insgesamt können finite-Elemente Modellierungen mit einer Diskretisierung des gesamten Bergwerkbereichs in Fällen sinnvoll sein, in denen Fragestellungen in Bezug auf die umliegenden Grundwasserkörper von Bedeutung sind. Grundwasserhöhen können im gesamten Modellraum berechnet werden und es werden die hydraulischen Prozesse, welche bei der Flutung zum Tragen kommen wesentlich realitätsnäher abgebildet und überprüft werden. Voraussetzung ist eine gute Datengrundlage sowohl für die Parametrisierung der Hohlräume als auch für die Modellkalibrierung. Für die Prognose des Grubenwasseranstiegs im Grubengebäude selbst, können hingegen konventionelle Boxmodelle mit wesentlich weniger numerischem Aufwand ausreichend gute Ergebnisse liefern.

### Tagungen und Veröffentlichungen

Aus dem Projekt sind zehn Veröffentlichungen bereits publiziert oder zur Publikation eingereicht. Details finden sich im Publikationsverzeichnis ab Seite 71 unter den Referenznummern [2], [4], [5], [6], [22], [23], [24], [25], [26] und [27]. Sechs Vorträge wurden auf internationalen Konferenzen gehalten.