

ERFAHRUNGEN AUS DER WEITERENTWICKLUNG VON MODELLKONZEPTEN FÜR GRUBENFLUTUNGEN BEI DER DEUTSCHEN STEINKOHLE SOWIE FÜR INTERNATIONALE ANWENDUNGSFÄLLE

Michael Eckart, Christoph Klinger¹

Kurzfassung: Für Flutungsprognosen in untertägigen Bergbaurevieren haben sich in den letzten Jahren Modellkonzepte durchgesetzt, welche dem Umstand Rechnung tragen, dass die Strömung in diesen Revieren maßgeblich auf offenen Streckensystemen stattfindet. Diese Verfahren zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität des Diskretisierungsverfahrens aus, ermöglichen die Berücksichtigung von turbulenten Strömungsgesetzen und erlauben qualitativ hochwertige Stoffprognosen. Die Anfänge des von DMT weiterentwickelten Werkzeuges liegen in den Jahren 1990/91, als für Fragen der Sanierung des Wismut-Standortes in Ronneburg wesentliche Grundsatzfragen beantwortet werden mussten. Das Land NRW hat in einem Forschungsprojekt „Boxmodell Emschermulde“ in den Jahren 2002-2005 im Rahmen des Technologieprogrammes Bergbau die Adaption dieses Modellkonzeptes auf die Fragenstellungen der Deutschen Steinkohle gefördert. Mittlerweile wird dieses Verfahren in nahezu allen großen Steinkohlenlagerstätten Europas (Ruhrgebiet, Saarland, Lothringen (Fr.), Oberschlesien (Pl), Asturien (Esp) und auch in einer der größten gebauten Gold-/Uranlagerstätte der Welt, dem East-Rand Basin von Witwatersrand (RSA) eingesetzt. Dabei wurden wesentliche Weiterentwicklungen gegenüber dem ursprünglichen Modellkonzept vorgenommen. Aufgrund vieler Flutungen und Teilflutungen im europäischen Steinkohlebergbau konnte das Modell an zahlreichen praktischen Fällen kalibriert bzw. die Prognosen verifiziert werden.

Abstract: For flooding forecasting in underground mining areas model concepts have prevailed in recent years, which reflect the fact that the flow in these districts will take place mainly in open drift systems. These processes are characterized by a high flexibility of the discretisation, allow for consideration of turbulent flow laws and high-quality forecasts of water quality development. The beginnings of the tool enhanced by DMT are in 1990/91, as fundamental issues of rehabilitation of the Wismut site in Ronneburg had to be clarified. The State of NRW has supported the adaptation of this model concept to the issues of the German hard coal in a research project “box model Emschermulde” in the years 2002-2005 as part of the Technology Program Mining. Meanwhile, this method is used in almost all large coal deposits in Europe (Ruhr, Saarland, Lorraine (Fr.), Upper Silesia (PL), Asturias (Esp)) and also in one of the largest mined gold/uranium deposit in the world, the East Rand Basin of Witwatersrand (RSA). Here, significant further improvements to the original model concept were made. Based on many floodings and partial floodings in the European coal deposits, the models have been calibrated to numerous practical cases and predictions are verified.

Ausgangssituation

Mit den Beschlüssen zur Stilllegung des Deutschen Steinkohlenbergbaus müssen schrittweise Flutungskonzepte vorbereitet werden. Die Vorbereitung der Flutung oder Teilflutung solcher großen bergbaulichen Verbundsysteme stellt eine enorme ingenieurtechnische Herausforderung dar. Dies bezieht sich einerseits auf die Flutung der Grubenbaue selbst als auch auf die Prognose der Beeinflussung des oberflächennahen Grundwasserhaushaltes und der Vorfluter. Durch die bergbaulichen Wasserhaltungsmaßnahmen wurden an den Standorten Ruhr, Saar und Ibbenbüren bis zu 250 m³/min Grubenwasser in den Hauptwasserhaltungen zutage gefördert, wodurch sich ein sehr tiefer Wasserspiegel im Gebirge bzw. in den Grubenbauen einstellte. Mit der Flutung werden zusätzlich zur geogen

1 DMT GmbH & Co. KG, 45307 Essen, Am Technologiepark 1, michael.eckart@dm-group.com

bedingten Mineralisation des Grubenwassers Stoffe freigesetzt, die aus dem Sauerstoffzutritt zur Grube und der daraus resultierenden Pyritoxidation, wie z. B. Eisen und Sulfat, resultieren. Für die Flutung dieser Steinkohlereviere müssen belastbare Prognosen bzgl. der Stoffentwicklung und der Strömungsverhältnisse während der Flutung und im Endzustand erstellt werden. Hierfür wird das Boxmodell der Fa. DMT eingesetzt. Die Anfänge des von DMT weiterentwickelten Werkzeuges liegen in den Jahren 1990/91, als für Fragen der Sanierung des Wismut Standortes in Ronneburg wesentliche Grundsatzfragen beantwortet werden mussten.: Eine der wesentlichsten Fragen war hierbei: Können die umliegenden Halden in das Tagebaurestloch unter den späteren Grundwasserspiegel rückverfüllt werden? Der Schlüssel zur Beantwortung dieser Frage lag darin, dass innerhalb von durchbauten Grubenfeldern nahezu hydraulischer Kurzschluss herrscht und damit ein rückverfüllter Tagebau [1] weitestgehend über die umgebenden Grubenbaue umströmt wird. Dieser Gedanke des hydraulischen Kurzschlusses bildete die Basis des für die Flutungskonzeption [2] entwickelten Boxmodellkonzeptes. Das Land NRW hat in einem Forschungsprojekt „Boxmodell Emschermulde“ in den Jahren 2002-2005 im Rahmen des Technologieprogrammes Bergbau die Adaption dieses Boxmodellkonzeptes auf die Fragestellungen der Deutschen Steinkohle gefördert. U.a. im Rahmen dieses Projektes aber auch aus vielen Anwendungsfällen heraus wurden die notwendigen Weiterentwicklungen getätigt. Mittlerweile liegen neben den möglichen Kalbrierungen im Rahmen von Teilflutungen auch zahlreiche vollständige Flutungen von Steinkohlegruben vor, mit deren Hilfe die Qualität der Prognosen überprüft werden kann. Ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich des Boxmodells ergibt sich aus notwendigen Sicherheitsbewertungen zu möglichen Durchbruchsszenarien zwischen den bereits teilgefluteten Stillstandsbereichen im Ruhrgebiet und den Bereichen aktiven Bergbaus. Hier kommen Gesetze der turbulenten Strömung in den Strecken zur Anwendung.

Grundlagen und Weiterentwicklungen des angewendeten Werkzeuges „Boxmodell“

Das Boxmodell-Programm BOX3D dient zur Berechnung der instationären dreidimensionalen Mengenströmung und des reaktiven Stofftransportes. Es setzt sich zusammen aus einem frei strukturierbaren Modell nach der Volumenbilanzmethode, welches definierte regellose Geometrien berücksichtigen kann (BOX) und einem daran direkt angekoppelten reaktiven Stofftransportmodell. Beide Modelle werden simultan gelöst.

Die für Fragen der Deutschen Steinkohle durchgeführten Entwicklungsschritte können wie folgt zusammengefasst werden. Einige Entwicklungsschritte davon werden anschließend auszugsweise erläutert:

- Flexibles Diskretisierungsverfahren auf CAD-Ebene, wonach die Boxverbindungen nicht mehr durch vorgegebenen Matrizen (welche Box ist mit welcher verbunden?) verknüpft werden, sondern ein Präprozessor aus grafischen Elementen wie Polygonen, Punkten und Linien das Modell komplett erstellt.
- Programmierung der dichteabhängigen Strömung (wurde 2005 auch für das Ronneburger Uranbergbaugebiet angewendet)
- Erweiterung des Inventars an möglichen hydraulischen Verbindungstypen wie turbulente Strömung und Zeitabhängigkeit der Verbindungen. Letzteres ist für Fragen der stark durch Konvergenzen geprägten Verbindungen in der Steinkohle besonders wichtig.
- Weiterentwicklung des Konzeptes zur (Schad-)Stofffreisetzung (Weiterentwicklung der „Initialwassertheorie“ nach UIT) an die Beobachtungen realer Ausspülkurven

im Bereich von Steinkohlelagerstätten und Unterteilung der Boxen in aktiv durchströmte und stagnierende Bereiche.

- Entwicklung und Integration eines Verfahrens zur Resthohlraumberechnung (berücksichtigt Abbauvolumen, Teufenlage, Senkungsvolumen und Versatzart) im Steinkohlebergbau
- Entwicklung von statistischen Methoden zur Bewertung der Unsicherheiten bei der Beurteilung des Wasserdurchleitvermögens
- Erweiterung des Boxmodelles als Wärmetransportmodell incl. Auskühlverhalten des umgebenden Gebirges.
- Erweiterung der Diskretisierungsmöglichkeiten und Verwendung wie ein FD-Grundwassermodell
- Einbeziehung der 2-Phasenströmung für Fragen der CO₂-Speicherung
- Mikrobielle Abbauprozesse organischer Substanz wie z.B. durch sulfatreduzierende Bakterien

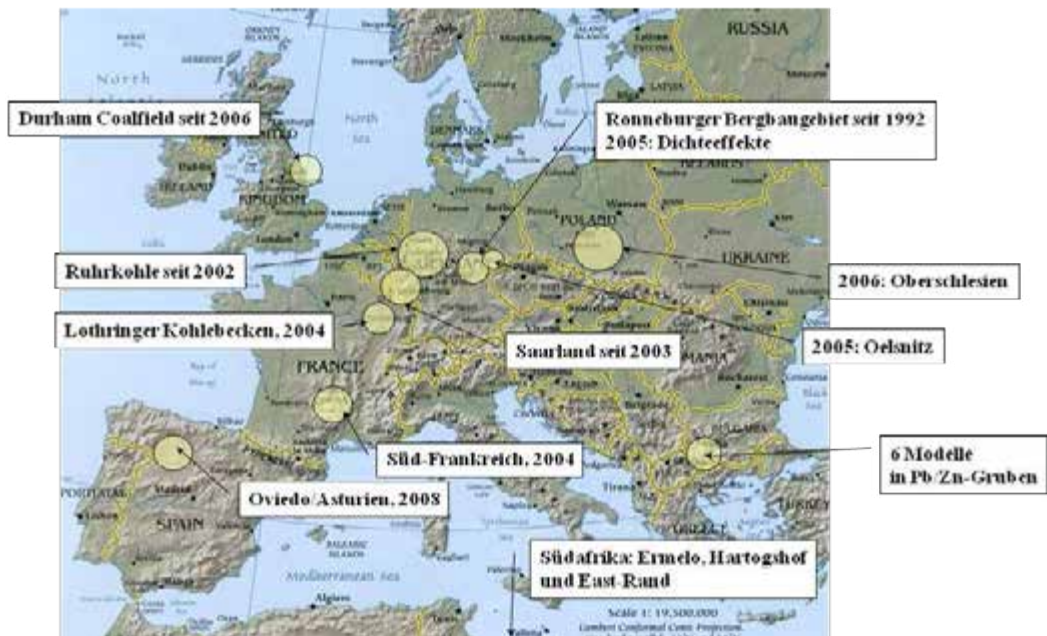


Abb. 1 Anwendungsfälle des Boxmodells

Der korrekten Beschreibung des Wasserdurchleitvermögens kommt eine wesentliche Bedeutung für die Beschreibung/Prognose der Flutungsentwicklung und auch der Verteilung von Zuflüssen unterschiedlicher Qualität zu. Bereits zur Prognose der Flutung der französischen Steinkohlegruben in Lothringen im Jahre 2006 wurden Verfahren entwickelt, welche die unterschiedlichen Durchleitvermögen von Querschlägen und Richtstrecken mit statistischen Methoden beachteten. Dabei wurden statistische Verteilungsfunktionen für die Verschlechterung der Durchlässigkeit erarbeitet. Innerhalb von vielen Modellläufen (üblich 1000) wird per Zufallszahlengenerator ermittelt, welche Strecken funktionieren und welche nicht und damit eine Bandbreite von Anstiegsszenarien ermittelt. Weiterhin wurden

turbulente Strömungsgesetze für Bohrlöcher und Zeitfunktionen für die bekannte Abnahme der Wasserleitfähigkeit durch Abbaue implementiert. Für das Saarland wurde diese Methode deutlich weiterentwickelt und auch auf die zahlreichen Stollensysteme zur Tagesoberfläche ausgeweitet. Abbildung 1 zeigt die Lagerstätten, in welchen bislang das DMT-Boxmodell installiert bzw. angewendet wurde:

Die stoffliche Prognose der Flutung beruht auf einer gründlichen Analyse des Wasserstammbaumes in Zeiten aktiven Bergbaus, einem sachgerechten Stofffreisetzungstern und der Nachkalibrierung bereits erfolgter Flutungen. Darauf aufbauend erfolgte die Prognose der zu erwartenden Stoffausträge in die Vorfluter für alle Komponenten der Wasser-rahmenrichtlinie. Tabelle 1 zeigt einen Auszug aus dem Mengen- und Qualitätsstammbaum des Saarlandes.

Tab. 1 Auszug aus dem geochemischen Wasserstammbaum

Herkunft		Wasserhebung Luisenthal					Provinz Reden incl. Göttelborn					Wasserhebung Viktoria
Herkunftsniveau	mNN	-467	-109	GWL	Berechnung	Analyse	-600	-300	GWL	Berechnung	Analyse	GWL
Beschreibung				Grundwasser		Luisenthal			Grundwasser		Reden	
Zulauf	L/min	250	100	210	560	560	447	2.148	19.005	21.600	21.600	3.410
Anteil Gesamt		44,6%	17,9%	37,5%			2,1%	9,9%	88,0%			
pH		6,20	6,50	7,20	6,44	7,56	6,70	6,20	7,00	6,81	7,60	6,70
EH	mV	150	170	130			130	150	150			16
T	°C	28,0	20,0	16,0	22,1	16,8	35,0	28,0	16,0	17,6	31,6	18,6
Elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	20.000	6.500	1.607	10.692	10.869	11.700	5.000	1.850	2.367	2.378	2.133
Natrium	mg/L	3.550	864	197	1.813	1.838	2.400	738	198	297	305	258
Kalium	mg/L	70	43	11,9	43,4	55	150	24	11	15,2	17	24
Calcium	mg/L	650	300	80	374	374	150	118	80	85	83	81
Magnesium	mg/L	500	200	44	275	273	230	150	60	72	74	118
Eisen	mg/L	2	0,00	0,77	1,2	0,64	3,00	2,00	0,77	0,9	0,4	0,90
Mangan	mg/L	1,4	0,60	0,9	1,07	1,1	1,00	0,50	0,4	0,42	0,45	0,80
Barium	mg/L	1	1,8	0,13	0,81	0,83	10,0	1,0	0,13	0,42	0,5	0,2
Strontium	mg/L	12	6,0	0,73	6,70	7	5,0	2,0	0,73	0,94	0,8	0,6
Ammonium	mg/L	8	6,0	0,07	4,67	4,8	20,0	8,0	0,3	1,47	1,6	1,0
Chlorid	mg/L	6.700	1.154	120	3.242	3.224	3.992	550	94	220	237	212
Schwefel als Sulfat	mg/L	600	700	250	487	499	0	700	180	228	235	316
Sulfid	mg/L				0	1,6	0,0			0	0,00	1,5
Nitrat	mg/L	0	0	0	0,0	0	2	1	1	1,0	1,2	0
Nitrit	mg/L	0	0	0,02	0,01	0,07			0,02	0,02	0,1	0
Bromid	mg/L	50	20	8	29	49	45	10	2	3,7	4,2	3,8
HCO ₃	mg/L	1400	1.153	481	1011	1062	1.400	1.300	700	774	790	800
Summe	mg/L	13.494	4.429	1.187	7.260	7.339	8.363	3.595	1.326	1.698	1.746	1.812

Im reaktiven Stofftransportmodell sind 96 Mineralphasen vorinstalliert, deren Auflösungskinetik nach kinetisch formulierten Reaktionsgleichungen berücksichtigt werden kann. Für die Anforderungen eines robusten Prognosemodelles in der Dimension des Ruhrgebietes wurde jedoch nach einer praktikableren Lösung zur Beschreibung der Stofffreisetzung gesucht. Dabei wurde die Idee der Initialwasserkonzentration [z.B. Kalka u.a., 2005] aufgegriffen, wonach im Flutungswasser bereits viele Informationen über die ablaufenden Mineralauflösungsprozesse integriert sind. In Nachrechnung vieler Stoffaustragskurven und dem Vergleich zur vereinfachten Spülungstheorie von [Younger] wurde aber offensichtlich, dass ein einmaliges Aufkonzentrieren der flüssigen Phase mit den höchsten gemessenen Stoffkonzentrationen während der Flutung nicht ausreicht, um die sehr lang anhaltenden

Auswasch- und Mineralnächlöseprozesse zu beschreiben. Deshalb wurde eine sogenannte zweite Porosität eingeführt, die den eher hydraulisch stagnierenden Bereichen des Grubengebäudes (Abbaue, Nebenstrecken) bzw. den aufgelockerten Verwitterungsoberflächen entspricht. In diesem Stoffpool wird das Flutungswasser in einer überkonzentrierten Form vorgehalten und während des Flutungsprozesses über ein Diffusionskonzept schrittweise an das Flutungswasser abgegeben (Abbildung 2). Die Verfahrensweise ähnelt den Berechnungen der ersten Flutungskonzeption in Ronneburg (1991), in welcher der Stoffpool über ein Sorptionskonzept (k_d -Wert) gespeichert wurde.

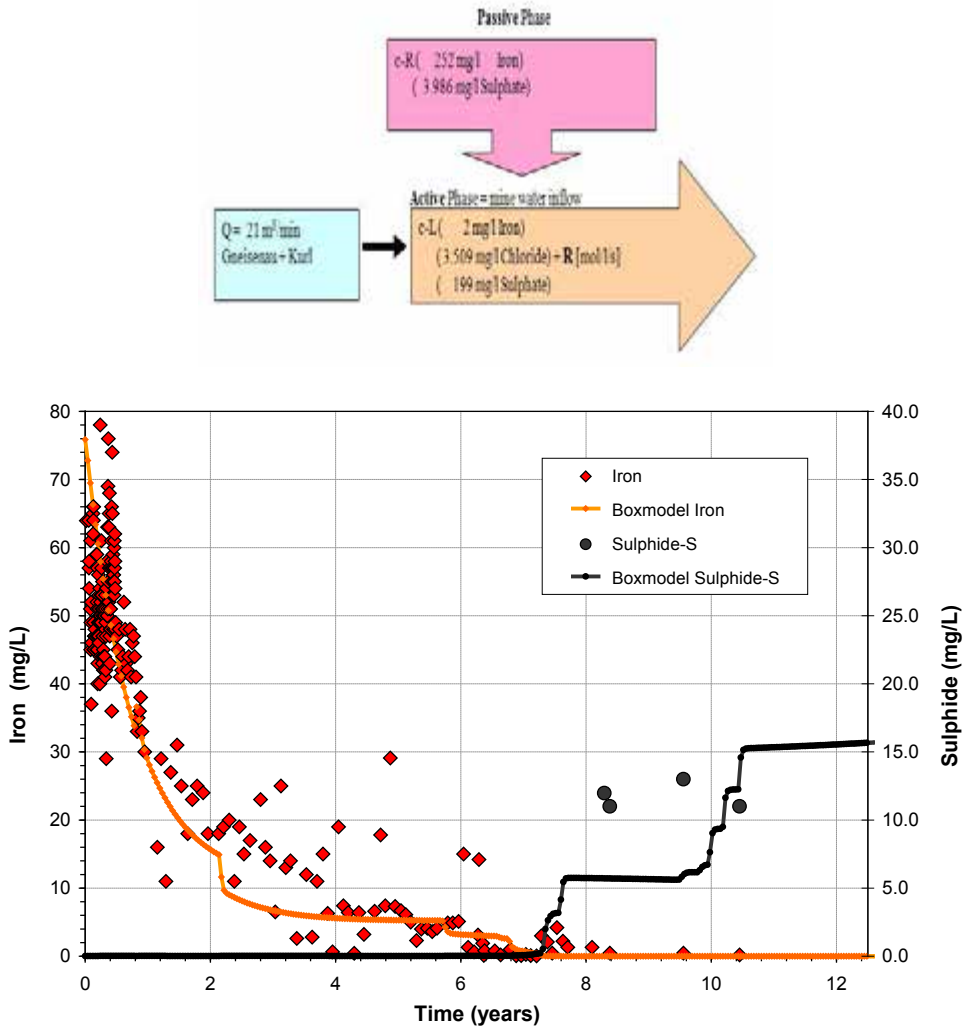


Abb. 2 Schema der Stofffreisetzung am Beispiel des Grubenfeldes Gneisenau (südl. Ruhrgebiet) mit resultierender Auswaschkurve (hier unter Berücksichtigung von Sulfatreduktion und Eisensulfidausfällung).

Das Nachrechnen der Austragskurven mit der Spülungstheorie von [Younger] zeigt, dass diese Theorie eine einmalige Aufkonzentrierung des Flutungswassers mit der zuerst austretenden Spitzenkonzentration c_0 bzw. c_{peak} annimmt und das Flutungsvolumen mit einem konstanten Volumenstrom auswäscht. Die analytische Lösung, welche die Entwicklung der Konzentration zu einer bestimmten Prozesszeit nach [Younger] beschreibt, sieht wie folgt aus:

$$C(t) = C_0 * e^{-\ln 2 / T_{\text{Flooding}} (t-t_0)}$$

und entspricht exakt der analytischen Lösung der folgenden Massebilanzgleichung und damit auch der „Initialwassertheorie“ nach [Kalka]:

$$\begin{aligned} dc / dt * V &= Q * c \\ C(t) &= C_0 * e^{-Q/V (t-t_0)} \end{aligned}$$

In Wirklichkeit werden einerseits große Teile der Grube nicht oder sehr langsam gespült, weil sie sehr tief oder abseits der Hauptströmungswege liegen und andererseits ist der austragbare Stoffvorrat wegen der Nachlöseprozesse in den durchspülten Bereichen größer als die einmalige Aufkonzentration mit C_0 . Teilweise heben sich in der Praxis die Effekte gegenseitig auf: geringeres durchspültes Volumen und höherer Stoffvorrat, weswegen die Austragskurven in einigen Fällen durch die e-Funktion beschreibbar sind.

Für eine hochwertige Stoffprognose muss jedoch zuerst das Strömungsfeld der Grube ebenfalls qualitativ hochwertig und 3-dimensional berechnet werden. Davon hängt ab, welche Volumenanteile in welchen Zeiträumen ausgewaschen werden. Dazu gehören folgende elementare Schritte für Fragen der Mengenströmung:

- 3D-Erfassung der Strömungswege
- Ermittlung und 3D-Implementierung der Zuflusspunkte, -mengen und -qualitäten und Abschätzung des „Abdrückverhaltens“ mit dem GW-Anstieg
- Berücksichtigung der Wirkung der Dichteeffekte

Für Fragen des Stofftransportes ist es sehr wichtig, dass als erstes der stationäre Stoffstammbaum nachgebildet wird (Reproduktion der gepumpten Qualitäten auf Basis der ermittelten Zuflusspunkte), um den Einfluss der geologischen Randzuflüsse von den Einflüssen der Pyritoxidationsprodukte zu unterscheiden, da letztere im Gegensatz zu den geologischen Randzuflüssen einer Auswaschdynamik unterliegen. Der zweite wichtige Schritt für eine gute Prognose der stofflichen Entwicklung ist dann der bereits beschriebene realistische Quellterm für die Folgeprodukte der Pyritoxidation.

Diskretisierungsbeispiele und Anwendungen

In Abbildung 3 soll die Vielfalt der Diskretisierungsmöglichkeiten mit dem Boxmodell gezeigt werden. Für das Oberschlesische Steinkohlengebiet, welches die Dimension des Ruhrgebietes besitzt, wurde das Boxmodell der Gruben mit 3 Grundwasserleitermodellen nach der FD-Methode überlagert und die hydraulische Kommunikation mit dem Boxmodell der Grube gemäß den bekannten Versinkungspunkten aus den Grundwasserleitern bzw. den bekannten Zutrittspunkten in das Grubengebäude einkalibriert. Dabei wird das Gesamtmodell als einheitliches Boxmodell nach der Volumenbilanzmethode betrieben, so

dass ein „Batchen“ zwischen Modellansätzen nicht notwendig ist. Im Modell der Steinkohlelagerstätte Oelsnitz wurde besonders auf das Einfallen der Störungssysteme geachtet und der vertikale Verlauf und die Anzahl der Boxen pro Scheibe an diese Störungen angepasst.

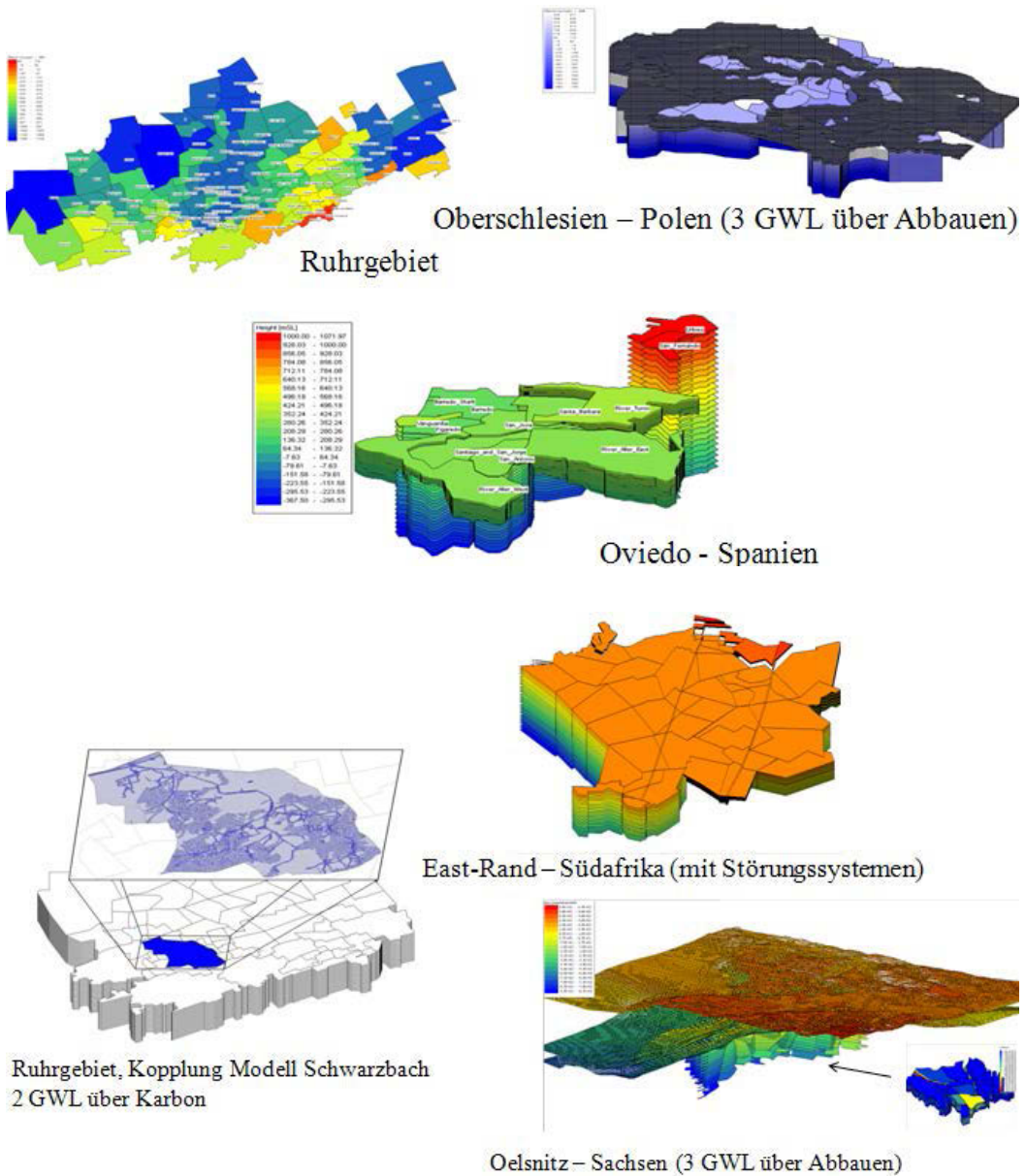


Abb. 3 Diskretisierungsbeispiele – Anwendung des Boxmodelles

Ergebnisse am Beispiel der Steinkohlelagerstätte Lothringen in Frankreich

Mit Hilfe des Boxmodells wurde im Jahre 2005 das Flutungskonzept der französischen Steinkohlegruben in Lothringen erarbeitet. Zuvor wurden hierfür alle verfügbaren Stoffausstragskurven der bereits gefluteten französischen Steinkohlegruben bewertet und die Theorie zur Stofffreisetzung angepasst. Die wesentliche Fragestellung hierbei war, ob man das Grubenwasser im freien Auslauf nach Deutschland zur Rossel (Gustavschacht) abfließen lässt oder eine künstliche Depression auf französischer Seite erhält. Die Ergebnisse der Stofftransportrechnungen haben gezeigt, dass man mit einer Entnahme von ca. 11 m³/min auf französischer Seite wesentlich geringere Stoffausträge zu erwarten hat, als bei einem freien Überlauf nach Deutschland. Die beiden Varianten wurden bereits im Wismut-Symposium 2007 vorgestellt. Nunmehr sind die Grubenräume vollständig geflutet und es kann der Vergleich der berechneten Anstiegsdynamik mit den tatsächlichen Messungen vorgenommen und auch die Qualitätsprognose mit ersten chemischen Messwerten verglichen werden.

Abbildung 4 zeigt die berechnete Anstiegsdynamik in den Grubenfeldern (durchgezogene Linien) und die gemessenen Werte (Punkte). Die äußerst präzise Vorausberechnung der Anstiegsdynamik ist vor allem der guten Vorausberechnung der flutbaren Hohlräume durch die Kollegen von Charbonnages des France (CdF) zu verdanken.

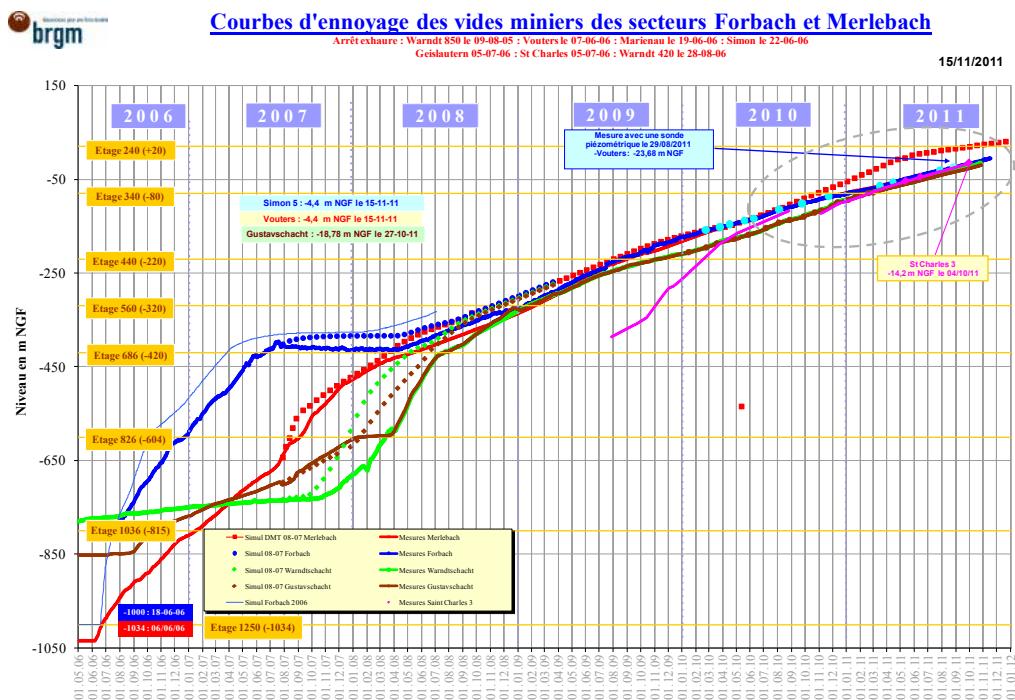


Abb. 4 Vergleich der berechneten Anstiegsdynamik mit tatsächlichen Meßwerten

Die Stoffprognosen können erst seit Annahme der ersten Wässer auf französischer Seite bewertet werden. Abbildung 5 zeigt einen Vergleich der prognostizierten Eisen- und Sulfat-

werte mit den ersten Messungen am Schacht Simon. Diese Wässer werden einer Aufbereitungsanlage zugeführt. Der Vergleich zeigt, dass die jetzt gemessenen Konzentrationen sehr gut im erwarteten Bereich für die Variante „Annahme der Flutungswässer in Frankreich“ liegen und bestätigen das verfolgte Flutungskonzept der dezentralen Wasserannahme.

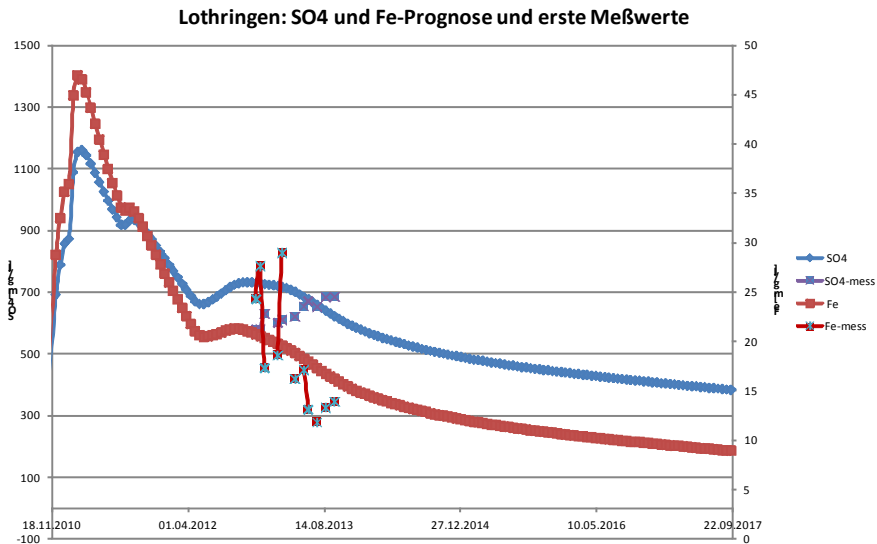


Abb. 5 Vergleich der Rechnungen zum Stofftransport mit der Qualität der gepumpten Grubenwässer

Fazit/Ausblick

Boxmodellkonzepte haben sich für Flutungsprognosen bzgl. der Anstiegsdynamik und der stofflichen Prognosen im Erzbergbau und im Steinkohlebergbau bewährt und gehören zum festen Bestandteil von Genehmigungsanträgen. Der größte Unterschied zwischen Erzlagerstätten und Steinkohlelagerstätten wird in der Dauerstandsicherheit der Streckensysteme gesehen, die entsprechend modelltechnisch berücksichtigt werden müssen. Die Schadstofffreisetzungsprozesse ähneln sich dagegen sehr. Es wurden u.a. statistische Bewertungsverfahren entwickelt, die Wahrscheinlichkeit des Eintrittes von bestimmten Strömungsszenarien untersuchen. Die Qualität der Modellprognosen hängt vor allem an der soliden Erhebung der Ausgangsdaten (z.B. Wasserstammbaum, Stoffstammbaum aus dem Zeitraum des aktiven Bergbaus, Hohlraumbilanz) ab und wird nochmals aufgewertet, wenn die Möglichkeit der Kalibrierung von Teilflutungen gegeben ist. Weiterhin müssen die geochemischen Folgereaktionen im Streckensystem, wie z.B. die Bariumsulfatfällung (besonders im Ruhrgebiet) und die bakteriell initiierten Sulfidfällungsprozesse (Saarland und Ruhrgebiet) Beachtung finden, um realitätsnahe Prognosen zu erstellen. Dennoch sind Flutungsprognosen auch immer kritisch zu bewerten, da jede Lagerstätte standortspezifische Besonderheiten aufweist. Der größte Vorteil der Modellierung wird darin gesehen, dass der Datenbestand systematisch und nachvollziehbar verwertet wird und die Grundlage für ein einheitliches Prozessverständnis liefert.

Literatur

- Eckart, Zurl u.a. (1992): Umweltbewertung des Gesamtkomplexes Tagebau – Flutung – Halden, Umweltverträglichkeitsstudie zum Gesamtsanierungskonzept für das Thüringer Bergbaugebiet, Wismut GmbH, 30.09. 1992
- Eckart, Zurl u.a. (1991): Flutungskonzeption des Ronneburger Bergbaugebietes (1991); 1. Überarbeitung 1993
- Eckart, Klinger, Kories (2005): Boxmodell Saar, Numerisches Grobmodell für das Grubenwasser im Saarländischen Steinkohlebergbau, 52 S., DMT GmbH
- Kalka, Naumann (2005): „Modellkalibrierung und Variantenrechnungen zur Flutung im Grubenkomplex Ronneburg“, – BOXMODELL VII – UIT Umwelt- und Ingenieurtechnik GmbH Dresden, 2005
- Eckart, Langosch, u.a. (2004): Verfahren zur Ermittlung des Resthohlraumvolumens, Gutachten, 110 S., DMT GmbH
- Juch, D., Roos, W.-F. & Wolff, M. (1994): Kohleninhaltsfassung in den westdeutschen Steinkohlenlagerstätten. Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen, 38. 189-307; Krefeld.
- Eckart, M., Kories, H., Rengers, R. & Unland, W. (2004): Application of a numerical model to facilitate mine water management in large coal fields in Germany. / Mine Water 2004 – Process, Policy and progress, Newcastle upon Tyne, vol. 2, 209-218.
- Eckart, M., Klinger, C., Rengers, R., Unland, W., Metz, M., Blachere, A. (2006): Formation Prognose der Flutungsauwirkungen im Steinkohlenbergbau, Altberbaukolloquium, Clausthal-Zellerfeld, 2005
- Klinger, C. (2003): Chemische Prozesse und Monitoring bei der Flutung von pyrithaltigen Lagerstätten. / Workshop Wismut: Flutungsbedingte Beschaffenheit von Grubenwässern, Chemnitz.
- Kories, H., & Rüterkamp, P. & Sippel, M. (2004): Field and numerical studies of water stratification in flooded shafts. – In: Jarvis, A.P., & Dudgeon, B.A., & Younger, P.L. [eds.]: Mine Water 2004 – Process, Policy and Progress. International Mine Water Association, Proceedings of the Symposium, Vol. 1: 149-159; University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, UK, 19-23 September 2004
- Younger, P.L. (2000): Deep mine hydrogeology after closure: insights from the UK. / Uranium Mining and Hydrogeology III – Uranium in the Aquatic Environment, Freiberg, 25-40.
- Younger, P.L. & Blachere, A. (2003): First-flush, Reverse First-flush and Partial First-flush: Dynamics of Short- and Long-term Changes in the Quality of Water Flowing from Abandoned Deep Mine Systems. / Annual British Columbia ML/ARD Workshop, Vancouver.