

Praktischer Einsatz von Computermodellen zur Betriebssteuerung in Tagebauen

Vortrag anlässlich der GDMB Fachtagung „Computereinsatz in der bergbaulichen Betriebsplanung“ am 20. September 2000

Kurzfassung

Im Folgenden soll ein "lebendes" Lagerstättenmodell vorgestellt werden, welches als "Interaktiv-Modell" fortlaufend durch den Betrieb aktualisiert werden kann. Sowohl topographische Daten wie der Tagebaustand als auch Informationen die Lagerstättenqualität betreffend, fließen kontinuierlich in das Modell ein und können durch unterschiedliche Personen ständig abgerufen werden. Die Archivierung, Darstellung und Bearbeitung lagerstättenrelevanter 3dimensionaler Daten sowie die kurzfristige Abbauplanung wird mit einem solchen „Interaktiv“ Modell direkt im Betrieb möglich. Die tägliche Betriebssteuerung kann dadurch in der Kurz- bis Mittelfristplanung deutlich verbessert werden.

The paper describes a „living“ deposit model which is updated continuously by the mine. It also can be regarded as an „interactiv model“. Topography data like the mine situation as well as data of the deposit itself is added continuously and can be retrieved by any person interested in information of the model at any time. In that case it will be possible to archive, to visualize and to work on 3dimensional data of the deposit directly by the mine people.

By this means short and mid term mine scheduling and planning could be improved significantly.

1 Einleitung

Zunehmend werden im Rahmen der Rohstoffgewinnung Computermodelle zur Schaffung eines möglichst realistischen Lagerstättenbildes eingesetzt. Bei steigenden Qualitätsanforderungen an das zu fördernde Rohmaterial und die schwieriger werdende Ausdehnung von Abbaugebieten aufgrund überlagernder Interessen, wird die möglichst vollständige Gewinnung und die optimale Nutzung einer Lagerstätte innerhalb eines bereits genehmigten Abbaus zum Hauptanliegen des Abbautreibenden. Lagerstätteninhalte qualitativ und quantitativ benennen bzw. bewerten zu können, ist daher für ein vollständiges Ausbringen unbedingt erforderlich. Verschiedene Abbauszenarien auf der Grundlage eines Lagerstättenmodells ermöglichen es, dieses Optimum für das Ausbringen zu ermitteln.

2 Lagerstättenmodellierung

Grundlage für ein Computermodell sind zunächst raumbezogene Daten einer Lagerstätte, wie Vermessungsdaten der topographischen Situation, geologische Kartierungen, sowie Wandbeprobungen und Bohrungen.

Diese umfangreichen Daten zu speichern, abzufragen, zu interpretieren und schließlich zu inter- bzw. extrapolieren, ist nur mit entsprechender Spezialsoftware möglich, die heutzutage in vielen Betrieben und bei vielen Dienstleistern eingesetzt wird. Bei der SST Ingenieurgesellschaft mbH wird seit fast zehn Jahren für bergbauliche Planungen, beispielsweise im Rahmen von Genehmigungsverfahren oder geologische Modellierungen für Investitionsentscheidungen, die australische Bergbauspezialsoftware SURPAC eingesetzt. Mit dieser Software lassen sich Vermessungsdaten zur Topographie, geologische Grenzflächen in jeder beliebigen Form und Raumlage modellieren (vgl. Abbildungen 1 u.2). Darüber hinaus bietet sie zahlreiche Tools für Tage- oder Grubenbaukonstruktionen, Rampen-, sowie Haldenplanungen.

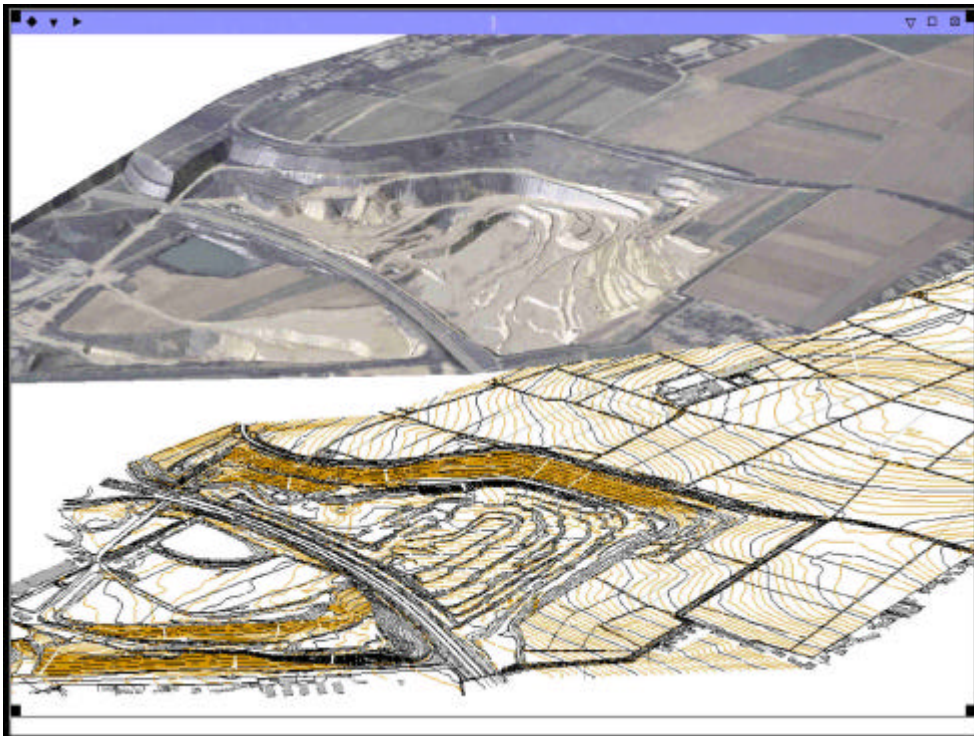


Abbildung 1: Topographische Situation – Zementlagerstätte Mainz - Weisenau (Rheinland Pfalz)

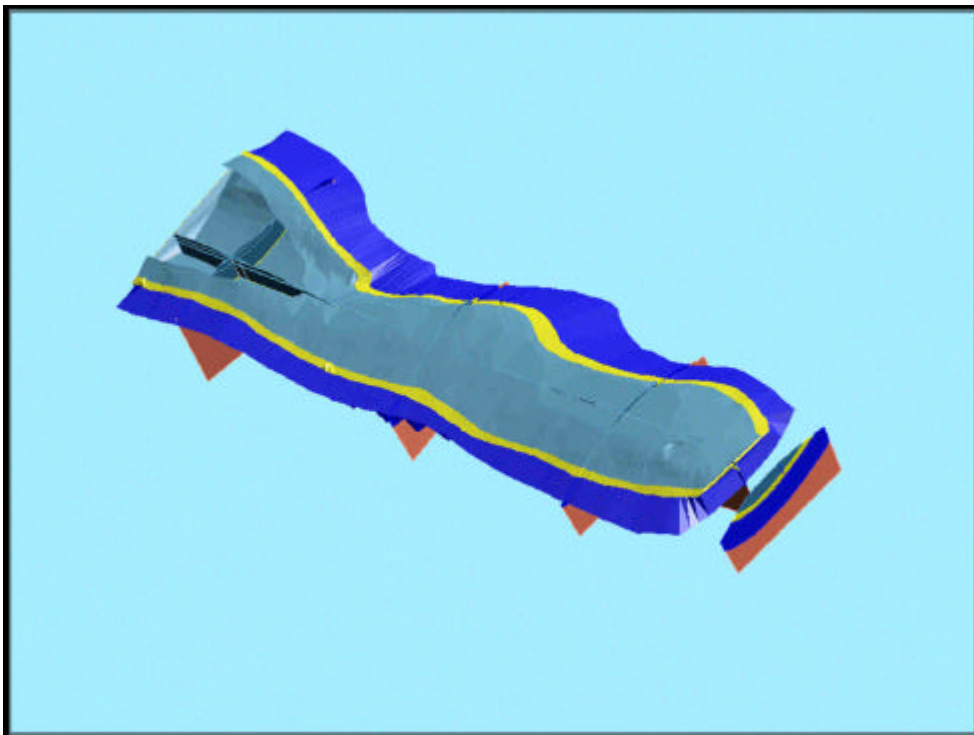


Abbildung 2: Muschelkalkmulde als Graben in Buntsandstein - Reliefumkehr (Hessen)

Mithilfe der softwareeigenen Bohrlochdatenbanken, die Informationen zum Bohrlochverlauf, zur Stratigraphie, Petrographie oder Analytik enthalten, können diese Daten in jeder beliebigen Kombination für die 3dimensionale Darstellung zusammengestellt werden.

Geologische Grenzflächenmodelle, im einfachsten Fall eine Hangend- und Liegendfläche, und die topographische Situation, liefern die räumlichen Grenzen für ein Blockmodell. Der Lagerstättenkörper wird mit Hilfe des Blockmodells in geometrische Untereinheiten gegliedert. Dieses ermöglicht ein beliebiges Zuschneiden oder Abgrenzen des Lagerstättenvolumens innerhalb verschiedener Planungsstände und damit eine genaue Volumenermittlung. Abbildung 3 zeigt Blöcke von jeweils 20 m Kantenlänge, respektive 8000 m³, im Hintergrund eine geplante Tagebausituation und ferner Bohrungen mit farblicher Darstellung von Analysen (hier Al₂O₃).

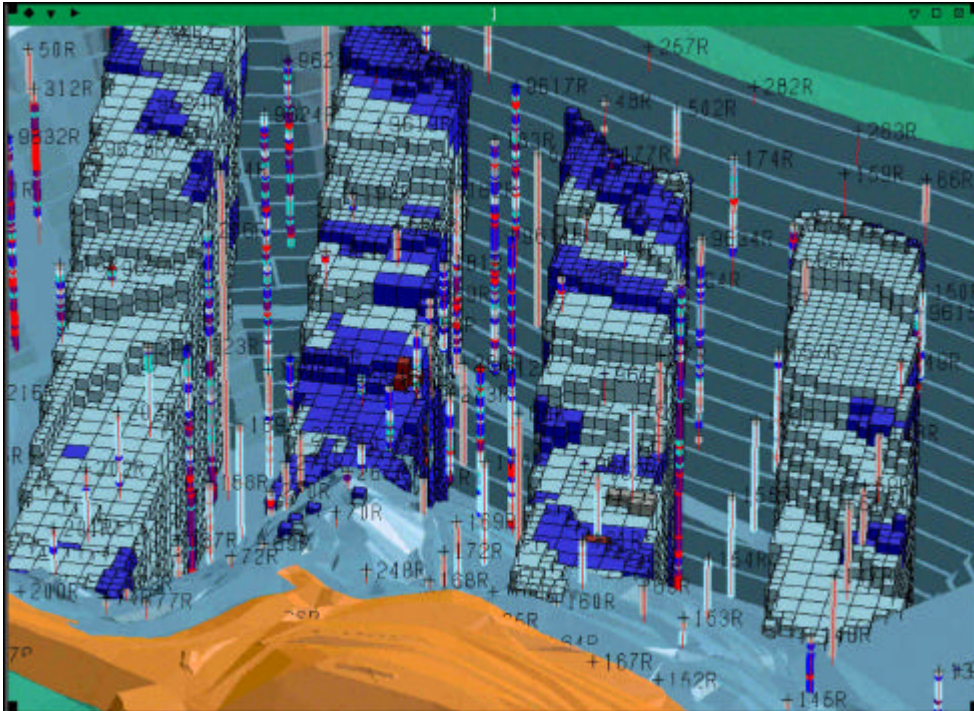


Abbildung 3: Planungsstand; Blockmodell; Bohrungen (APS)

Das Blockmodell kann in einer weiteren Ausbaustufe der qualitativen Massenermittlung dienen. Hierzu werden den Blockzentren Attribute zugeordnet. Diese haben die Aufgabe Eigenschaften aufzunehmen, wie z.B. Prozentgehalte verschiedener Qualitätsparameter. Die Koordinate einer Analyse fällt allerdings in den seltensten Fällen direkt mit der Raumkoordinate eines Blockzentrums zusammen. Der Wert des Blockzentrums muß daher anhand der Analysendaten geschätzt werden. Diese Schätzung kann nach verschiedenen Methoden erfolgen. Bei der Nearest – Neighbour - Methode wählt man den nächsten Analysennachbarn des Blockzentrums und weist dem Block diesen Wert zu. Mithilfe des Inverse - Distance - Verfahrens ermittelt man über die Entfernung einen gewichteten Mittelwert aus mehreren Analysen. Schließlich können verschiedene geostatistische Schätzverfahren (ordinary kriging, indicator kriging etc.) verwendet werden. Diesen ist aus Gründen der geringeren Variabilität der Schätzfehler der Vorzug zu geben. Sie sind allerdings erheblich aufwendiger in der Anwendung als die erstgenannten Verfahren, weil hier im Vorfeld mit Hilfe der Variographie die Variabilität der Analysenwerte im Raum untersucht werden muß. Diese bedarf zudem naturgemäß einer gewissen Anzahl an Analysen. Im Ergebnis der Variographie wird ein Variogrammodell ermittelt, welches die Variabilität der Daten im Raum mathematisch beschreibt. Dieses Variogrammodell fließt unmittelbar in die Krigeschätzung ein. Hierbei wird den geologischen Strukturen am ehesten Rechnung getragen, da in den meisten Fällen der Zusammenhang zwischen der sich ändernden Variabilität eines Parameters im Raum und geologischen Richtungen (Streichen, Einfallen, Hauptkluftrichtung etc.) deutlich zu erkennen ist.

Die Abbildungen 4 und 5 machen diesen Zusammenhang deutlich. Es handelt sich um die Anisotropiekörper, die die Veränderlichkeit der Varianz im Raum beschreiben. Diese Größen werden bei der Schätzung nach Krige berücksichtigt.

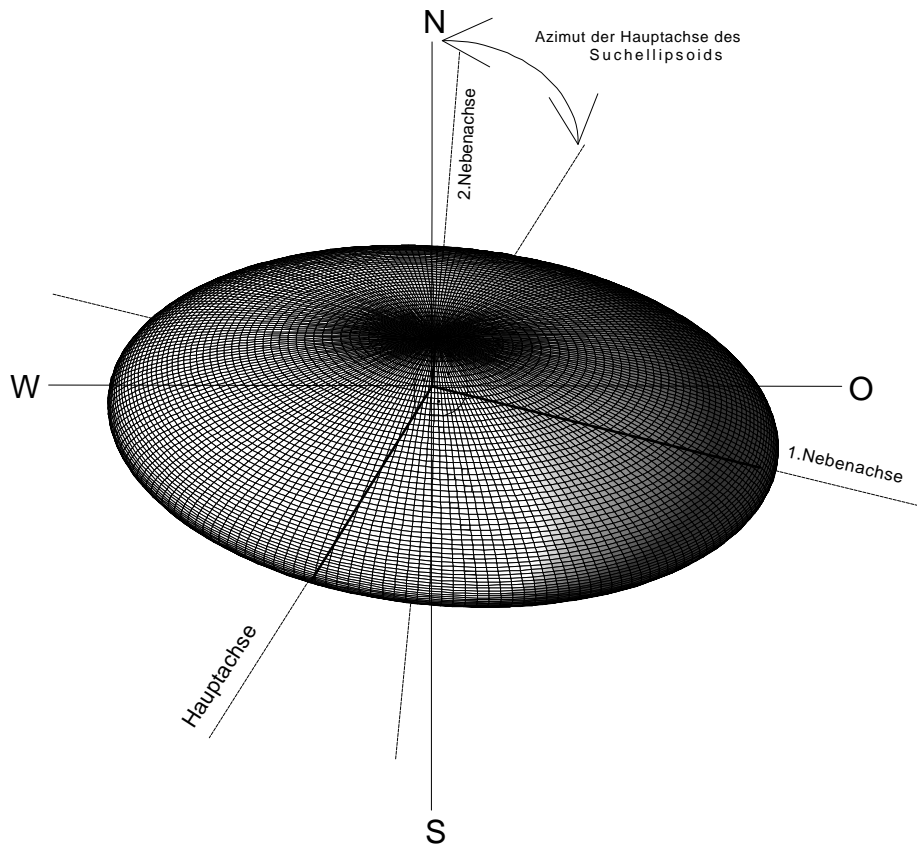


Abbildung 4: Suchellipsoid; Al_2O_3 - flache Lagerungsverhältnisse (Kaolin / Westerwald)

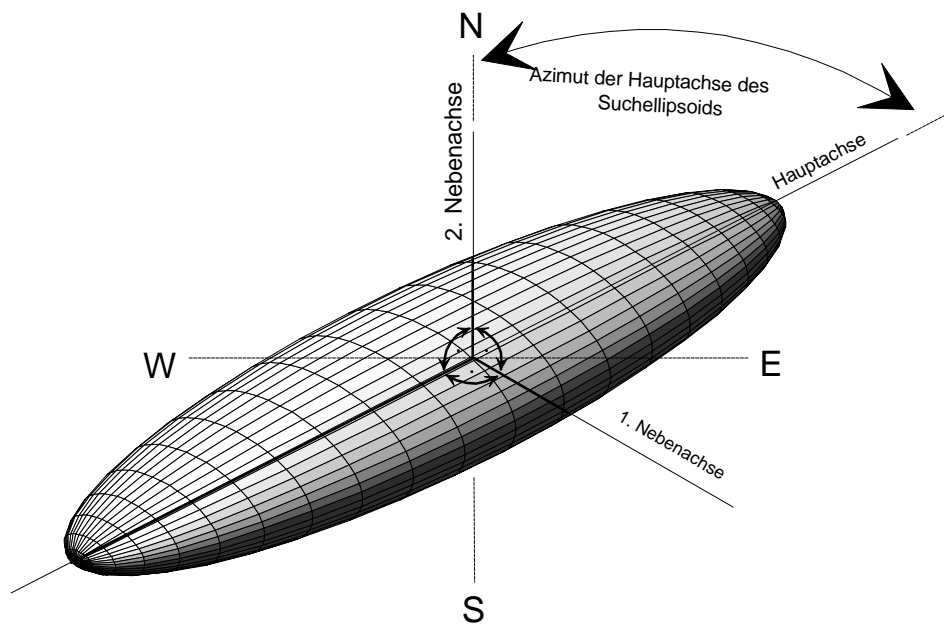


Abbildung 5: Suchellipsoid; CaCO₃ - Einfallen steil u. begrenzte Erkundungsteufe (Marmor / Polen)

Verfügt man über ein Blockmodell mit Gehaltsangaben, kann man über entsprechende Abfragen Qualitäten definieren: z.B. Al₂O₃ > y%; SiO₂ < x%; usw. Hiermit werden Blöcke mit denselben Eigenschaften zu Gruppen zusammengefaßt. Qualitäten werden somit volumetrisch und hinsichtlich ihrer räumlichen Verteilung faßbar. Über kombinierte Abfragen wie z.B. ; Qualität A oder B innerhalb der genehmigten Fläche und unterhalb des Grundwasserniveaus, können dann sehr schnell qualitative Massenermittlungen erfolgen (vgl. Abbildung 6).

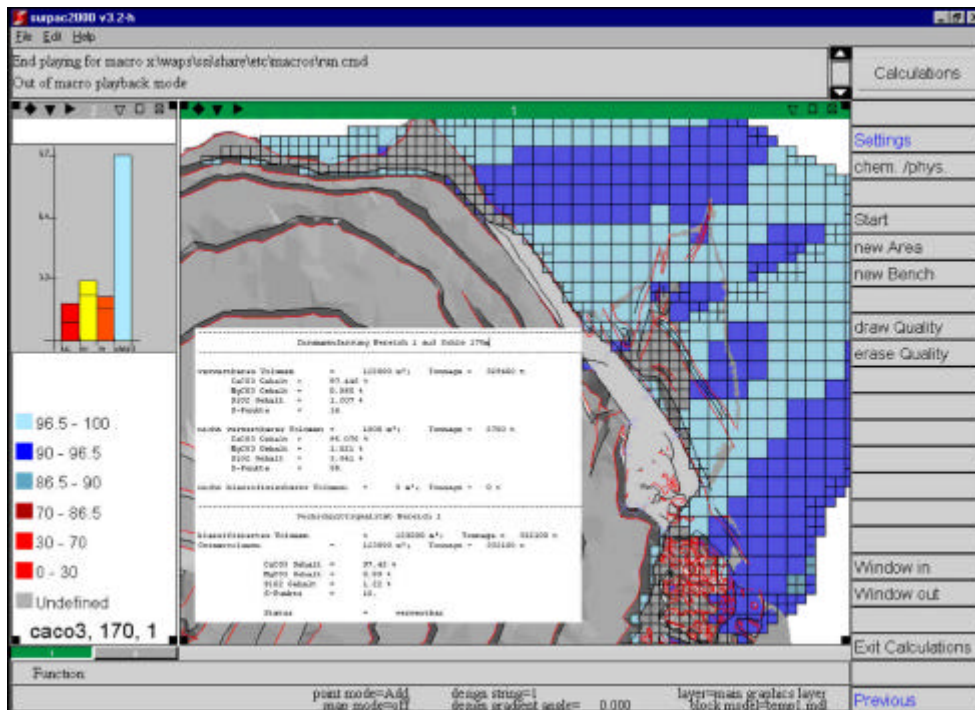


Abbildung 6: Berechnungen auf der Grundlage eines Lagerstättenmodells

3 Das Pflegeproblem und der Nutzen für den Betrieb

Im Allgemeinen werden Lagerstättenmodelle von Fachabteilungen oder Dienstleistern erstellt. Diese verfügen über das notwendige Know-how im Umgang mit der einschlägigen Spezialsoftware, und die entsprechende Erfahrung bei der Anwendung geostatistischer Schätzverfahren. Datenbasis für solche Lagerstätten - Computer - Modelle sind in der Regel vorangegangene, im Vergleich zur Modellierung um ein mehrfaches kostspieligere Explorationsarbeiten.

Diese Explorationsarbeiten werden sorgfältig vorbereitet und entsprechend durchgeführt. Ebenso werden die Explorationsergebnisse mit großem Aufwand interpretiert und schließlich in der Form eines Modells präsentiert.

Der Entwickler eines Lagerstättenmodells ist dabei nur in Ausnahmefällen direkt am Abbaugeschehen beteiligt. Er ist also auf zusätzliche Informationen aus dem Betrieb angewiesen. Wichtige Kenntnisse liegen bei den Vorort für die Qualität Verantwortlichen. Hier muß ein Austausch zwischen Bearbeiter und Betriebsmann stattfinden.

Da ein Lagerstättenmodell immer nur ein mehr oder weniger genaues Abbild der tatsächlichen Situation zu einem bestimmten Zeitpunkt sein kann, muß es kontinuierlich gepflegt werden, um möglichst jeden zusätzlichen Informationsgewinn aus der Lagerstätte verarbeiten zu können. Das Modell ist gewissermaßen erst fertig, wenn die Lagerstätte abgebaut ist. Oft werden Lagerstättenmodelle für langfristige Investitionsentscheidungen in Auftrag gegeben. Unter dem Gesichtspunkt einer relativ hohen Investition für

Exploration sowie Modellierung liegt es da auf der Hand, ein Modell auch für die täglichen Belange in einem Betrieb zu verwenden.

Der Detaillierungsgrad bei einer Modellierung (Erstellung und Pflege) hängt von verschiedenen Faktoren ab. Diese umfassen die Anforderungen an das zu gewinnende Material (die können sich ändern !), den Lagerstättentyp bzw. die Komplexität der geologischen Strukturen und die tatsächlich erreichte Explorationsdichte. Diese Faktoren bedingen die Intensität des Austausches zwischen dem Betrieb und dem Bearbeiter des Modells.

Wünschenswert ist somit ein Lagerstättenmodell als „Interaktivmodell“ derart zu gestalten, daß Daten aus dem Betrieb durch den Betriebsmann direkt integriert bzw. entnommen werden können. Damit ist die Pflege des Modells sichergestellt und es können jederzeit aktuelle Informationen abgerufen werden. Schließlich werden darüber hinaus Lagerstättendaten bzw. das Lagerstätten Know-how fortlaufend dokumentiert. Die Interaktion zwischen Betrieb und Modell kann oder muß je nach Umfang und Komplexität des Lagerstättenmodells durch einen Spezialisten (Geologen, Bergbauingenieur) betreut werden. Man stelle sich an dieser Stelle einen Tongewinnungsbetrieb vor, der bis zu 20 verschiedene Qualitäten aus einem relativ kleinen Abbaufeld durch selektiven Abbau liefern will.

Hier muß das Rohmaterial mit großer Sorgfalt ausgewählt und gewonnen werden, um einerseits die Kunden zufrieden zu stellen, dabei andererseits keinen Raubbau an der Lagerstätte zu betreiben. Eine geologische Bearbeitung vor Ort ist hier unerlässlich. Im einfachsten Fall kann es aber auch bedeuten, daß ein Computermodell ausschließlich vom Betrieb erstellt und gepflegt wird. Als Beispiel sei hier ein Betrieb genannt, der Sande und Kiese abbaut, dabei keine Qualitäten unterscheiden muß, aber ständig über seine noch vorhandenen Massen informiert sein möchte.

Die Anforderung an ein solches Modell reichen von der aktuellen Situation bezüglich der Qualität in der jeweiligen Abbauwand bis hin zur kontinuierlichen Dokumentation und Darstellung der aktuellen Tagebausituation. Oft liegt ein Tageriß erst Wochen, im Einzelfall sogar Monate, nach einer entsprechenden Geländeaufnahme durch Überfliegung oder terrestrischer Vermessung vor. Dieser Zustand ist für Mittel- bis Kurzfristplanungen nicht akzeptabel.

4 Praktischer Einsatz; das Interaktivmodell APS (Abbau - Planungs - System)

Wie kann ein praktischer Einsatz in einem Betrieb aussehen? Wie können Qualitätsdaten kurzfristig gewonnen und in ein Modell eingepflegt werden? Wodurch kann der aktuelle Abbaustand abgebildet werden? Die Antworten auf diese offensichtlichen Fragen sollen an dieser Stelle durch ein „Interaktivmodell“ beantwortet werden, welches in Zusammenarbeit zwischen der SST Ingenieurgesellschaft mbH und einem Betrieb der Steine und Erden Industrie im Einsatz ist und erprobt wird.

Plattform für dieses Computermodell bildet die Software SURPAC. Sie bietet die Möglichkeit die eigene Programmoberfläche und Bedienungsführung komplett anzupassen. Über die softwareeigene Makrosprache ist zudem die Möglichkeit geschaffen, viele Arbeitsschritte zu automatisieren. Bei APS handelt es sich um eine speziell auf den Betrieb zugeschnittene graphische Oberfläche, über die dem Betrieb der Zugriff auf ein Lagerstättenmodell ermöglicht wird.

Die Menüführung ist sehr einfach gewählt, so daß ein Bearbeiter lediglich der kurzen Einführung bedarf, um das Programm bedienen zu können (vgl. Abbildung 7).

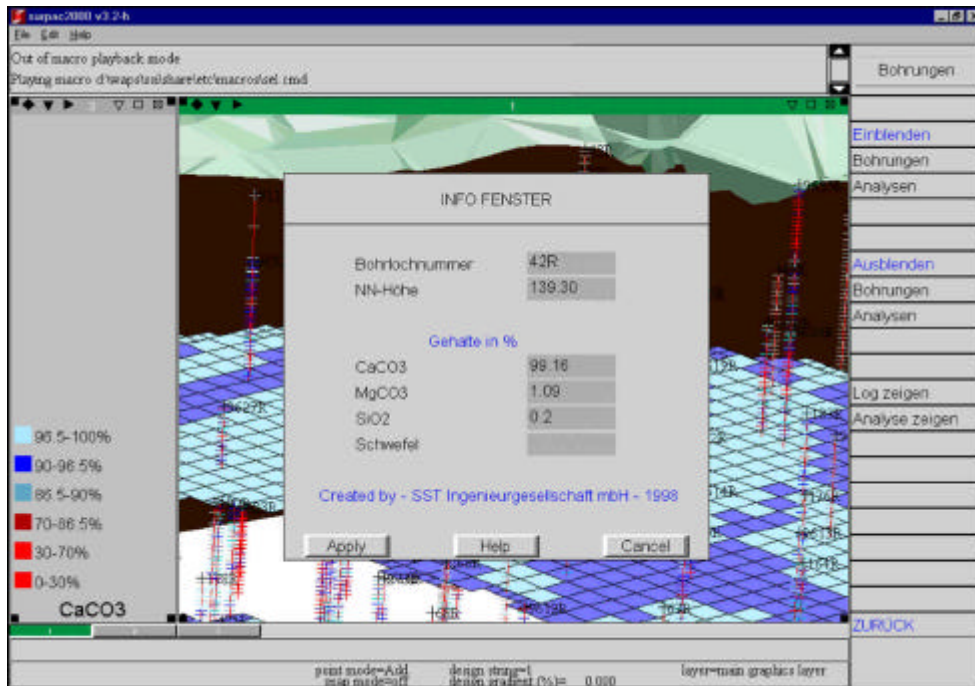


Abbildung 7: APS - Oberfläche

APS ist in drei Hauptbereiche untergliedert.

4.1 Grafikbereich

Der Grafikbereich beinhaltet die dreidimensionale Darstellung des Lagerstättenmodells. Dieser Modus stellt verschiedene Kombinationsmöglichkeiten bei der Darstellung von Inhalten zur Verfügung. Hier können DGM's (Digitale Geländemodelle) sichtbar oder unsichtbar geschaltet werden. Wahlweise können Abbaustände verschiedener Ist- oder Plansituationen zusammen oder getrennt visualisiert werden. Topographische Elemente wie Halden, Tagebau oder umgebende Topographie sind dabei jeweils getrennt anzusprechen. Für die Böschungskanten bzw. Höhenangaben zu den Böschungskanten sind eigene Schaltflächen vorgesehen. Unter dem Menüpunkt Geologie finden sich die wichtigsten Grenzflächen, Bohrungen oder Wandkartierungen. Auch hier können die verschiedenen Elemente sichtbar oder unsichtbar geschaltet werden. Das Geologische Basis- oder Langfristmodell sowie ein Kurzfristmodell ist an dieser Stelle als visuelle Grundlage für die qualitativen, volumetrischen Berechnungen untergebracht.

4.2 Rechenbereich

Der Rechenbereich erlaubt die Durchführung von kurzfristigen Abbauplanungen unter Berücksichtigung von Qualitätsverteilungen. Das Berechnen von Tonnagen aus verschiedenen Teilen der Lagerstätte erfolgt auf der Grundlage eines Blockmodells. Bereiche der Lagerstätte oder auch Abschnitte können dabei gemischt werden, um die gewichtete Durchschnittsqualität festzustellen.

4.3 Kurzfristdatenbereich

Im Kurzfristdatenbereich sind alle Funktionen untergebracht, die für die Pflege der Kurzfristdaten erstellt wurden. Unter Kurzfristdaten werden diejenigen Daten verstanden, die täglich im Betrieb anfallen und Informationen zur Lagerstättenqualität oder zum Tagebaulayout liefern. Derzeit werden unter APS Sprenglochbohrungen hinsichtlich Qualität und ihrer Aussage zum Tagebaulayout ausgewertet. Ebenso ist dabei die Aufnahme von Schlitzproben denkbar.

4.3.1 Qualität

Die systematische Beprobung und die anschließende Analyse des Bohrmehls bzw. der Cuttings erlaubt eine Aussage zur Qualität der durchteuften Gesteinsfolge. Hierdurch erhält man einerseits die Information über das gesprengte Haufwerk andererseits eine

Information über das in der Wand anstehende Material. Durch das Archivieren dieser Informationen in einem Blockmodell gewinnt man Schritt für Schritt eine Übersicht über den in der Wand stehenden Rohstein. Ein Selektieren und Mischen verschiedener Parteien aus der Abbauwand anhand eines so erstellten Lagerstättenmodells erlaubt schließlich ein optimiertes Ausbringen aus der Lagerstätte (vgl. Abbildung 8).

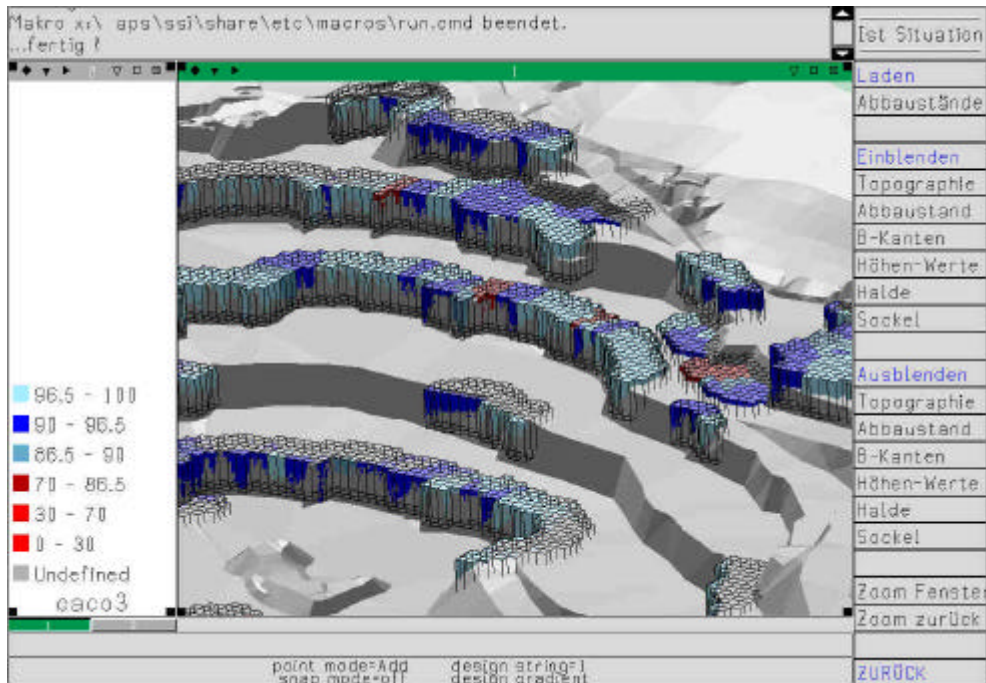


Abbildung 8: APS – Kurzfristdaten – Blockmodell; Blockwerte hier farblich dargestellt basieren auf analysiertem Bohrklein

4.3.2 Tagebaulayout

Der Böschungskantenverlauf kann mit Hilfe der Sprenglochbohrungen abgebildet werden. Die Verbindungslinie der Ansatzpunkte stellt den Böschungskantenverlauf nach der Sprengung dar. Voraussetzung für das Abbilden des Böschungskantenverlaufs nach dem Abschlag ist die Lagevermessung der Ansatzpunkte von Sprenglochbohrungen. Dieses kann mittels DGPS oder durch terrestrische Vermessung erfolgen. Aus der entsprechenden Numerierung der Bohrlöcher und den Koordinaten kann dann mit APS der neue Böschungskantenverlauf generiert werden (vgl. Abbildung 9). Diese Nachtragung erfolgt in beliebigen Zeitintervallen, so daß man ständig über einen aktuellen Tageriß verfügen kann.

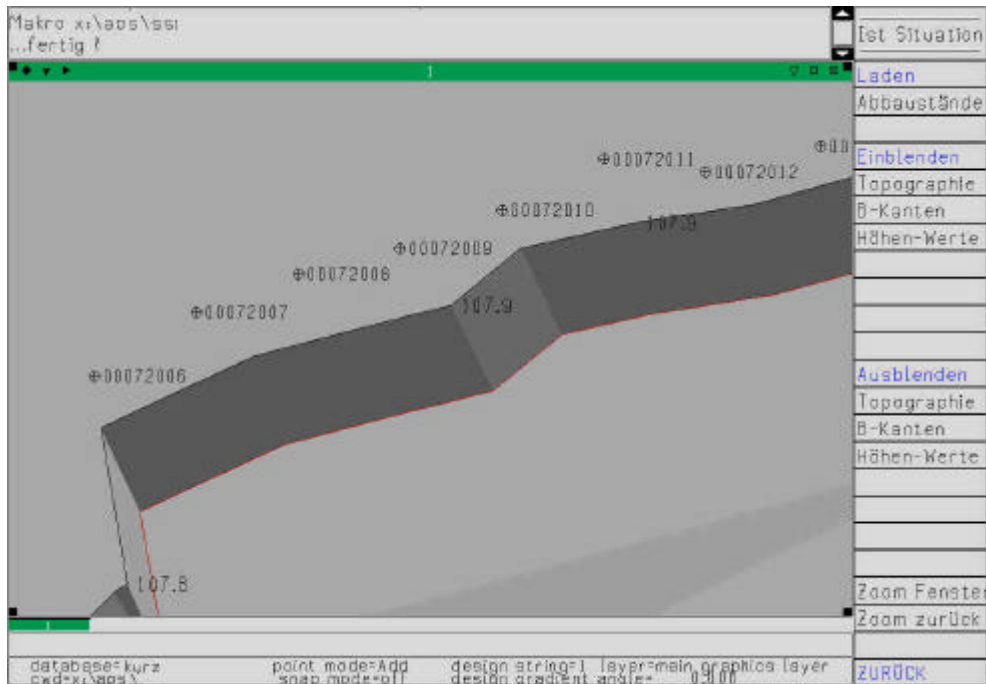


Abbildung 9: APS – Kurzfristdaten – Tagebaulayout; Ansatzpunkte mittels DGPS eingemessen

5 Resümee

Die möglichst vollständige Gewinnung und die optimale Verwertung einer Lagerstätte innerhalb eines bereits genehmigten Abbaus ist das Hauptanliegen des Abbautreibenden. Dazu ist es erforderlich, Lagerstätteninhalte qualitativ und quantitativ benennen bzw. bewerten zu können. Auf der Grundlage von Lagerstättenmodellen ist es möglich, das Optimum für das Ausbringen zu ermitteln. Die Qualität von Lagerstättenmodellen wächst mit der Qualität der Daten, die das Modell aufbauen. Jeder zusätzliche Informationsgewinn aus der Lagerstätte sollte daher in ein Modell einfließen. Dieses zu ermöglichen, erlaubt das System APS. Auf der Basis der Bergbauspezialsoftware SURPAC wird dem Betrieb ein Instrumentarium zur Verfügung gestellt, mit dessen Hilfe er Abbauszenarien berechnen kann und schließlich damit das Ausbringen aus der Lagerstätte optimiert. Darüber hinaus kann er Betriebsdaten wie Analysen aus Sprenglochbohrungen in das System integrieren, so daß sie direkt in Berechnungen berücksichtigt werden können. Teile des Modells sind dadurch zu jedem Zeitpunkt auf dem aktuellsten Stand. Damit ist es jederzeit möglich, kurzfristige Planungen hinsichtlich Qualität oder Tagebaulayout wie Rampenplanungen etc. durchzuführen.

Dipl.-Geol. Markus Oehmen
Rheinkalk GmbH & Co. KG
Wilhelmstraße 77
42489 Wülfrath
e-mail: markus.oehmen@rheinkalk.de

Markus Oehmen studierte von 1989 bis 1995 Geologie und Paläontologie an der Westfälischen Wilhelms Universität in Münster. Im Anschluß daran war er bis 2001 als Geologe / Hydrogeologe bei der SST Prof. Dr.-Ing. Stoll und Partner Ingenieurgesellschaft mbH in Aachen tätig. Schwerpunkte seiner Tätigkeit waren hier unter anderem die Erkundung sowie geologische und geochemische Modellierung von Lagerstätten der Steine und Erden, Softwareanpassungen sowie der Support für Spezialsoftware. Darüber hinaus hat er in der Funktion als Hydrogeologe mehrere Grundwassermonitoringsysteme betreut. Ab Jan. 2001 wird er in seiner Funktion als Geologe / Hydrogeologe bei der Rheinkalk GmbH & Co. KG tätig sein. Schwerpunkte seiner Tätigkeit sind hier die Erkundung sowie Modellierung von Karbonatgesteinslagerstätten.