

# Zur Berücksichtigung geologischer Ungewissheit in der Bewertung von Braunkohlevorkommen

Dr.-Ing. Jörg Benndorf, Delft, Niederlande; Dr.-Ing. Wojciech Naworyta, Cracow, Polen\*

In allen Planungsphasen sowie im operativen Tagebaubetrieb ist eine ausreichende Kenntnis über den räumlichen Verlauf von Lagerstättenattributen hinsichtlich Geometrie und Qualität grundlegend. Sie ist Voraussetzung für eine nachhaltige und optimale Nutzung des Rohstoffes Braunkohle unter sicherheitsrelevanten und wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Als Planungsgrundlage wird der räumliche Verlauf der Lagerstätte basierend auf Explorationsdaten unter Nutzung verschiedener Interpolationsmethoden geschätzt und in einem digitalen 3D Modell abgebildet. Die Geostatistik bietet verschiedenste Modellierungsansätze, wobei jeweils die konkrete Aufgaben- und Zielstellung die Auswahl der konkreten Methodik bestimmt. Im Beitrag werden in einem Fallbeispiel einer Lagerstätte in Mitteleuropa verschiedene Modellansätze mit Ist-Aufnahmen verglichen und unter den Kriterien der Vorhersagegenauigkeit sowie der Ableitbarkeit von Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeiten von Schwell-

werten bewertet. Die Ergebnisse dieser Studie geben Aufschluss über die Vorteilhaftigkeit bestimmter Ansätze in konkreten Anwendungen im Braunkohlenbergbau.

## Anforderung an die Bewertung von Braunkohle als Energierohstoff

Braunkohle stellt aktuell mit ca. 34% einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung in Polen dar. Auch in der Zukunft ist von einer dementsprechenden Größenordnung auszugehen. Aktuelle Entwicklungen in der Deutschen Energiepolitik deuten darauf hin, dass auch hier in der Zukunft die Braunkohle ein wesentlicher Bestandteil eines stabilen Energiemixes bleiben wird [1].

Um den generellen Anforderungen der Akzeptanz und Effizienz von Braunkohle als Energieträger zu entsprechen, werden zur Verstromung moderne Braunkohlekraftwerke mit hohen Wirkungsgraden und geringen Emissionskennwerten eingesetzt. Das Betreiben dieser Anlagen stellt hohe Anforderungen an den Rohstoff Braunkohle, indem über eine lange, etwa 40 jährige Laufzeit, kontinuierlich eine ausreichende Menge an Braunkohle in strikten Qualitätsanforderungen zur Verfügung zu stellen ist. Die Kohlequalitätsanforderungen betreffen mehrere relevante Attribute,

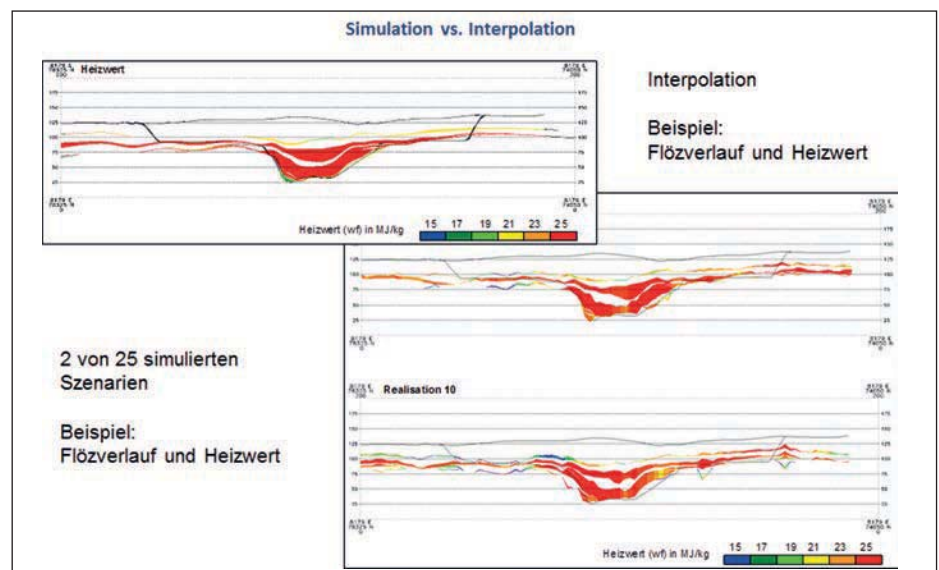
z.B.: Heizwert, Aschegehalt, Verschlackungsverhalten oder Schwefelgehalt. Sie sind innerhalb eng beieinanderliegender unterer und oberer Grenzwerte an das Kraftwerk zu liefern. Ein weiteres wesentliches Effizienzkriterium ist eine homogene Förderung, da Schwankungen in den Kohlequalitätsparametern eine ständige Kalibrierung des Brennprozesses und somit Effizienzverluste mit sich bringen.

In den Anforderungen des Verbrauchers der Braunkohle, sei es im Kraftwerk oder in der stofflichen Nutzung, spiegeln sich in den notwendigen Maßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette wider. Von der Erkundung, über die geologische Modellierung, die Bewertung der Lagerstätte, die Abbauplanung bis hin zur Produktion sind die Maßnahmen auf die Erfordernisse des Endabnehmers entsprechend auszurichten.

Speziell dem geologischen Modell, der Grundlage aller nachfolgenden Prozessschritte, kommt in der Bewertung eine zentrale Bedeutung zu. Auf der Basis aller zur Verfügung stehenden Informationen aus Erkundung und Produktion, werden in der notwendigen Vorhersagegenauigkeit sowohl Flözgeometrie und Kohlequalitätsparameter, als auch strukturelle Eigenschaften, wie Schwankungen und Variabilitäten abgebildet. Traditionell werden zur Modellierung Interpolatoren zur Vorhersage von Attributen an nichterkundeten Stellen verwendet [2, 3, 4].

\*Dr.-Ing. MPhil Jörg Benndorf  
Assistant Professor Resource-Engineering  
TU Delft  
Faculty of Civil Engineering and Geosciences  
Department of Geosciences and Engineering  
Stevinweg 1  
2628 CN Delft, NL  
P.O. box 5048  
2600 GA Delft, NL  
Tel.: +31 15 278 6024  
Mobil: +31 6288 73079  
Fax: +31 15 278 1189  
E-Mail: j.benndorf@tudelft.nl

Dr.-Ing. Wojciech Naworyta  
Adjunct  
AGH University of Science and Technology  
Faculty of Mining and Geoengineering  
Department of Open Pit Mining  
Al. Mickiewicza 30  
PL-30059 Cracow, Poland  
Tel.: +48 12 617 29 40  
Fax: +48 12 633 10 02  
E-Mail: naworyta@agh.edu.pl



1 Vergleichende Schnittdarstellung eines interpolierten Kriging-Modelles (oben) zu zwei simulierten Modellen der Flözgeometrie und des Heizwertes in einer mehrflözigen Braunkohlelagerstätte (aus Benndorf, 2009)

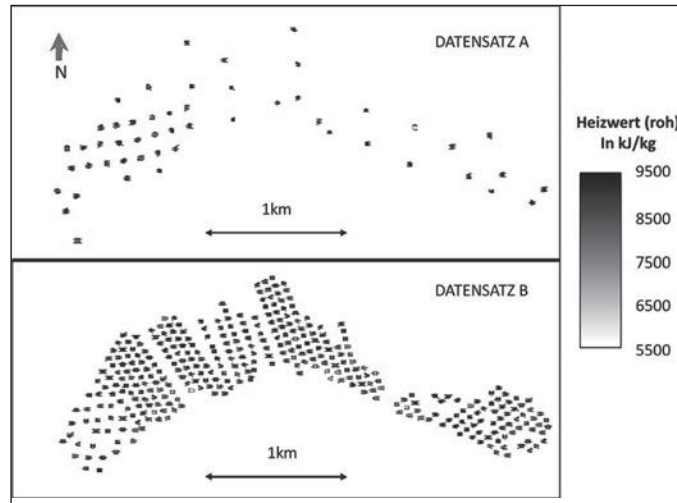
Seit etwas mehr als einer Dekade werden im Erzbergbau alternativ die Methoden der geostatistischen Simulation mit Erfolg angewandt [5, 6]. Benndorf demonstrierte erfolgreich die Anwendbarkeit im Braunkohlenbergbau im Jahr 2009 [7]. Ziel der Geostatistischen Simulation ist dabei die realistische Quantifizierung von Vorhersagegenauigkeiten, der lokalen Schwankungen von Attributen sowie die Bereitstellung alternativer Szenarien des Verlaufes der Lagerstätte für eine Risikobewertung. Beide Modellansätze, Interpolation und Simulation, unterscheiden sich im Wesentlichen in der Ab-

bildung der Vorhersagegenauigkeit sowie in der Abbildung und Handhabung von Variabilitäten. Der 2. Abschnitt stellt die wesentlichen Merkmale der Interpolation und der Simulation vergleichend gegenüber.

Im vorliegenden Beitrag erfolgt anhand eines Fallbeispiels ein Vergleich beider Modellansätze im Rahmen der Bewertung von Braunkohlevorkommen. Schwerpunkte liegen hierbei auf der realen Ableitung von Vorhersagegenauigkeiten, sowohl global als auch lokal sowie auf der Herleitung von Wahrscheinlichkeiten von Grenzwertüberschreitungen. Als Benchmark erfolgt jeweils der Vergleich zu einem nahezu vollständig bekannten Datensatz in bereits abgebauten Lagerstättenbereichen.

## Geostatistische Modellansätze im Vergleich

Zur Abschätzung von Lagerstättenressourcen werden oftmals Interpolatoren angewandt. Der in der Geostatistik wohl geläufigste Interpolator ist der Kriging-Interpolator, welcher zum Ziel hat, die Differenz zwischen geschätztem und wahren aber unbekanntem Wert unter der Bedingung der Erwartungstreue zu minimieren.



2 Datensatz A (oben) und Datensatz B (unten)

Obwohl die Methoden der Interpolation in der Regel lokal den besten Schätzer darstellen, repräsentieren sie global einen Glättungseffekt. Dabei wird das Auftreten von kleinen Werten überschätzt und das von großen Werten unterschätzt. Eine Anwendung von Grenzwerten führt demnach zu verzerrten Aussagen über Lagerstätteninhalte. Weiterhin bieten Interpolatoren keine Möglichkeit, realistische Genauigkeitsmaße abzuleiten [8].

Das Konzept der bedingten Simulation, in die Geostatistik eingeführt durch Matheron 1973 und Journel & Huijbregts 1978 [9, 8], bietet eine Möglichkeit, die Defizite der Interpolatoren zu kompensieren. Die bedingte Simulation basiert auf dem Konzept der Monte-Carlo Simulation. Durch die bedingte Simulation wird unter Einbeziehung der zur Verfügung stehenden Erkundungsinformationen und Zufallszahlen eine beliebige Anzahl von Lagerstättenmodellen generiert. Jedes einzelne generierte Modell, nachfolgend Realisation genannt, ist einzigartig und gleichwahrscheinlich im Auftreten. Alle Realisationen sind stützpunkttreu, d.h. die Modelle honorieren die Explorationsdaten. Im Gegensatz zu Interpolatoren reprodu-

zieren Simulationen wesentlich aus den Explorationsdaten geschlossene statistische und strukturelle Eigenschaften der Parameter, wie z.B. die Häufigkeitsverteilung und die räumliche Veränderlichkeit (Bild 1). Die lokalen Unterschiede zwischen den einzelnen simulierten Modellen stellen ein Maß für die Unsicherheit in der Vorhersage dar.

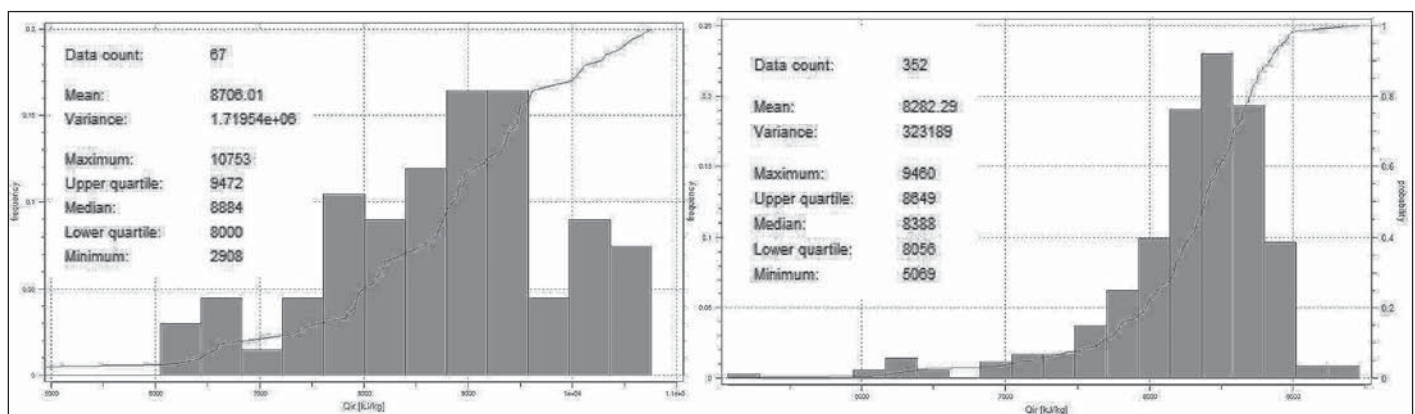
Aufgrund des intensiven Bedarfes an Rechenleistung kam die Methode der geostatistischen Simulation bis in die 1990er Jahre nur limitiert in speziellen Fallstudien zum Einsatz oder sie wurde in der Forschung zur Untersuchung

geostatistischer Verfahren genutzt [10]. Entwicklungen in Industrie und Forschung in der letzten Dekade resultierten jedoch in signifikanten Beiträgen zu effizienten Simulationsalgorithmen, anwendbar auf große Raster, sowie zur Anwendung der geostatistischen Simulation im Bergbau [11, 12].

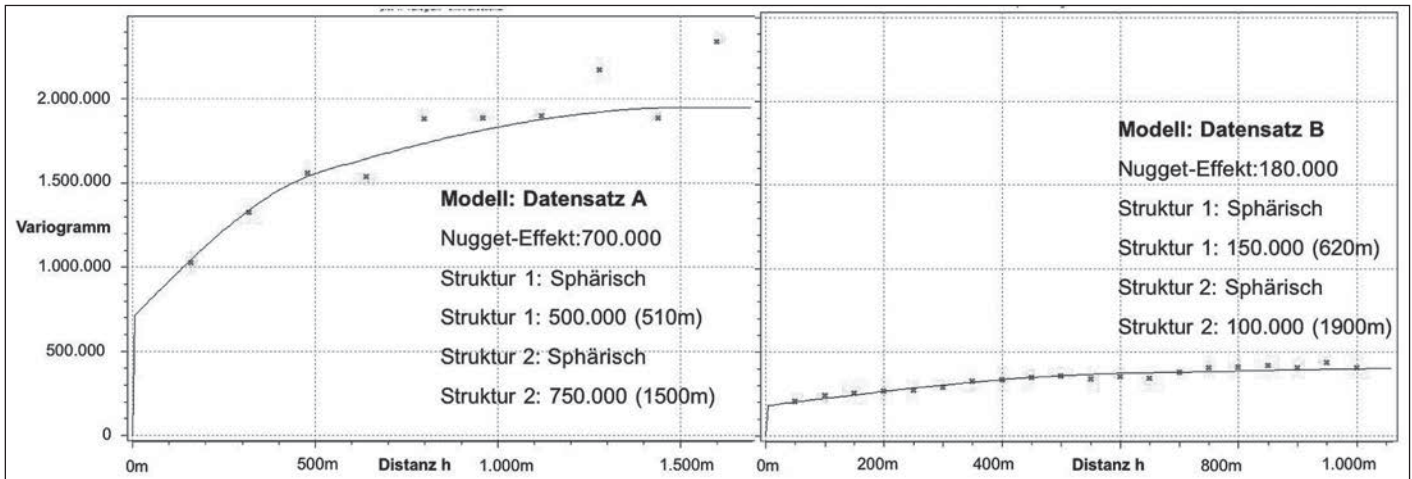
Die Anwendung dieses Konzeptes im Braunkohlenbergbau ist in zahlreichen Fallbeispielen zur Abschätzung geologisch anstehender, technisch gewinnbarer Vorräte, zu Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen oder zu Auswirkungen im Förderprozess in [7, 13] dokumentiert.

## Beschreibung des Fallbeispiels und des Untersuchungsgebietes

Die in der Fallstudie verwendete Braunkohlenlagerstätte ist im Konin-Revier in Polen gelegen. Das betrachtete Flöz ist über 2500 m in Ost-West Richtung und über ca. 1000 m in Nord-Süd Richtung ausgedehnt. Die vorhandenen Datensätzen umfassen sowohl Daten der Flözgeometrie, d.h. erkundete NN-Höhen des Flözhangenden, deren Mächtigkeit, als auch



3 Histogramme und statistische Kennzahlen für die Datensätze A und B



4 Experimentelle Variogramme sowie Variogrammodelle für den Heizwert aus den Datensätzen A und B

im Labor analysierte und regionalisierte Proben der Kohlequalitätsparameter. Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf den Heizwert (roh).

Für den Heizwert liegen 2 Datensätze vor. Datensatz A entspricht einer Datendichte, die dem Kenntnisstand im Stadium der Erkundung der Lagerstätte repräsentiert und ist in Bild 2 oben dargestellt. Der mittlere Bohrlochabstand beträgt 160 m. Datensatz B umfasst Daten, die während des Abbaues des Lagerstättenbereiches gewonnen wurden. Dabei konnten die Daten zum Heizwert sehr dicht nacherkundet werden. Er liefert mit einem mittleren Bohrlochabstand von etwa 50 m annähernd vollständige Informationen über die räumliche Verteilung des Heizwertes und dient in der Fallstudie als Benchmark für die Ergebnisse aus geostatistischer Interpolation und Simulation. Bild 2 zeigt unten die räumliche Anordnung der Erkundungsstellen des Datensatz B.

Bild 3 zeigt vergleichend die Histogramme sowie die statistischen Kennwerte beider Datensätze. Hervorzuheben ist die signifikante Differenz von Erwartungswert und Varianz. Diese Differenz ist Ausdruck für die unvollständige Information des Erkundungsdatensatzes A und ist Indiz für die vorhandene geologische Unsicherheit.

Bild 4 zeigt die experimentellen Variogramme sowie die angepassten Variogrammodelle beider Datensätze A und B. Hier ist ebenfalls eine signifikante Differenz, speziell in den parametern Nugget-Effekt und Sill, festzustellen. Die Schwankungen des Heizwertes innerhalb der Lagerstätte stellen sich in der Realität während des Abbaues geringer als jene dar, die aus dem Erkundungsdatensatz geschlossen werden konnte. Ursache hierfür kann zum Einen die unterschiedliche Probenahmequalität während der beiden auch zeitlich stark auseinanderliegenden Erkundungsperioden sein. Zum Anderen umfasst der Erkundungssatz A

auch einzelne Lagerstättenbereiche, welche im Datensatz B nicht berücksichtigt sind, da sie aufgrund zu geringer Qualitäten nicht dem Abbau unterzogen wurden.

## Erstellung der Modelle

Auf der Grundlage des Datensatzes A und des entsprechenden Variogrammodells wurden im Folgenden ein Interpolationsmodell unter Nutzung von Ordinary Kriging sowie 20 Realisationen auf Basis der Sequentiellen Gaußschen Simulation erstellt [14]. Als Benchmark wurde ein Interpolationsmodell auf der Grundlage des Datensatzes B erzeugt. Bild 5 zeigt das Interpolationsmodell A, Bild 6 zeigt 2 Realisationen des Simulationsmodells und Bild 7 zeigt das Referenzmodell als Benchmark.

Der Vergleich von den Bildern 5 und 6 zeigt bereits den wesentlichen Unterschied von Interpolation und Simulation. Während der Interpolator in einem vergleichsweise glatten Modell resultiert, bilden die einzelnen simulierten Realisationen die Variabilitäten ab, wie sie aus dem Variogramm geschlossen wurden. Lokale Differenzen zwischen den einzelnen Realisationen sind ein Maß für die Unsicherheit

in der Vorhersage des Heizwertes an den entsprechenden Stellen.

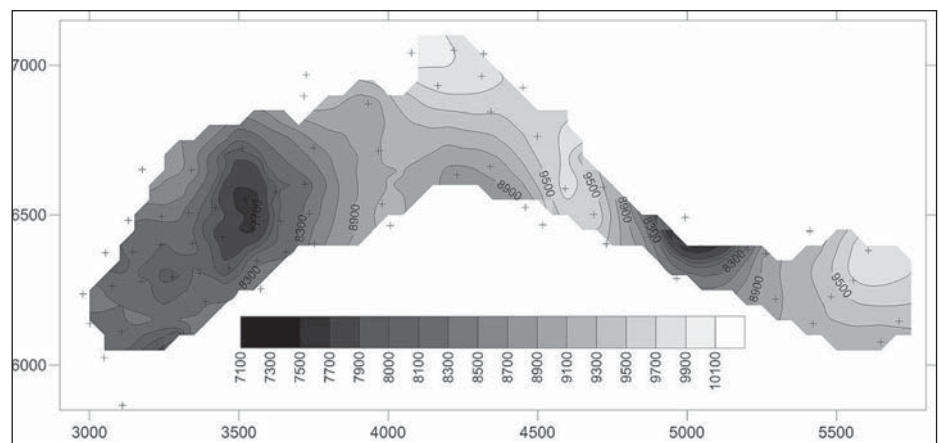
## Auswertung der Modellansätze

Der Vergleich beider betrachteten Modellansätze soll vor dem Hintergrund einer ersten Bewertung der Lagerstätte und deren Bauwürdigkeit im Stadium der Lagerstättenenerkundung, entsprechend der Erkundungsdichte des Datensatzes A, erfolgen. Dabei liegt der Fokus auf dem Ableiten relevanter Informationen zur Abschätzung der Bauwürdigkeiten. Im speziellen sind das die Kriterien:

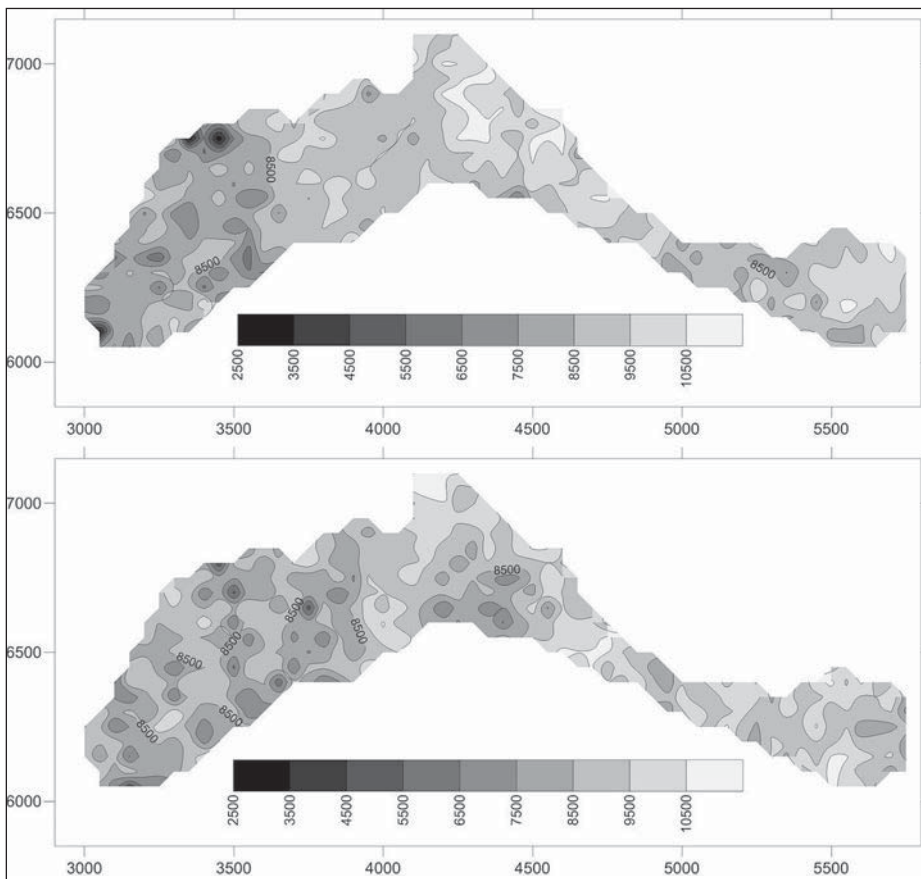
- die Ableitung von lokalen Vorhersagegenauigkeiten
- die Identifizierung bauwürdiger Vorräte unter Nutzung von Grenzwerten sowie
- die Quantifizierung bauwürdiger Vorräte.

## Ableitung der lokalen Genauigkeit der Vorhersage

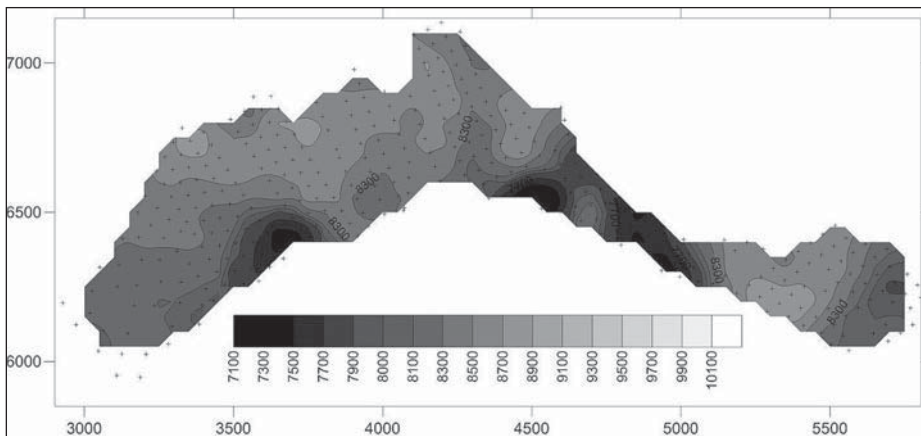
Zur Ableitung der lokalen Vorhersagegenauigkeiten bietet der Kriging-Interpolator das Maß der Kriging-Varianz (bzw. Kriging-Standardabweichung). Diese ergibt sich im Wesentlichen aus dem Vario-



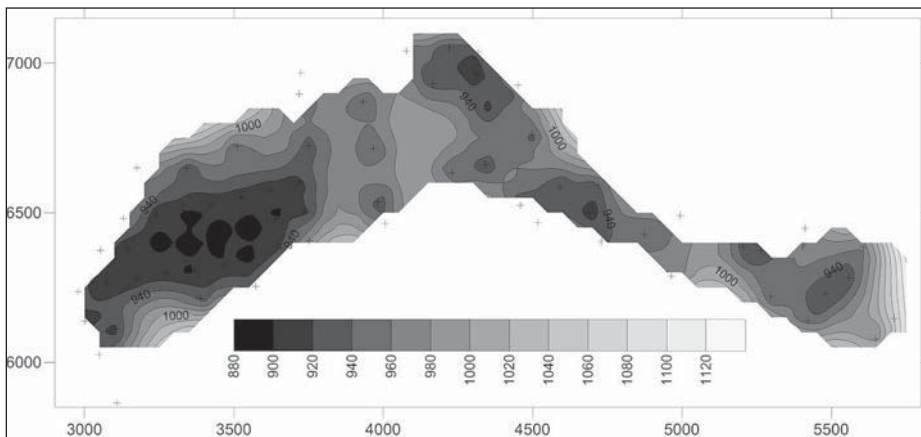
5 Interpolationsmodell basierend auf dem Datensatz A



6 Zwei Realisationen des Simulationsmodells basierend auf dem Datensatz A



7 Interpolationsmodell basierend auf dem Datensatz B (Referenzmodell)



8 Vorhersagegenauigkeit aus dem Interpolationsmodell A (Kriging-Standardabweichung)

gramm und der Dichte und der räumlichen Anordnung der zur Schätzung herangezogenen Stützpunkte. Die Datenwerte an den Stützstellen gehen dabei nicht in die Berechnung ein. Bild 8 stellt die Kriging-Standardabweichung für den Heizwert unter Nutzung des Datensatzes A dar. Es ist deutlich zu erkennen, dass an Stellen mit dichterem Erkundungsnetz, wie z.B. im westlichen Teil des Lagerstättenbereiches, die Kriging-Standardabweichung gering ist, was auf eine hohe Vorhersagegenauigkeit schließen lässt. In Bereichen mit geringer Erkundungsdichte ist die Kriging-Standardabweichung dementsprechend höher und die Vorhersagegenauigkeit geringer.

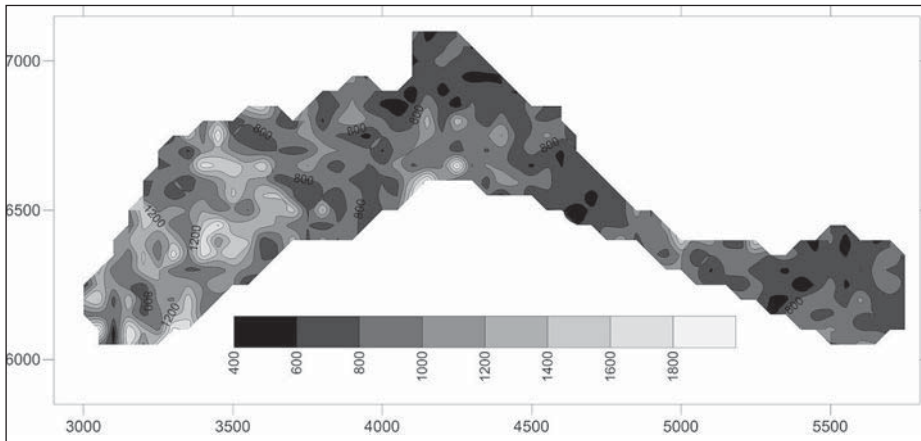
Die geostatistische Simulation bietet das Maß der bedingten Varianz (bzw. Standardabweichung) zur Abschätzung von Vorhersagegenauigkeiten. Diese ergibt sich aus der Varianz zwischen den einzelnen Realisationen an jedem geschätztem Rasterpunkt. Im Gegensatz zur Kriging-Varianz integriert die bedingte Varianz sowohl die Stützpunktanordnung als auch die Datenwerte an den Stützpunkten und deren Veränderlichkeit untereinander. Bild 9 zeigt die bedingte Standardabweichung. Während sich die Vorhersagegenauigkeit im östlichen Lagerstättenbereich ähnlich der Kriging-Standardabweichung verhält, indiziert die bedingte Standardabweichung im westlichen Lagerstättenbereich eine wesentlich geringere Vorhersagegenauigkeit. Grund hierfür sind die trotz enger Datendichte auftretenden hohen Differenzen der Heizwerte eng benachbarter Erkundungsbohrungen im westlichen Lagerstättenbereich.

Zu Vergleichszwecken mit den Ist-Daten ist im Bild 10 das Differenzmodell zwischen Interpolation basierend auf Datensatz A und dem Referenzmodell dargestellt. Deutlich erkennbar sind die starken Differenzen im westlichen Bereich der Lagerstätte, wie bereits durch das Simulationsmodell und der bedingten Varianz angedeutet. Die Kriging-Standardabweichung (Bild 8) klassifizierte diesen Bereich als den genauesten in der Vorhersage.

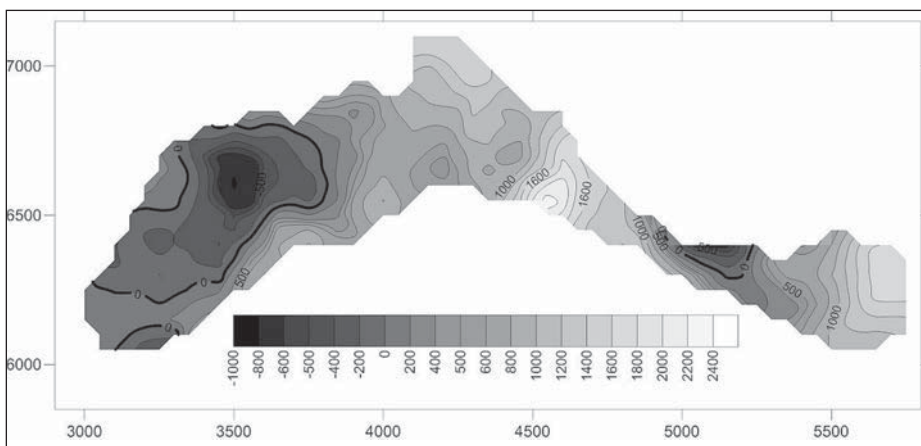
Aus dem angestellten Vergleich ist festzustellen, dass die Einbeziehung der Datenwerte und der Schwankungen in die Ableitung der Vorhersagegenauigkeit, wie bei der bedingten Varianz der Fall, realitätsnaher als eine reine Betrachtung der Stützpunktgeometrie, entsprechend der Kriging-Varianz, ist.

## Identifikation bauwürdiger Lagerstättenbereiche

Ein wesentlicher Bestandteil der Lagerstättenbewertung ist die Identifikation bauwürdiger Bereiche sowie die Quantifizierung der entsprechenden Tonnagen.



**9 Vorhersagegenauigkeit aus dem Simulationsmodell (Bedingte Standardabweichung)**



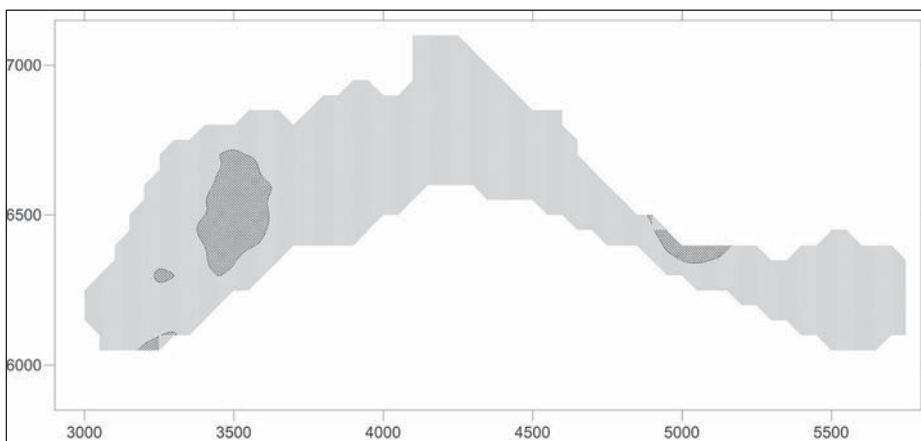
**10 Differenz zwischen Interpolationsmodell A und dem Referenzmodell**

Wesentliche Bauwürdigkeitsindikatoren sind dabei einzuhaltende Grenzwerte, welche sich aus wirtschaftlichen und technischen Randbedingungen ableiten. In der Fallstudie wurde beispielhaft ein Grenzwert von 8000 kJ/kg für den Heizwert betrachtet. Lagerstättenbereiche, die diesen Grenzwert überschreiten, sind bauwürdig und können direkt an den Kunden, d.h. das Kraftwerk, geliefert werden. Lagerstättenbereiche unter diesem Grenzwert entsprechen nicht den technischen Anforderungen und müssen durch weitere Maßnahmen, z.B. durch Zumischen hochwertiger Kohle, aufgewertet werden.

ger Kohle, aufgewertet werden.

Bild 11 zeigt eine aus dem Interpolationsmodell A abgeleitete Darstellung der bauwürdigen Bereiche. Deutlich ist eine scharfe Abgrenzung bauwürdiger und nicht-bauwürdiger Bereiche zu erkennen.

Das Bild 12 zeigt eine Karte der Wahrscheinlichkeiten der Bauwürdigkeit. Diese Darstellung ist aus den einzelnen Realisationen abgeleitet und ergibt sich, indem an jedem Rasterpunkt die Werte der einzelnen Realisationen mit dem Grenzwert verglichen werden. Aus der Anzahl der bauwürdigen Realisationen zu der ins-



**11 Identifikation bauwürdiger Bereiche basierend auf dem Interpolationsmodell A**

gesamt erzeugten Anzahl ergibt sich die Wahrscheinlichkeit der Bauwürdigkeit.

Durch dieses Vorgehen können unter Nutzung der erzeugten lokalen Wahrscheinlichkeitsverteilungen sowohl lokal Bauwürdigkeiten abgeschätzt als auch Unsicherheiten in dieser Angabe quantifiziert werden. Interessant hierbei ist, dass die Abgrenzung bauwürdiger und nicht bauwürdiger Bereiche nicht scharf ist, sondern dass Bereiche existieren, die nicht eindeutig einer Kategorie zugeordnet werden können. Diese Bereiche sind von hohem Interesse und sollten durch gezielte Bohrungen nacherkundet und daraus folgend der entsprechenden Kategorie zugeordnet werden. Somit liefert die Simulation neben der Identifizierung sicherer bauwürdiger und unbauwürdiger Bereiche zusätzliche Informationen zur Notwendigkeit lokaler Nacherkundung, um unsichere Bereiche eine Kategorie zuzuordnen.

Im Vergleich zu den Aussagen, abgeleitet aus dem Interpolationsmodell A, ist wiederum der westliche Lagerstättenbereich auffällig, in welchem Wahrscheinlichkeiten zwischen 0,5 und 0,9 abgebildet sind.

## Quantifizierung bauwürdiger Vorräte

Die Quantifizierung bauwürdiger Vorräte erfolgt durch Anwendung der Bauwürdigkeitskriterien auf das geologische Modell. Im Fallbeispiel ist dieses Kriterium vereinfacht auf den Heizwert >8000 kJ/kg beschränkt.

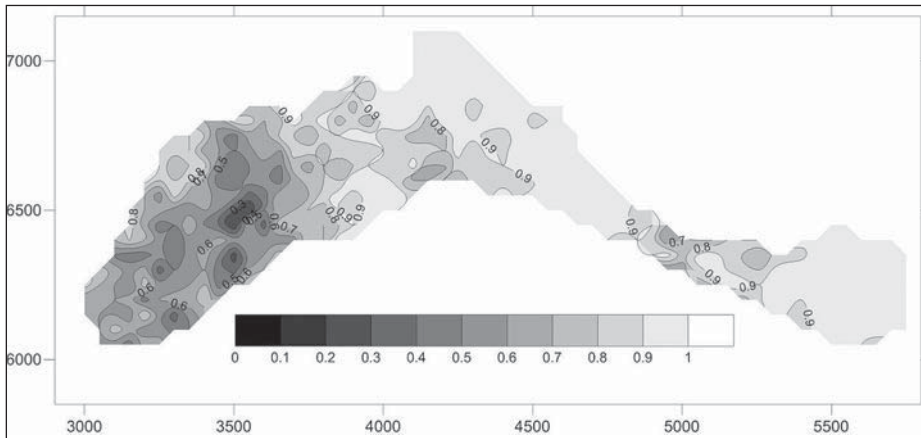
Zum Vergleich beider Modelle wurde das Kriterium auf jede einzelne simulierte Realisation sowie auf das Interpolationsmodell A angewandt. Dabei wird jeweils der Anteil der bauwürdigen Lagerstättenbereiche an der gesamten Fläche der Lagerstätte ermittelt. Als Benchmark dient das aus dem Ist-Datensatz ermittelte Referenzmodell. Bild 13 und die Tabelle zeigen die Ergebnisse.

Die Anwendung des Grenzwertes auf das Interpolationsmodell A resultiert in einer Bauwürdigkeit von 89,5%. Die Genauigkeit bzw. die Unsicherheit dieser Vorhersage aufgrund unvollständigen Kenntnisstands kann durch einfache Mittel nicht quantifiziert werden (siehe u.a. [7]).

| Interpolation | Simulation | STDAW | IST (Referenz) |
|---------------|------------|-------|----------------|
| 89,5%         | 80,4%      | 5,4%  | 79,9%          |

**Tabelle: Vergleich der ermittelten Bauwürdigkeiten**

Unter der Annahme, dass jedes einzelne simulierte Szenario (Realisation) die wahre Lagerstätte darstellen könnte,



**12 Identifikation bauwürdiger Bereiche und inkl. deren Wahrscheinlichkeit basierend auf dem Simulationsmodell**

ist die Bauwürdigkeit für das Simulationsmodell dargestellt. Es ist zu bemerken, dass die ermittelten Bauwürdigkeiten zwischen den einzelnen Realisationen variieren. Im Mittel resultiert der simulationsbasierte Ansatz in einem bauwürdigen Lagerstättenanteil von 80,4%. Zusätzlich kann diese Aussage mit einer Vorhersagegenauigkeit, d.h. der Varianz und der entsprechenden Standardabweichung aus den Ergebnissen der einzelnen Realisation, qualifiziert werden. Im vorliegenden Fall kann die Bauwürdigkeit somit auf 80,4% +/- 5,4% quantifiziert werden.

Die Bauwürdigkeit des Referenzmodells resultiert in einer IST-Bauwürdigkeit von 79,9%.

Die Differenz zwischen den Ergebnissen aus dem Interpolationsmodell A und dem Simulationsmodell ist mit 9% als signifikant einzuschätzen. Ebenfalls zeigt das Interpolationsmodell eine Differenz entsprechender Größenordnung zum Referenzmodell.

Die Ursache dieser Differenz ist in dem Glättungseffekt des Interpolationsmodells zu suchen (Bild 14). Aufgrund der Minimierung der Schätzvarianz wird das Auftreten extremer Werte beim interpolierten Modell unterschätzt, d.h. die Streuung des Parameters wird global unterschätzt. Die Simulation hingegen erzeugt Modelle, welche die aus den Daten geschlossene Varianz widerspiegelt. Die abgebildete Streuung entspricht der durch die Erkundung angetroffenen Streuung des Parameters. Bei der Anwendung von Grenzwerten weist die Verteilung des interpolierten Modells prozentual eine andere Fläche über dem Grenzwert aus, d.h. einen an-

deren prozentualen Anteil der Lagerstätte, als das Simulationsmodell. Die Differenz zwischen beiden Flächen ist ein Maß für die systematische Über- bzw. Unterschätzung extremer Werte durch Nutzung interpolierter Modelle. Im Falle von Grenzwerten als Bauwürdigkeitskriterium führt ein Grenzwert, welcher geringer als der Mittelwert der Verteilung ist, zur Überschätzung und der umgekehrte Fall zur Unterschätzung des Auftretens bauwürdiger Lagerstättenbereiche.

## Fazit

Die Ergebnisse der Analyse der geo-

statistischen Simulation verdeutlichen im Vergleich zu den traditionell genutzten Interpolatoren aus bergtechnischer und bergwirtschaftlicher Sicht die erweiterten Auswertungsmöglichkeiten des unsicherheitsbasierten Ansatzes sowie den kritischen Charakter der in-situ Variabilität bei der Abschätzung bauwürdiger Reserven.

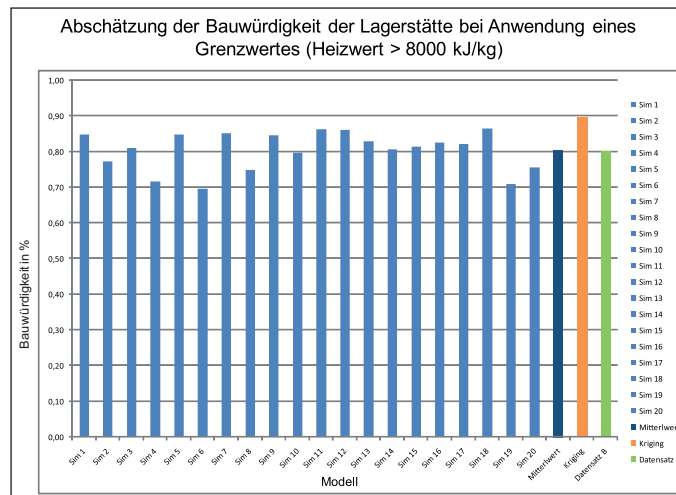
Im Ergebnis in der vorliegenden Fallstudie zur Bewertung von Ressourcen und Reserven ist festzustellen, dass die Methoden der bedingten Simulation einen eleganten Ansatz bieten, um Genauigkeiten bei der Abschätzung vorhandener Ressourcen und bauwürdiger Reserven reell abzuleiten. Neben dem Informationsgehalt, d.h. der Erkundungsdichte, werden dabei die in-situ Variabilität und lokale Schwankungen in den Lagerstättenattributen mit beachtet. Anhand der Kennwerte bedingte Standardabweichung und Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von Grenzwerten können Aussagen zur geologischen Unsicherheit sowie zu Schwachstellen im Modell getätigt werden, die eine gezielte Festlegung von Nacherkundungsmaßnahmen erlauben.

Im Vergleich der beiden Modellansätze Interpolation und Simulation können durch die Anwendung von Bauwürdigkeitskriterien deutliche systematische Abweichungen identifiziert werden. Diese Differenz

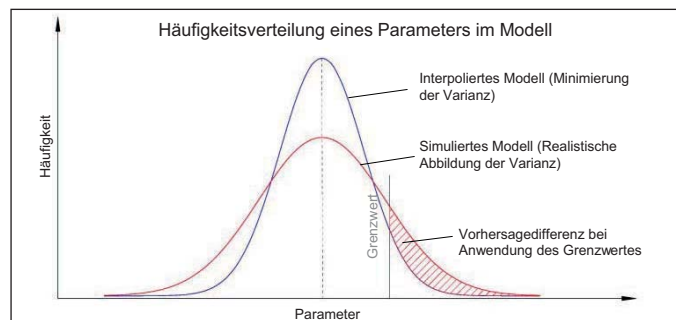
ist auf das Ignorieren der in-situ Variabilität der Lagerstättenparameter bei interpolierten Modellen zurückzuführen. Die den Interpolatoren innewohnende Glättung bewirkt systematische Über- bzw. Unterschätzung bei der Anwendung von Grenzwerten.

## Literaturverzeichnis

- [1] DEBRIV (2011): Braunkohle in Deutschland 2011 – Profil eines Industriezweiges. Bundesverband Braunkohle (DEBRIV), Seite 84.
- [2] Kozula R., Mazurek S. (1996): Wstępna ocena stopnia rozpoznania podstawowych parametrów złożowych konińskich złóż węgla brunatnego w blokach geologicznych metodą krigingu. Górnictwo Od krywków, v. 38 nr 3, Wrocław
- [3] Mucha J., Słomka T., Mastek W., Bartus J., Jorczyk W., Frankowski R. (2004): Modelowanie zmienności i dokładność oszacowania jakości węgla brunatnego w złożu Bełchatów (pole Bełchatów). Mat. Symp. Warszawy 2004 z cyklu "Zagrożenia naturalne w górnictwie", Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [4] Naworyta W. (2008): Analiza zmienności parametrów złożowych węgla brunatnego pod kątem sterowania jakością strumienia urobku, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, v. 24 nr 2/4 (2008), IGSMiE PAN, Kraków
- [5] Dimitrakopoulos R., (2007): Orebody modelling and strategic mine planning, Spectrum Series v. 14, 2nd Edition, The AusIMM, Mel-



**13 Vergleich der Modellansätze in der quantitativen Bewertung der Bauwürdigkeit des betrachteten Lagerstättenbereiches**



**14 Schematische Darstellung der Auswirkung des Glättungseffektes bei Interpolationsatoren**

bourne, Seite 402.

[6] *Dimitrakopoulos R.* (2010): Advances in Orebody Modelling and Strategic Mine Planning I, Spectrum Series Volume 17, The AusIMM, Melbourne, Seite 345.

[7] *Benndorf J.* (2009): Evaluation of lignite deposits using conditional simulation in geostatistics. Schriftenreihe des Institutes für Geotechnik und Markscheidewesen der TU Clausthal, Ausgabe 18/2009, Seite 221.

[8] *Journel A. G., und Huijbregts C. J.* (1978): Mining geostatistics: Academic Press, London, Seite 600.

[9] *Matheron G.* (1973): The intrinsic random functions and their application: Advances in Applied Probability, v. 5, Seiten 439 bis 468.

[10] *Menz J.* (2000): Forschungsarbeiten im Rahmen des Leibniz-Programms der DFG zur Markscheiderisch-geologischen Komplexauswertung unter geostatistischen Modellannahmen - Aufgabenstellung, Ergebnisse und ihre Bedeutung. w: Angewandte Geostatistik in Bergbau, Geologie, Geophysik, Geodäsie und Umweltschutz. Mathematische Geologie, v. 5, Seiten 7 bis 21.

[11] *Benndorf J. und Dimitrakopoulos R.* (2007): New efficient methods for conditional simulation of large orebodies. In: Orebody Modelling and Strategic Mine Planning, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Spectrum Series, vol. 14, 2nd Edition, Seiten 61 bis 68.

[12] *Naworyta W., Menz J., Sroka A.* (2005): Assessment of the accuracy of ground movement elements prediction using simulation method, proceedings of the 6th International Mining Forum 2005, A. A. Balkema Publishers, 2005. Seiten 123 bis 136.

[13] *Naworyta W., Benndorf J.* (2011): Studium porównawcze metod modelowania geostatystycznego na przykładzie jednego ze złóż węgla brunatnego, Górnictwo Odkrywkowe, v. 53 nr 1 bis 2, Wrocław.

[14] *Remy N., Boucher A., Wu J.* (2009): Applied Geostatistics with S-GeMS. Cambridge University Press, Cambridge

**Bilder und Tabelle: Verfasser**



## Veranstaltung

# Bau- und Baustoffmaschinenbranche erwartet Wachstum – bauma 2013: Plattform der internationalen Bauwirtschaft

Das weltweit wachsende Bauvolumen bringt einen gewaltigen Bedarf an Betonwaren, Betonrohren und -schächten sowie Betonfertigteilen mit sich. Die Nachfrage setzt sich fort in Impulsen für die Anbieter von Maschinen und Anlagen, mit denen diese Elemente hergestellt werden. Auf der **bauma** in München werden **vom 15. bis 21.04.2013** Komplettanbieter und Komponenten-Spezialisten, Newcomer und Marktführer ihre neuesten Produkte aus Beton und anderen Baustoffen präsentieren.

### Erwartetes Umsatzwachstum 5 %

Für den Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (**VDMA**) zählen Betonsteinmaschinen und Betonfertigteilanlagen zu den Produktsegmenten der Bau- und Baustoffmaschinenbranche, in denen in diesem Jahr mit einem Wachstum zu rechnen ist. Für das laufende Jahr rechnet der Verband mit einem Umsatzwachstum von 5 % - sowohl bei den Baustoff-, als auch bei den Baumaschinen.

### Emerging Markets mit Nachholbedarf

Auch international ist Bewegung im Markt. Das Institut für Angewandte Bauforschung (**IAB**) Weimar hat in einer aktuellen Umfrage unter ausgewählten deutschen Baustoffmaschinenherstellern ermittelt, dass vor allem auf den internationalen Märkten steigende



Foto: Messe München

Umsätze erwartet werden. Speziell in den Emerging Markets, wie zum Beispiel in China, Indien, einigen osteuropäischen Staaten und den ehemaligen Sowjetrepubliken, bestehe enormer Nachholbedarf. Gefragt sind laut der Unternehmensumfrage vor allem komplette Fertigungsanlagen, bei denen gleich auch das Fertigungs-Know-how und die Serviceleistungen mitgeliefert werden.

### Betonfertigteile für Indien und Singapur

So hat zum Beispiel die Firma Vollert Anlagenbau aus Weinsberg die nach eigenen Angaben erste moderne Paletten-umlaufanlage Indiens geliefert. Das Bauunternehmen Precast India Infrastructures produziert damit im westindischen Pune stündlich bis zu 120 m<sup>2</sup> Massivwände sowie Massiv- und Elementdecken für die boomende Bauwirtschaft des Subkontinentes.

Ebenfalls mit Technologie „made in Germany“ ging im Mai 2012 das erste vollautomatisierte Betonfertigteilwerk Singapurs in Betrieb. Die Anlage unterstützt den wirtschaftlich wachsenden Inselstaat bei der hohen Nachfrage nach Wohnungs- und

Industriebauten. Wesentliche Komponenten der Anlage lieferte neben Vollert Anlagenbau das Unternehmen Weckenmann Anlagentechnik aus Dormettingen.

### Mehr Porenbeton in der Ukraine

Ein beispielhaftes Projekt aus der Region der ehemaligen Sowjetrepubliken ist die im März dieses Jahres abgeschlossene Erweiterung eines Porenbetonwerkes in der Ukraine. Der Anlagenhersteller Masa aus Porta Westfalica hat die Tagesproduktion der Fabrik in Dnepropetrovsk von bisher 1 000 auf 1 400 m<sup>3</sup> ausgedehnt.

### Wetcast-Verfahren aussichtsreich

In Punkto neuer Technologien zeigt die IAB-Umfrage ein allgemein steigendes Marktinteresse an Wetcast-Produktionsverfahren. Hierbei wird gießfähiger Beton in flexible Spezialformen mit strukturierten Innenseiten gegossen. Die Innenflächen der Formen geben ihre Muster beim Aushärten exakt an die Betonoberfläche ab. So lassen sich qualitativ hochwertige Produkte mit individuellem Erscheinungsbild herstellen.

### Informationen

Ansprechpartnerin  
*Sabine Wagner*  
Pressereferentin Projekt-PR  
Zentralbereich MarCom  
Tel.: +49 89 / 94 92 14 78  
Fax: +49 89 / 94 92 14 89

### E-Mail:

[sabine.wagner@messe-muenchen.de](mailto:sabine.wagner@messe-muenchen.de)

### Internet:

[www.bauma.de](http://www.bauma.de)