



# **Das Markscheidewesen**

**Fachzeitschrift für Lagerstättenbearbeitung, Bergvermessung, Bergbauplanung und Raumordnung, Bergschadenkunde**

## **102. Jahrgang Zeitschrift Das Markscheidewesen**

**Kramer:**  
Sanierungsarbeiten in der Grube Kahlenberg

**Jin, Li and Zhang:**  
The Study of Graphic Data-Processing in Geology and Survey  
Information Management System of Underground Mine

**Menz, Röttig und Tzscharschuch:**  
Fallstudien zur Berücksichtigung von Kreuzkorrelationen  
bei der geostatistischen Vorhersage

**Knufinke:**  
Bodensenkungen über einem stillgelegten Grubenfeld

**Schäfer:**  
Kirche wurde durch bergbauliche Einwirkungen 20 cm länger

**Neumann und Regelman:**  
Abbaugeschwindigkeit und Schäden an der Tagesoberfläche

**Jahrgang 102 (1995) · Heft 2  
Verlag Glückauf GmbH · Essen**

ing to the topological relation of a polygon. Also the database files for the calculation and management of ore output are produced. First, the DXF file of ore body boundary lines is produced. Then processing such as reading from file, calculating node points and, line segment break down are carried out. Finally, to form the boundary data of the polygon, these database files of the topological relation of the ore body boundary lines are established interactively. The ore boundary lines are displayed in figure 5.

The structure of these polygon database files are shown in table 2 to 4.

Through processing above three database files, the boundary point coordinates of every polygon can be calculated, thus, the area of this polygon can be calculated. In ore output calculation, the planimeter or the digitizer does not need to be used in area calculation. The automatic calculation and management of ore output is realized.

## Conclusion

The ore body boundary line automatic calculation and drawing in geological surveying and mapping of underground mines is the key problem in the realization of automatic management of geological and survey information. In this paper, the problem is solved by better use of artificial intelligence techniques. Dynamic modification of geological plans and sectional drawings, ore body boundary line abstraction and topological database establishment are also very important problems in graphic data processing. The research results in this article have a great reference value in similar systems.

During the research work, we received much help from our cooperating units such as the Mine Industry Cooperation, the Mine Design and Research Institute of Wuhan Iron & Steel Community and Daye Mine. Here we give our hearty thanks.

Table 2. Polygon registration file.

| Exploration line no.<br>(or level no.) | draft no. | geological<br>attribute | including<br>relation |
|----------------------------------------|-----------|-------------------------|-----------------------|
| Z020 .....                             | 1         | Fe <sub>1</sub>         | 1                     |
| Z020 .....                             | 5         | SK <sub>1</sub>         | 2                     |
| etc.                                   |           |                         |                       |

Table 3. Segment registration file.

| Exploration<br>line no.<br>(or level no.) | segment<br>no. | left draft<br>no. | right draft<br>no. | start point<br>no. | end point<br>no. |
|-------------------------------------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Z020 .....                                | 1              | 0                 | 2                  | 1                  | 9                |
| Z020 .....                                | 3              | 0                 | 2                  | 28                 | 36               |
| etc.                                      |                |                   |                    |                    |                  |

Table 4. Coordinate file.

| Point no. | exploration line no.<br>(or level no.) | X        | Y        | Z      | type |
|-----------|----------------------------------------|----------|----------|--------|------|
| 1 .....   | Z020                                   | 45826.20 | 84729.30 | -20.00 | node |
| 2 .....   | Z020                                   | 45823.40 | 84728.40 | -20.00 |      |
| etc.      |                                        |          |          |        |      |

## References

1. Research report: Geology and survey information management system underground mine. In: *The research group of GSIMSUM, March 1993*, No. 3.
2. Classification and merge-sort principles of geological bodies in geological mapping. In: *Daye Mine, June 1991*, No. 6.
3. Jin, Guosheng: The research on graphic data processing in geology and survey information system of underground mine. In: *Master degree paper, March 1993*, No. 3.
4. Jin, Guosheng; Li, Qingquan and Zhang, Zhenglu: Research and application of graphic data processing system of geology and survey in underground mine. In: *Journal of WTUSM, 1993*, No. 8.

Joachim Menz, Andree Röttig  
und Dietmar Tzscharschuch

# Fallstudien zur Berücksichtigung von Kreuzkorrelationen bei der geostatistischen Vorhersage

## Aufgabenstellung

Im Rahmen unserer Forschungsarbeiten beschäftigen wir uns mit der Entwicklung und Untersuchung geostatistischer Verfahren zur markscheiderisch-geologischen Komplexauswertung. Die Berücksichtigung von Kreuzkorrelationen zwischen den Gebirgsparametern spielt dabei eine wichtige Rolle. In diesem Beitrag soll an Fallstudien gezeigt werden, daß sich durch die Berücksichtigung von Kreuzkorrelationen die Modellierungsergebnisse verbessern lassen.

## Auto- und Kreuzkorrelationsanalysen

In unseren Arbeiten setzen wir voraus, daß die Gebirgsparameter als schwach stationäre (Stationarität 2. Ordnung) und eventuell trend- und störgrößenbehaftete Zufallsfunktionen angesehen werden können. Beim Auftreten von Trends muß dieser vor der Durchführung der Auto- und Kreuzkorrelationsanalyse aus den Erkundungsdaten eliminiert werden.

Für die Durchführung der zweidimensionalen Auto- und Kreuzkorrelationsanalysen wurden Programme entwickelt, die

entweder auf die Vorgabe von Abstands- und Richtungsklassen orientieren [1] oder von der Definition eines Rasters zur Klasseneinteilung ausgehen [2].

In einem Rechnerlauf können jeweils 2 Gebirgsparameter, z. B. die Höhen der Hangend- und Liegendbegrenzung einer geologischen Schicht, untersucht werden. Ausgegeben werden Tabellen und graphische Darstellungen der empirischen Auto- und Kreuzkorrelationsfunktionen sowie die empirischen Streuungen, die für den Übergang zu Kovarianzen notwendig sind.

In Bild 1 wird zum Beispiel die empirische Kreuzkorrelationsfunktion (kurzgestrichelte Linie) Hangendes/Liegendes gezeigt, die aus reichlich 200 Erkundungsdaten eines Braunkohlenflözes hier für die Richtungsklassen 0°–45° (NNE) abgeleitet worden ist. An dieses für eine bestimmte Richtung ermittelte Korrelogramm wird von uns eine Funktion des Typs

$$\varrho(h) = k \exp(-\alpha|h-d|) \cos \beta(h-d) \dots \dots \dots (1)$$

mit  $\varrho \in [1, 2]$  angepaßt (Bild 1, ausgezogene Linie). Sie dient zur Berücksichtigung der Kreuzkorrelation bei der Vorhersage. Die langgestrichelten Linien in Bild 1 zeigen den Verlauf der Zufallshöchstwerte für eine statistische Sicherheit von 95 %. Nur wenn die Zufallshöchstwerte überschritten werden, ist die Kreuzkorrelation signifikant.

### Interpretation der Kreuzkorrelogramme

Die Interpretation der Kreuzkorrelogramme soll an Erkundungsprofilen erklärt werden. Zum Beispiel könnte man sich vorstellen, daß das Korrelogramm in Bild 1 aus einem nach NNE orientierten Erkundungsprofil des Kohleflözes abgeleitet worden ist.

Ideale Bedingungen für die Berücksichtigung der Kreuzkorrelation liegen vor, wenn die beiden Gebirgsparameter  $Z_1$  und  $Z_2$  im Profil das gleiche Schwingungsverhalten zeigen. In diesem Fall kann man aus der Kenntnis des Verlaufes eines Parameters auf den Verlauf des anderen schließen.

Bei gleicher Schwingungsfrequenz  $\beta$  und fehlender Phasenverschiebung  $d$  entspricht die Kreuzkorrelationsfunktion den Autokorrelationsfunktionen von  $Z_1$  und  $Z_2$ , die in diesem Idealfall ebenfalls gleich sind.

Bei  $d \neq 0$  tritt eine Phasenverschiebung zwischen den Schwingungen  $Z_1$  und  $Z_2$  auf. Ist  $d$  positiv und wird  $\varrho_{1,2}$  nach

$$\varrho_{1,2}(h) = \varrho(Z_1(s), Z_2(s+h)) \dots \dots \dots (2)$$

ermittelt, dann spricht man von Vorlauf und versteht darunter, daß  $Z_2$  mit einer Versetzung  $d$  den Schwingungen von  $Z_1$  voraus-eilt. Bei negativem  $d$  folgt dagegen  $Z_2$  den Schwingungen von  $Z_1$  im Abstand  $d$ . Man spricht von Nachlauf.

Durch  $|k|$  wird der Grad des linearen Zusammenhanges zwischen  $Z_1$  und  $Z_2$  ausgedrückt. Im Idealfall  $|k| = 1$  liegt ein hundertprozentiger linearer Zusammenhang vor, und man kann aus der Kenntnis des einen Parameters den Verlauf des anderen fehlerfrei ableiten. Diese idealen Bedingungen für die Vorhersage werden beeinträchtigt, wenn Frequenzunterschiede zwischen  $Z_1$  und  $Z_2$  auftreten. Frequenzunterschiede und Störgrößen führen zu einer Verringerung der Kreuzkorrelation.  $|k|$  verkleinert sich. Im Falle  $|k| < 1$  wird der Fehler, der gemacht wird, wenn man aus der Kenntnis von  $Z_2$  den Parameter  $Z_1$  ableiten will, um so größer sein, je mehr  $|k|$  von Eins abweicht.

Schließlich sagt das Vorzeichen von  $k$  aus, ob gleichsinniges ( $k > 0$ ) oder entgegengesetztes Schwingungsverhalten ( $k < 0$ ) vorliegt. Bei  $k < 0$  wird zum Beispiel der zweite Parameter im Abstand  $d$  im Durchschnitt in 100  $|k|$  % der Fälle über (unter) dem Mittelwert liegen, wenn der erste Parameter unter (über) dem Mittelwert lag. Bei  $k > 0$  wird dagegen der zweite Parameter durchschnittlich in 100  $|k|$  % der Fälle im Abstand  $d$  gleichgerichtet schwingen.

### Co-Kriging

Co-Kriging ermöglicht die Berücksichtigung der Kreuzkorrelation bei der geostatistischen Vorhersage [3, 4]. Auch beim Co-Kriging wird für den gesuchten Wert eines Gebirgsparameters, wie in der Geostatistik allgemein üblich, ein linearer Ansatz gewählt, wobei man in diesen Ansatz auch die Meßwerte anderer Gebirgsparameter integriert, die mit dem zu modellierenden korrelativ verbunden sind. Aus der Minimierung der Varianz unter Einhaltung der Bedingung der Erwartungstreue erhält man auch in diesem Fall ein lineares Gleichungssystem, dessen Lösungsvektor die unbekannten Gewichte im linearen Ansatz für die Berechnung des gesuchten Schätzwertes liefert.

Das lineare Gleichungssystem wird gebildet von der geränderten Kovarianzmatrix der zur Vorhersage herangezogenen Meßwerte. Sie enthält die Auto- und Kreuzkovarianzen zwischen diesen Meßwerten und ist wie der Kovarianzvektor, die rechte Seite des Gleichungssystems, erweitert um die Bedingungen zur Gewährleistung der Erwartungstreue. Im Kovarianzvektor auf der rechten Seite stehen die Auto- und Kreuzko-

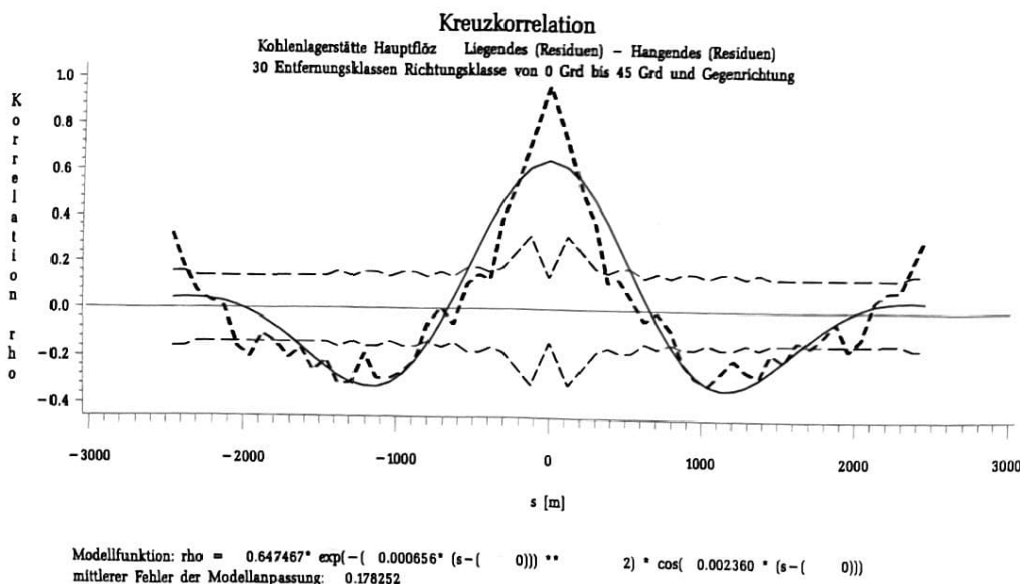


Bild 1. Kreuzkorrelationsfunktion Hangendes Liegendes in Richtung NNE, Braunkohlenflöz.

varianzen, die sich zwischen den Meßstellen und der Vorhersagestelle bilden lassen. Der Lösungsvektor enthält die Kriginggewichte und die LAGRANGESchen Multiplikatoren zur Integration der Bedingungen der Erwartungstreue.

Auch im Algorithmus zur Berechnung der Schätzvarianz treten beim Co-Kriging keine Unterschiede auf. Sie ergibt sich wie üblich aus der Streuung des vorherzusagenden Parameters, vermindert um die Streuung seines Störgrößenanteils und um das Skalarprodukt aus Lösungsvektor und rechter Seite des linearen Gleichungssystems.

Für die Benutzung des Co-Krigings in der hier dargestellten Weise wurden im Rahmen unserer Forschungsprogramme entwickelt, die darüber hinaus auch die Berücksichtigung von Trends, Gradienten und geologischen Vorkenntnissen zulassen [5].

Bei der Aufstellung der Programme hielten wir den Übergang zu Korrelationen wegen des Ausgleichs von Maßstabs- und Dimensionsunterschieden für zweckmäßig. An dieser Stelle sei bemerkt, daß es auch für die Benutzung des Variogramms Co-Kriging-Lösungen gibt.

Bild 2. Profil eines Kaliflözes, abgeleitet aus 69 Stützwerten für das Hangende (H) und 2 Stützwerten für das Liegende (L) unter der Annahme AKF (H) = KKF (H, L). Zahlenangaben in Metern. 1 Hangendes, 2 Liegendes.

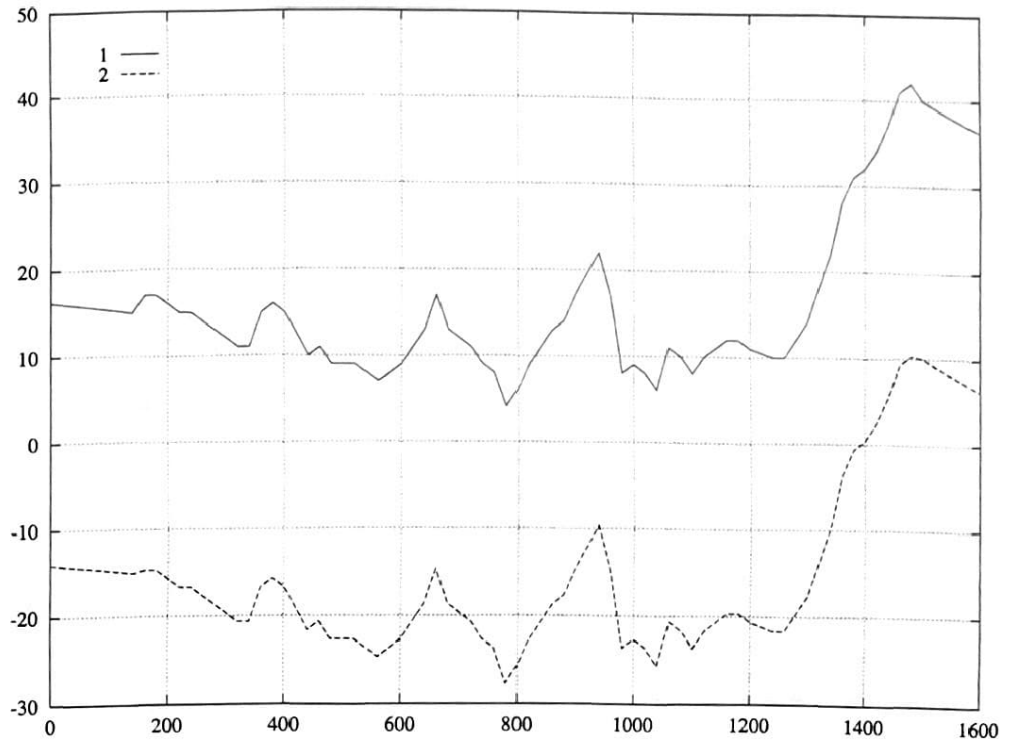
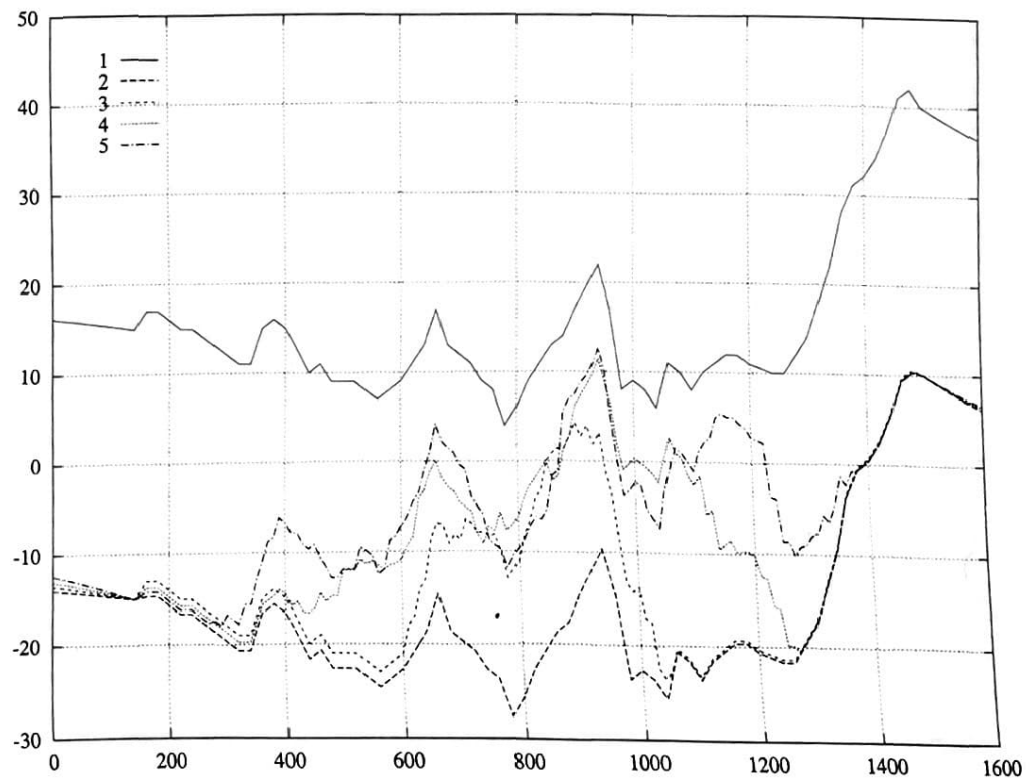


Bild 3. Profil des Kaliflözes aus Bild 2, jedoch abgeleitet unter Benutzung unterschiedlicher Einwirkungsbereiche (EWB). 1 Hangendes, 2 Liegendes mit EWB (67), 3 Liegendes mit EWB (40), 4 Liegendes mit EWB (20), 5 Liegendes mit EWB (10). In Klammern steht die Anzahl der benutzten Stützwerte im Hangenden.



# Co-Kriging bei Phasenverschiebung

Vor einer Phasenkonstante  $d \neq 0$  und damit einer asymmetrischen Kreuzkovarianzfunktion wird bei der Nutzung des Co-Kriging gewarnt. Symmetrische Kovarianzfunktionen werden als Voraussetzung für positiv definite Kovarianzmatrizen und diese wiederum als Voraussetzung für eine numerisch einwandfreie Lösung angesehen. Beim Co-Kriging auf der Basis des Kreuzvariogramms, wie z. B. in der Public-Domain-Software Geo-EAS [6], tritt das Problem der Asymmetrie nicht mehr auf.

Das Kreuzvariogramm der beiden Gebirgsparameter  $Z_1$  und  $Z_2$  ist definiert durch

$$\gamma_{12}(h) = E((Z_1(s+h) - Z_1(s))(Z_2(s+h) - Z_2(s))), \dots \dots \dots (3)$$

$\gamma_{12}(h)$  ist auch im Falle einer Phasenverschiebung ( $d \neq 0$ ) zwischen den Schwingungen von  $Z_1$  und  $Z_2$  symmetrisch [7].

In der von uns entwickelten Software [5] wird mit Auto- und Kreuzkorrelationsfunktionen gearbeitet. Bei  $d \neq 0$  kann aber durch eine Verschiebung der Lagekoordinaten des kreuzkorre-

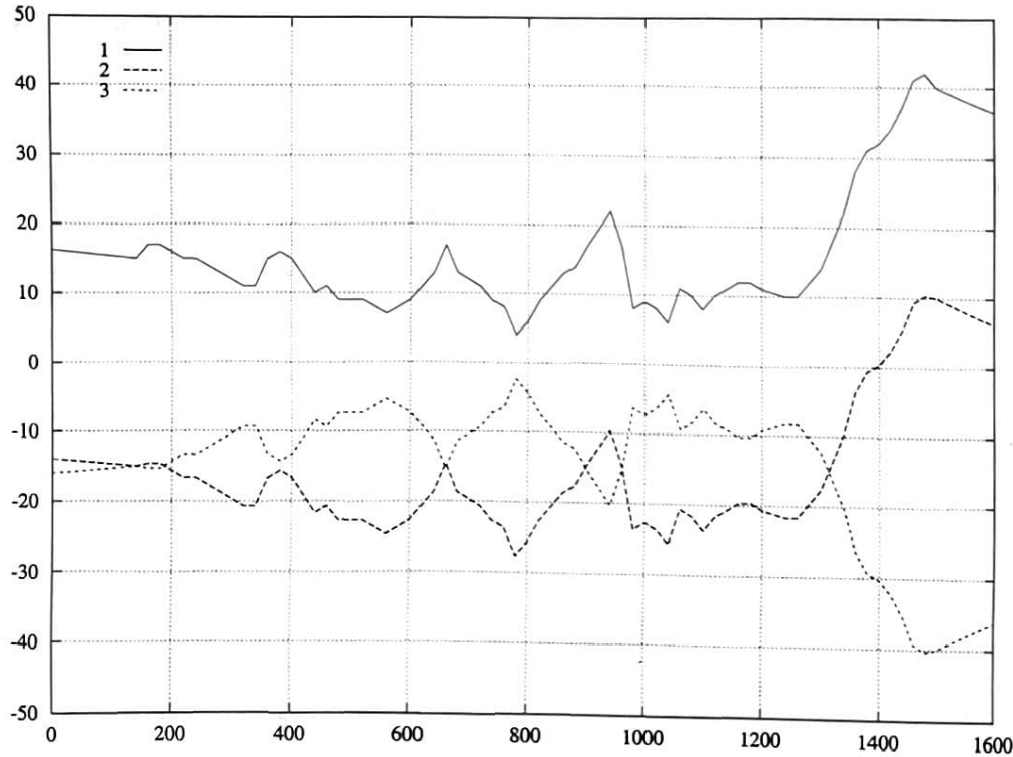


Bild 4. Profil des Kaliflözes aus Bild 2.

- 1 Hangendes
- 2 Liegendes mit EWB (67) und  $k = +1$
- 3 Liegendes mit EWB (67) und  $k = -1$

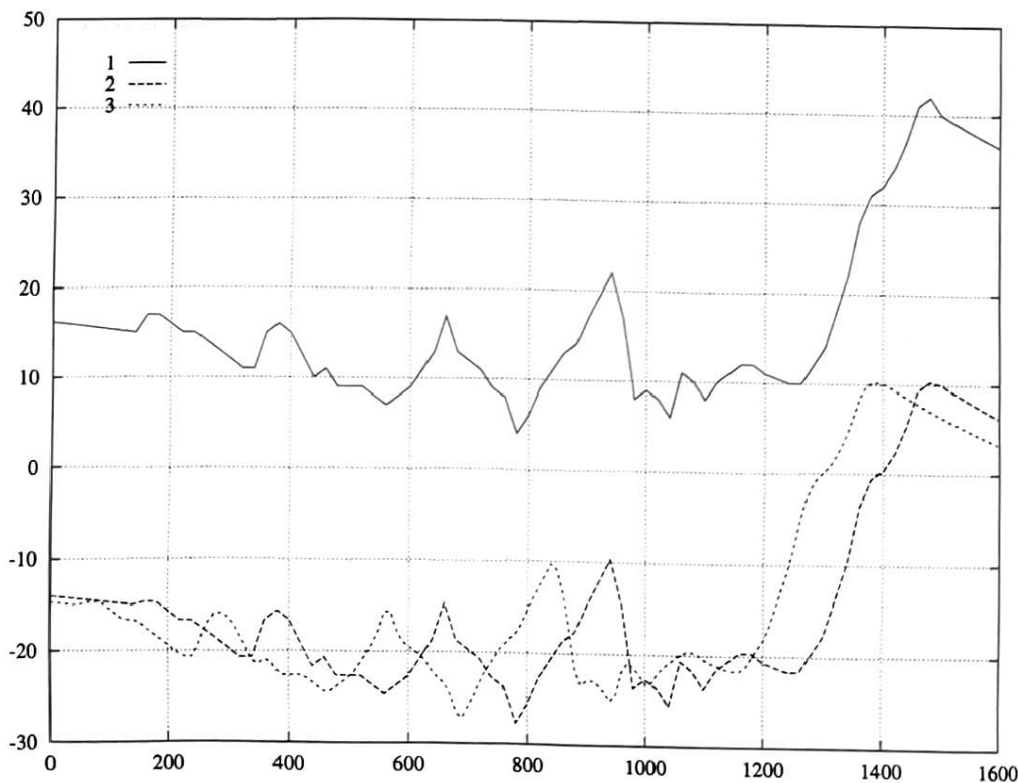


Bild 5. Profil des Kaliflözes aus Bild 2.

- 1 Hangendes
- 2 Liegendes mit EWB (67) und  $d = 0$  m
- 3 Liegendes mit EWB (67) und  $d = 95$  m  
(Vorlauf: H eilt um 95 m versetzt L voraus.)

lierten Gebirgsparameters  $Z_2$  um  $d$  die Bedingung der Symmetrie ( $d = 0$ ) vor der Vorhersage hergestellt werden. Ob diese Bedingung tatsächlich erfüllt werden muß, werden weitere Forschungsarbeiten zeigen. In unseren Fallstudien, die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden, führten beispielsweise auch asymmetrische Kreuzkorrelationsfunktionen ( $d \neq 0$ ) ohne vorherige Koordinatentransformation zu einwandfreien Vorhersagen.

Wir sind der Ansicht, daß sich die Auto- und Kreuzkorrelationsfunktionen gut interpretieren lassen. Zum Beispiel werden so wichtige Informationen wie Phasenverschiebungen  $d$  sofort erkannt.

Aus diesem Grund und wegen der Berücksichtigung von Gradienten bei der geostatistischen Vorhersage werden sie von uns bevorzugt. Dabei nehmen wir in Kauf, daß die durch die intrin-

sische Stationarität definierte Klasse geeigneter Modelle für die Anwendung geostatistischer Vorhersagen auf die Klasse der Stationarität 2. Ordnung eingeschränkt wird. Bei der intrinsischen Stationarität, der üblichen Hypothese bei geostatistischen Vorhersagen, verlangt man Translationsinvarianz vom Variogramm und bei der Stationarität 2. Ordnung Translationsinvarianz von der Kovarianzfunktion. In beiden Fällen setzt man einen konstanten Erwartungswert voraus [3, 4, 7].

### Fallstudien an Erkundungsprofilen

Für die Untersuchung der von uns entwickelten Software [5] wurden die Daten der Unter-Tage-Bohrungen eines Kaliflözes aus einem 1,4 km langen Streckenabschnitt ausgewählt. Im Abstand von ca. 20 m lieferten sie Angaben zur Höhe der Han-

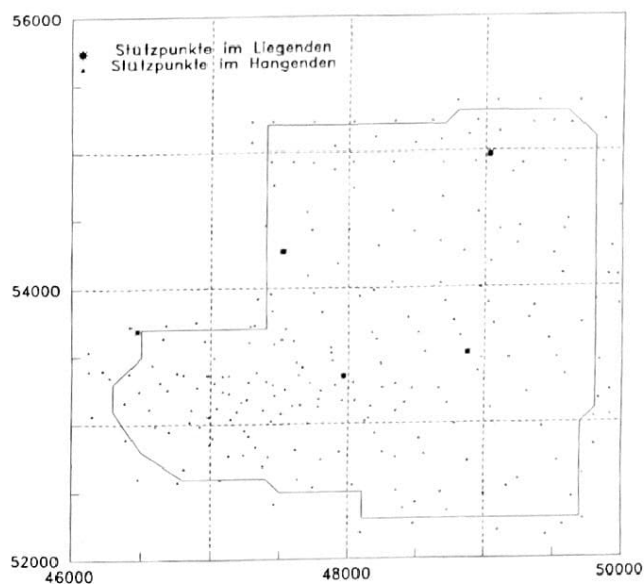


Bild 6. Braunkohlenflöz, Bohrpunktriß, 228 Stützpunkte im Hangenden (H), 5 Stützpunkte im Liegenden (L). Zahlenangaben in Metern.

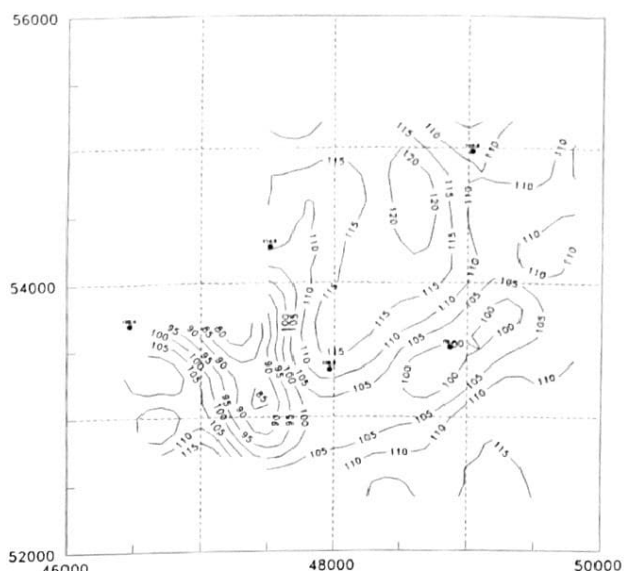


Bild 8. Höhenlinien – Liegendes aus 233 Stützpunkten, Vergleichskarte. Zahlenangaben in Metern.

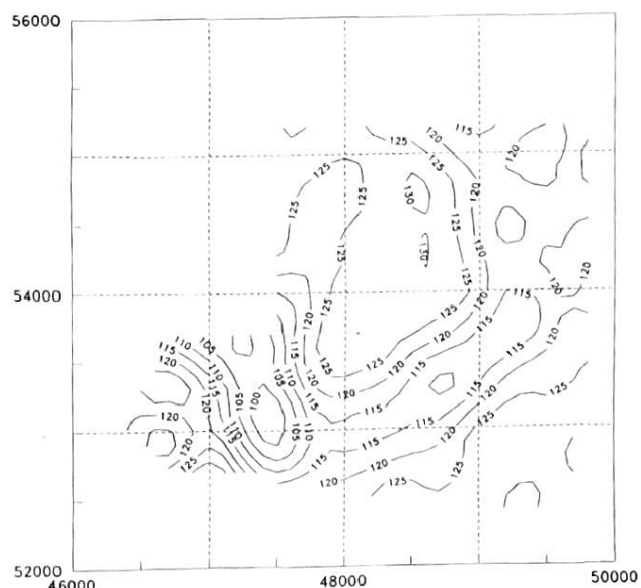


Bild 7. Höhenlinien – Hangendes aus 233 Stützpunkten. Zahlenangaben in Metern.

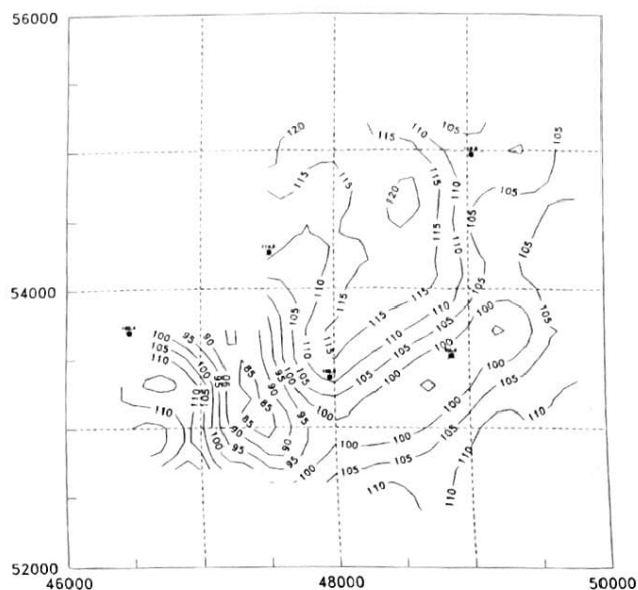


Bild 9. Höhenlinien – Liegendes, abgeleitet aus den in Bild 6 dargestellten Stützpunkten unter Benutzung des Co-Kriging. Zahlenangaben in Metern.

gendbegrenzung, deren Verlauf durch die ausgezogene Linie 1 in den Bildern 2 bis 5 dargestellt wird.

Bei der Untersuchung wird davon ausgegangen, daß das Liegende des Kaliflözes lediglich durch je einen Stützwert an den Enden des ca. 1,4 km langen Streckenabschnittes erfaßt wird. Es wird vorausgesetzt, daß es dieselben Schwingungen wie das Hangende ausführt und daß somit die Kreuzkorrelationsfunktion bis auf eine Phasenverschiebung  $d$  mit den Autokorrelationsfunktionen übereinstimmt. Unter dieser Voraussetzung wird erwartet, daß über Co-Kriging ein Verlauf für das Liegende vorhergesagt werden kann, der in seinem Schwingungsverhalten mit einer seitlichen Versetzung von  $d$  dem des Hangenden entspricht. Die Versetzung in der Höhe wird durch die Stützwerte an den Rändern festgelegt.

In Bild 2 wird durch die unterbrochene Linie 2 der vorhergesagte Verlauf des Liegenden gezeigt, wenn beim Co-Kriging mit  $d = 0$ , keine Phasenverschiebung, gearbeitet wird.

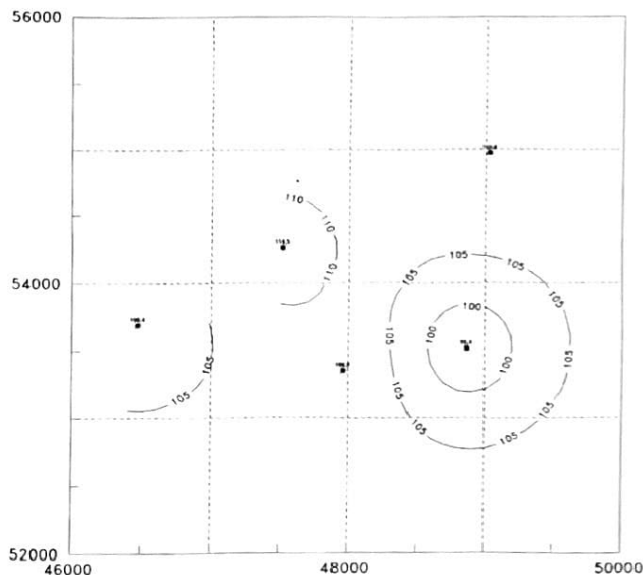


Bild 10. Höhenlinien – Liegendes, abgeleitet nur aus den 5 Stützwerten des Liegenden. Zahlenangaben in Metern.

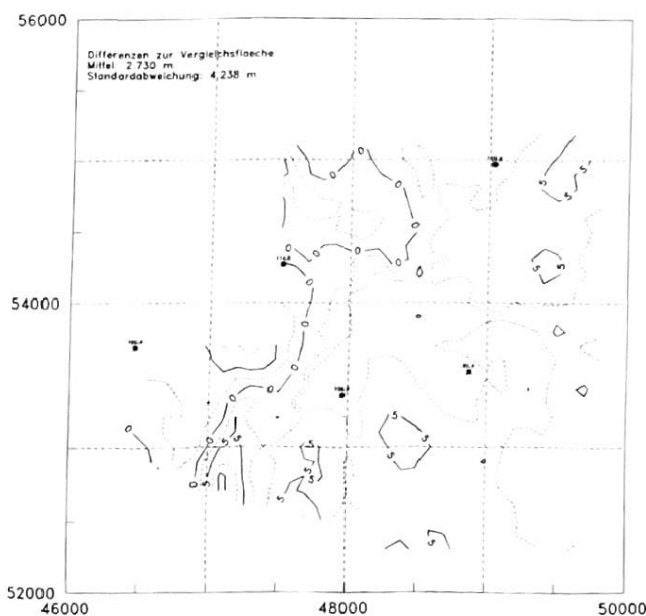


Bild 11. Isolinen der Differenzen zwischen Bild 8 und Bild 10. Zahlenangaben in Metern.

Mit Bild 3 soll demonstriert werden, daß man bei der Vorhersage durch Co-Kriging sehr darauf achten muß, daß der volle Schwingungsverlauf des korrelierten Gebirgsparameters zwischen den Stütz- bzw. Paßpunkten eingefangen wird. Das heißt, im Programm müssen alle Meßpunkte des korrelierten Gebirgsparameters, die zwischen den Paßpunkten liegen, berücksichtigt werden können, was mit der von uns entwickelten Software [5] möglich ist. Nur die unterbrochene Linie 2 erfüllt diese Bedingung. Alle 67 Meßpunkte umfaßt der gewählte Einwirkungsbereich. Die Linien 3 bis 5, die mit immer kleiner werdendem Einwirkungsbereich abgeleitet worden sind, zeigen eine systematische Verschlechterung der Vorhersagen.

In Bild 4 werden die Vorhersagen für gleichsinnige ( $k=1$ ) und ungleichsinnige Kreuzkorrelation ( $k=-1$ ) durch die unterbrochenen Linien 2 und 3 dargestellt. Auch in diesem Fall sind einwandfreie Vorhersagen möglich.

In Bild 5 wird schließlich durch die unterbrochenen Linien 2 und 3 demonstriert, wie sich die Vorhersagen bei  $d=0$  m und  $d=95$  m unterscheiden. Die Benutzung einer asymmetrischen Kreuzkorrelationsfunktion führte zu keinerlei Schwierigkeiten bei der Vorhersage. Auch die Schätzvarianzen liegen in der erwarteten Größenordnung und sind positiv. Ähnliche Untersuchungsergebnisse lieferten auch zweidimensionale Vorhersagen, die mit den Daten des folgenden Fallbeispiels durchgeführt worden sind. Auf ihre graphische Darstellung wird hier verzichtet.

### Vorhersage des Liegenden eines Braunkohlenflözes durch Co-Kriging

Im zweidimensionalen Fall wurde das Verfahren an der Vorhersage des Liegenden eines Braunkohlenflözes untersucht. Aus der bohrtechnischen Erkundung standen insgesamt 233 Stützwerte für das Hangende und Liegende zur Verfügung. Bild 6 zeigt die Anordnung der Bohrungen im Grundriß. Aus den Erkundungsdaten konnten mit Ordinary Kriging die in Bild 7 und 8 dargestellten Höhenlinienpläne für das Hangende und Liegende abgeleitet werden.

In Bild 9 wird nun eine Höhenlinienkarte für das Liegende gezeigt, die durch Co-Kriging abgeleitet worden ist. Dazu wurden lediglich die 5 Stützpunkte im Liegenden herangezogen, die durch einen Stern in den Bildern 6 und 8 bis 11 markiert worden sind.

In Bild 10 wird gezeigt, welchen Beitrag diese 5 Stützpunkte allein zum Schwingungsverhalten des Liegenden liefern würden. Der entscheidende Beitrag zur Variabilität des Liegenden und damit zur Verbesserung der Vorhersage wird über die Kreuzkorrelation Hangendes–Liegendes eingebracht, wie der Vergleich der Bilder 9 und 10 zeigt.

In Bild 11 werden schließlich die Differenzen zwischen den Bildern 8 und 9 dargestellt, die eine Aussage über die Genauigkeit des Co-Krigings in der vorliegenden Fallstudie zulassen. Die Vorhersage durch Co-Kriging wurde im vorliegenden Fall wieder unter der Annahme Kreuzkorrelationsfunktion gleich Autokorrelationsfunktion Hangendes durchgeführt, weil die Auto- und Kreuzkorrelationsanalysen auf keine signifikanten Abweichungen von dieser idealen Bedingung hinwiesen.

### Zusammenfassung

An Fallstudien wird gezeigt, daß die Berücksichtigung von Kreuzkorrelationen zwischen den Gebirgsparametern die Vorhersagen verbessert. Bei der Anwendung von Co-Kriging ist darauf zu achten, daß der volle Schwingungsverlauf der korrelierten Parameter, der durch die Meßpunkte zwischen den Paßpunkten erfaßt wird, auch in die Vorhersagen eingeht.

## Quellennachweis

1. Tzscharschuch, D.: *Programm zur Berechnung von Schätzwerten der Auto- und Kreuzkorrelationsfunktionen oder der entsprechenden Kovarianzfunktionen für raumbezogene Daten*. Nutzerdokumentation, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, 1993.
2. Tonn, F.: *Programme zur geostatistischen Simulation*. Nutzerdokumentation, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, 1993.
3. Cressie, N.A.C.: *Statistics for Spatial Data*. New York, Chichester, Toronto, Brisbane, Singapore: John Wiley & Sons, INC, 1991.
4. Isaaks, E.H., und Srivastava, R.M.: *Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989.
5. Menz, J., und Röttig, A.: *Verallgemeinertes universelles Co- und Gradienten-Kriging mit Filterung*. Programmdokumentation, Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, 1994.
6. Geo-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) *User's Guide*, Nevada: Environmental Monitoring System Laboratory, Las Vegas, 1993.
7. Dutter, R.: *Geostatistik. Eine Einführung mit Anwendungen. Mathematische Methoden in der Technik*, Band 2, Stuttgart: B. G. Teubner Verlag, 1985.

Paul Knufinke

## Bodensenkungen über einem stillgelegten Grubenfeld

Nach fast einhundertjähriger Steinkohlengewinnung wurde im östlichen Ruhrgebiet die Förderung eines Bergwerks eingestellt. Schon drei Jahre vorher war eine Teilstillegung des Altfeldes erfolgt, in dem in insgesamt vierzehn Flözen mit Mächtigkeiten zwischen 0,8 m und 3,1 m im Bruchbau oder mit Vollversatz in Tiefen von -155 m NN bis -1060 m NN Abbau umgegangen war. Über Tage hatte sich dadurch eine geschlossene Senkungsmulde mit einem maximalen Senkungstiefsten von nahezu 10 m gebildet.

Bereits vor der Zechenstilllegung wurde die einheitliche und langdauernde Nutzung einer ca. 141 ha großen Fläche, im folgenden Planungsareal genannt, mitten über dem Altfeld des Bergwerks beschlossen. Das in Betracht stehende Gelände ist flachwellig und fällt in nördlicher Richtung von rd. 90 m auf rd. 60 m über Normalnull ab.

Im Rahmen des städtischen Hauptnivelements mit Anschluß an das im Zweijahresrhythmus jeweils im Frühjahr durchgeführte Leitnivelement fanden auch nach der Beendigung des Abbaus regelmäßig Höhenbeobachtungen im Bereich des Planungsareals und seiner Umgebung statt. Dabei stellte sich heraus, daß noch sechs bis acht Jahre nach der erfolgten Stilllegung Senkungen geringeren Ausmaßes über dem Altfeld eintraten. Diese Tatsache wurde von Fachfremden als Beweis für anhaltende bergbauliche Einwirkungen lange Jahre über das Abbauende hinaus angeführt. Vermutungen gingen dahin, daß über alten Baufeldern des tiefen Steinkohlenbergbaus immer mit auf unbestimmte Zeit andauernden Bodensenkungen an der Oberfläche und entsprechenden Einwirkungen auf bauliche Objekte zu rechnen sei.

Nach einer ersten Sichtung der mitgeteilten Meßergebnisse zeigte sich folgendes Bild:

In einem Höhenverzeichnis waren die Höhen von 21 Höhenfestpunkten mit einer Beschreibung der Punktlagen vorwiegend in enger Nachbarschaft am Südrand des Planungsareals aufgeführt. Die Höhenangaben erfolgten mit Millimetergenauigkeit und stammten aus sechs Meßepochen. Sie umfaßten einen Zeit-

raum von zehn Jahren. Als Mittelwerte aller Höhendifferenzen ergaben sich für die jeweiligen Zweijahresintervalle zwischen den Meßepochen in der zeitlichen Reihenfolge nachstehende Senkungsbeträge: 24 mm, 14 mm, 7 mm, 9 mm, 13 mm. Die einzelnen Höhendifferenzen schwankten zwischen -3 mm und -46 mm. Aus diesen Daten allein ließ sich keine eindeutige Tendenz in der Senkungsentwicklung ableiten und wegen der ungünstigen Lageverteilung der Punkte auch keine Zuordnung zu dem früher stattgefundenen Abbau im Altfeld vornehmen.

Angesichts der relativ geringen Punktbewegungen sind zuerst Überlegungen zur Größenordnung der Meßergebnisse anzustellen. Die Genauigkeit der aus Feinnivellements bestimmten Punkthöhen oder gar der nach Wiederholungsnivellements beim Höhenvergleich festgestellten Höhendifferenzen wird leicht überschätzt. Eine zu optimistische Beurteilung solcher Meßergebnisse beruht im allgemeinen auf der tatsächlich erreichbaren hohen inneren Genauigkeit des geometrischen Nivellements, die sich als Standardabweichung der zufälligen Fehler in der Regel für 1 km Nivellement zu Vergleichszwecken ausdrücken läßt. Dabei bleibt die äußere Genauigkeit unberücksichtigt, die hauptsächlich von der gegenseitigen Lagerung der Höhennetze aller einzelnen Meßepochen und damit in erster Linie von der Stabilität der Anschlußpunkte abhängt [1]. In den vom Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen vorgenommenen Untersuchungen ist bei Wiederholungsmessungen zur Durchführung von Höhendeformationsanalysen eine im Vergleich mit der hohen inneren Genauigkeit überraschend geringe äußere Genauigkeit der Feinnivellements festgestellt worden. Ein signifikanter Nachweis von Höhenänderungen beim Höhenvergleich ist danach erst bei Höhendifferenzen von mehr als 5 mm bis 10 mm möglich [2].

Unter Beachtung der vorstehenden Erkenntnis wird für die kritische Beurteilung der im vorliegenden Fall beobachteten

<sup>1</sup>Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf den Quellennachweis am Schluß des Aufsatzes.