

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Fragestellungen	2
1.3 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes	3
1.4 Aufbau und Struktur der Arbeit	3
2 Geologie des Arbeitsgebietes Berlin	7
2.1 Überblick	7
2.2 Strukturelle Einordnung – Geomorphologie	8
2.3 Geologische Einheiten	10
2.3.1 Übersicht	10
2.3.2 Quartär	11
2.3.2.1 Pleistozän	11
2.3.2.1.1 Elster	11
2.3.2.1.2 Holstein	11
2.3.2.1.3 Saale	12
2.3.2.1.4 Eem	12
2.3.2.1.5 Weichsel	13
2.3.2.2 Holozän	13
2.4 Geologie des zentralen Bereiches von Berlin	13
2.5 Fazit	17
3 Terminologie und Grundlagen der Geostatistik	19
3.1 Überblick	19
3.2 Theorie der regionalisierten Variablen	20
3.3 Die Hypothesen der Stationarität und Ergodizität	21
3.3.1 Stationarität	21
3.3.1.1 Strenge Stationarität	21
3.3.1.2 Stationarität zweiter Ordnung	22
3.3.1.3 Intrinsische Hypothese	23
3.3.2 Ergodizität	24
3.4 Ziele und Methoden geostatistischer Verfahren	25
3.5 Geostatistische Schätzverfahren	27
3.5.1 Ablauf einer geostatistischen Schätzung	27
3.5.2 Experimentelle Variographie	28
3.5.3 Theoretische Variographie	30

3.5.4	Ordinary Kriging	33
3.5.5	Weitere Kriging-Verfahren	37
3.5.6	Beispiel 1: Schätzung aus drei Punktwerten	37
3.5.7	Beispiel 2: Schätzung von Oberflächen und deren Stapelung	41
3.6	Kenntnisstand	42
3.6.1	Anwendung geostatistischer Methoden	42
3.6.2	Baugrundmodellierung mittels geostatistischer Methoden	44
3.6.3	Einfluss des Benutzers bei der geostatistischen Modellierung	46
3.7	Fazit	47
4	Theoretische Aspekte von geostatistischer Schätzung und baugeologischer Modellierung	51
4.1	Überblick	51
4.2	Stochastische und deterministische Prozesse	52
4.3	Charakteristika geologischer Prozesse	55
4.4	Bedeutung der Stationaritätshypothese	60
4.5	Modellierung und Modellbegriff	64
4.5.1	Modellierungsansätze	64
4.5.2	Erkundung und Modellierung natürlicher Systeme als Erkenntnisprozess	66
4.5.3	Prinzipien geowissenschaftlicher Modellierung	68
4.5.4	Ziele der Modellierung und Verwendung des Modells	70
4.5.5	Modellbegriff und -bedeutung in den Geowissenschaften	72
4.5.6	Modellbegriff und -bedeutung in der Geostatistik	74
4.6	Unsicherheiten in der geologischen Modellbildung	76
4.6.1	Klassifikation der Unsicherheiten	76
4.6.2	Die Erfassbarkeit der natürlichen Variabilität	79
4.7	Modellkomplexität und Einfluss des Anwenders	79
4.8	Fazit	83
5	Der Einsatz der Geostatistik in der Baugrundmodellierung	85
5.1	Überblick	85
5.2	Eigenschaften ingenieurgeologischer Datensätze	86
5.2.1	Die Notwendigkeit des Benutzers als steuernder Teil des Modellierungsprozesses	86
5.2.2	Das Problem der gemischten Populationen	89
5.2.3	Die eingeschränkte Repräsentanz der Stichprobe	91
5.2.4	Die Rangfolgenproblematik geologischer Modelle	98
5.3	Baugrundmodellierung	100
5.3.1	Ziel und Ablauf einer Baugrundmodellierung	100
5.3.2	Die Bedeutung der Visualisierung von Modellen	102
5.3.3	Modelltypen und Einsatz geostatistischer Methodik	104

5.3.4	Das Konzept der iterativen Modellierung	109
5.4	Einsatzmöglichkeiten und Grenzen einzusetzender Geostatistik-Software	116
5.4.1	Einsatz und Nutzen von Modellierungssystemen	116
5.4.2	Anwendung und Aufgaben geostatistischer Programmsysteme	118
5.4.3	Charakteristika geostatistischer Modelle	122
5.5	Fazit	128
6	Anforderungen an baueologische Modelle und deren Erfüllbarkeit mittels geostatistischer Verfahren	131
6.1	Überblick	131
6.2	Hauptgütekriterien naturwissenschaftlicher Modelle	132
6.3	Geostatistik als Mittel zur Gewährleistung der Intersubjektivität	135
6.4	Nebengütekriterien	141
6.4.1	Die Problemadäquatheit des Modells	141
6.4.2	Nutzen und Nutzer von Baugrundmodellen	144
6.4.3	Die Berücksichtigung geologischen Vorwissens	146
6.5	Geologische Anforderungen an das Modell	148
6.5.1	Die Modellierung von Fehlstellen	148
6.5.2	Die Gewährleistung der Überschneidungsfreiheit	150
6.5.3	Darstellung quartärer Strukturelemente	155
6.6	Fazit	158
7	Bewertung und Bewertbarkeit geostatistischer baueologischer Modelle	161
7.1	Überblick	161
7.2	Die Bewertbarkeit geologischer Modelle	162
7.3	Die Bewertung geostatistischer Modelle	165
7.4	Die Anwendung der Kriging-Varianz zur Modellbewertung	169
7.4.1	Ablauf der Berechnung	169
7.4.2	Die Anwendbarkeit der Kriging-Varianzen zur Modellbewertung	170
7.4.3	Eignung und Nutzbarkeit der Kriging-Varianzen	173
7.5	Die Anwendung der Kreuzvalidierung zur Modellbewertung	174
7.5.1	Ablauf und berechnete Parameter	174
7.5.2	Anspruch und Wirklichkeit	182
7.5.3	Eignung und Nutzbarkeit der Kreuzvalidierung	185
7.5.3.1	Die Anwendung der Kreuzvalidierung zur Ermittlung von Fehlstellen	185
7.5.3.2	Die Eignung der Kreuzvalidierung zur Homogenbereichsabgrenzung	187
7.5.3.3	Der Nutzen des Variogramms der Schätzfehler	190
7.6	Alternative Methoden der Modellbewertung – Eignung und Anwendbarkeit	192
7.7	Die Bewertung geostatistischer Modelle des zentralen Bereiches von Berlin	194
7.7.1	Vorgehensweise	194
7.7.2	Untersuchung der einzelnen geotechnischen Einheiten	195

7.7.2.1	Schluff-/Tonfolge (U1)	195
7.7.2.2	Geschiebemergel (Mg1)	198
7.7.2.3	Obere Sandfolge (S1)	202
7.7.2.4	Holozäne Folge (H)	206
7.7.2.5	Holozäne Sande (S0)	210
7.7.3	Bewertung der vorliegenden Modelle	213
7.7.4	Bewertbarkeit der Modelle	213
7.8	Fazit	214
8	Der Einfluss des Anwenders im geostatistischen Modellierungsprozess	217
8.1	Überblick	217
8.2	Der prozesseigene Wirkungsbereich	218
8.2.1	Möglichkeiten der Definition	218
8.2.2	Definition eines Wirkbereiches am Beispiel der Mg1-Folge	222
8.2.3	Wertung	229
8.3	Die Abgrenzung von Homogenbereichen	231
8.3.1	Definition des Begriffes und Ziele der Verfahren	231
8.3.2	Diskussion der Einsetzbarkeit verschiedener Verfahren	235
8.3.3	Möglichkeiten einer Kombination mit Verfahren der Geostatistik	238
8.3.4	Homogenbereichsabgrenzung an Schichtmächtigkeiten der H-Folge	241
8.3.5	Wertung	249
8.4	Geostatistische Schätzung	250
8.4.1	Variographie	250
8.4.1.1	Schrittweite, Winkelschrittweite und Toleranzkriterien	250
8.4.1.1.1	Grundlagen	250
8.4.1.1.2	Parameterstudie Toleranzkriterien (isotroper Fall – S1-Folge)	254
8.4.1.1.3	Parameterstudie Toleranzkriterien (anisotroper Fall – U1-Folge)	260
8.4.1.2	Die Bedeutung der Variogrammfunktion und ihrer Parameter	268
8.4.1.3	Die Auswahl der Variogrammfunktion	273
8.4.1.4	Einsatz einer automatischen Variogrammanpassung	275
8.4.1.5	Einfluss geänderter Variogrammparameter auf das Modellergebnis	288
8.4.2	Kriging	294
8.4.2.1	Auswahl des Schätzverfahrens	294
8.4.2.2	Suchbereich der Schätzung	297
8.5	Fazit	307
9	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	311
9.1	Zusammenstellung der verwendeten Methoden	311
9.2	Zusammenfassung der Ergebnisse	312
9.3	Ergebnisse der Kapitel und Erkenntnisgewinn	313
9.4	Einordnung der Arbeit	319

9.5	Empfehlungen für die Praxis	320
9.6	Empfehlungen für weitere Untersuchungen	322
9.7	Ausblick	323
Literaturverzeichnis		325
Abbildungsverzeichnis		379
Tabellenverzeichnis		389
Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole		391
Anhang		395
Anhang A Zusammenstellung der verwendeten Aufschlüsse		395
Anhang B Bearbeitungsschema im Rahmen der praktischen Untersuchungen		397
Anhang C Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse „U1-Folge“ aus Abs. 8.4.1.1.3		399