

Inverse Analyse für geotechnische Fragestellungen in der Planung

Jörg Meier, Gruner AG

In der Geotechnik findet eine Vielzahl von empirischen, analytischen und numerischen Modellierungsverfahren tägliche Anwendung. Die Spanne solcher „Vorwärtsrechnungen“ reicht von einfachen Dreisätzen, über Stabstatiken bis hin zu numerischen Simulationen. Die Entwicklung der letzten Jahre und Jahrzehnte zeigt, dass insbesondere an die numerischen Verfahren - wie beispielsweise der "Finiten Elemente Methode" - immer höhere Erwartungen und Anforderungen gestellt werden, was sowohl den Umfang, die Komplexität, als auch die Realitätsnähe betrifft.

Gleichzeitig stellt sich sowohl bei empirischen, analytischen, als auch verstärkt bei numerischen Methoden die Frage nach den anzuwendenden Parameterwerten. Für numerische Methoden sind nicht nur möglichst realistische konstitutive Modelle und die Vielzahl der damit verbundenen Modellparameter auszuwählen, sondern auch weiterhin geometrische Eigenschaften, initiale Zustände und Randbedingungen. Diesen Größen sollte ein möglichst realistischer Wert zugewiesen werden, da die Korrektheit und Genauigkeit der Eingangsparameter signifikant die Realitätsnähe und Zuverlässigkeit der Berechnungsergebnisse bestimmt. Problemstellungen mit mehr als 10 Unbekannten sind somit nicht ungewöhnlich.

Neben den Möglichkeiten (1) des Rückgriffs auf ungenaue Erfahrungswerte oder (2) einer kostenintensiven und nicht immer realisierbaren direkten Bestimmung im Gelände bzw. im Labor bietet sich hier (3) die inverse Bestimmung der relevanten Modellparameter auf der Basis von Messwerten an. Grundidee dieser Rückrechnung von Modellkennwerten ist, dass die benötigten Parameterwerte dann vorhanden sind, wenn bei gleichen Aktionen bzw. Beanspruchungen in der Natur, als auch im numerischen Modell, möglichst identische Systemantworten eintreten.

In der Praxis hat sich für die Rückrechnung von Modellparametern der sog. „direkte Ansatz“ bewährt, bei dem die Vorwärtsrechnung unverändert genutzt wird: Die Vorwärtsrechnung wird vielfach mit unterschiedlichen Parametersätzen ausgeführt und die Berechnungsergebnisse jeweils mit den Messwerten aus der Realität verglichen. Dieser Vergleich findet i.d.R. auf der Basis eines „Gütwertes“ (Zielfunktionswert) statt, der die Abweichung zwischen Realität und Simulationsergebnis als eine Gleitkommazahl ausdrückt: je kleiner der Wert des Zielfunktionswertes ist, desto besser ist die Übereinstimmung. Um eine aufwändige händische Suche nach den minimalen Zielfunktionswert zu vermeiden, kommen sog. mathematische Optimierungsalgorithmen zum Einsatz, die diese Suche automatisieren.

Bei dem Design von geotechnischen Bauwerken, wie z. B. Baugrubenabschlüssen stellt sich häufig eine weitere Frage, die mit einem analogen Ansatz behandelt werden kann: Vorausgesetzt, alle konstitutiven Kennwerte sind bekannt (z.B. durch eine vorgängige Rückrechnung), sind Design-Parameter festzulegen, wie im Falle eines Baugrubenabschlusses die Ansatztiefe und Neigung der einzelnen Rückverankerungslagen. Häufig erlaubt eine geschickte Wahl dieser Design-Parameter signifikant Kosten zu reduzieren, wie beispielsweise durch die Einsparung eines Teils der ansonsten notwendigen Anker. Auch hier kann mittels Optimierungsalgorithmen versucht werden, günstige Werte für diese Design-Parameter zu finden, die zu minimalen Kosten führen. Naheliegender können hier die Kosten des resultierenden geotechnischen Bauwerks direkt als zu minimierende Zielgrösse verwendet werden.

In der Literatur ist die Beschreibung einer Vielzahl von Optimierungsalgorithmen verfügbar. In der Praxis wird – neben anderen – häufig der von Eberhard und Kennedy entwickelte Partikel-Schwarm-Optimierer (PSO) verwendet. Dieses populationsbasierte Optimierungsverfahren leitet die Grundprinzipien seiner Arbeitsweise hauptsächlich aus den Verhaltensstrategien der belebten Natur ab. Die grundlegende Arbeitsweise des PSO kann als Nachbildung eines Schwarms mit einer endlichen Anzahl von punktförmigen und kollisionsfreien Individuen (Partikel) aufgefasst werden, die sich innerhalb des durch die n Parameter aufgespannten n -dimensionalen Parameterraums bewegen. Durch eine Kommunikation zwischen den Partikeln findet eine indirekte Bestimmung der Richtung der Suche jedes einzelnen Individuums statt. Somit kann dieser Algorithmus auf eine explizite Bestimmung des Gradienten verzichten. Entsprechend ist dieses Verfahren als sehr robust, performant und wenig anfällig gegenüber kleineren Störungen in der Verteilung der Zielfunktionswerte im Parameterraum (Zielfunktionstopologie) einzustufen.

In dem Beitrag werden ausgehend von einer kurzen Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen der Parameterrückrechnung mithilfe mathematischer Optimierungsverfahren zwei Praxisbeispiele näher beschrieben. Weiterhin wird die Nutzung von Optimierungsverfahren für die Kostenminimierung von rückverankerten Baugrubenabschlüssen demonstriert.

