

Kandidat

Matthias Steiner

Prüfer

Prof. Dr. Adrián Flores Orozco

Prof. Dr. Andreas Kemna

Prof. Dr. Frédéric Nguyen

Titel der Dissertation

The joint inversion of seismic refraction and electrical resistivity data: A quantitative approach to estimate hydrogeological parameters in an imaging framework

Kurzfassung

Im Rahmen von umweltbezogenen bzw. ingenieurtechnischen Untersuchungen werden die Eigenschaften des Untergrunds traditionell mit direkten Messmethoden erfasst. Jedoch sind die gewonnenen Daten in ihrer räumlichen Auflösung begrenzt, da direkte Untersuchungen meist nur punktuell durchgeführt werden können (z.B. in Bohrlöchern). Im Gegensatz dazu sind geophysikalische Methoden in der Lage, Informationen über die Beschaffenheit des Untergrunds in nicht-invasiver Weise und mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu bestimmen, und haben sich daher als geeignete Ergänzung von direkten Methoden erwiesen.

Die elektrische Widerstandstomographie (electrical resistivity tomography; ERT) und die seismische Refraktionstomographie (seismic refraction tomography; SRT) sind in der Lage Veränderungen der hydrogeologischen bzw. chemischen Eigenschaften des Untergrunds zu detektieren und werden daher häufig für oberflächennahe Untersuchungen eingesetzt.

Die petrophysikalisch gekoppelte Inversion (petrophysical joint inversion; PJI) der komplementären ERT- und SRT-Daten ist ein geeignetes Verfahren für die direkte quantitative Bestimmung relevanter Untergrundeigenschaften (z.B. hydrogeologische Parameter). Jedoch erfordert die Anwendung solcher PJI-Verfahren eine adäquate Parametrisierung des zugrundeliegenden petrophysikalischen Modells, die wiederum von Unsicherheiten betroffen sein kann.

Daher untersucht diese Arbeit die Möglichkeit, strukturelle und petrophysikalische Randbedingungen in der petrophysikalisch gekoppelte Inversion zu berücksichtigen, um konsistente Untergrundmodelle zu erhalten.

Die Resultate dieser Arbeit erzielten Resultate lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- (i) die Verwendung eines Porositätsmodells als Randbedingung in der PJI kompensiert einen etwaigen geringen Kontrast in den physikalischen Eigenschaften verschiedener Untergrundmaterialien und kann darüber hinaus als zeitliche Randbedingung fungieren;
- (ii) der frequenzabhängige Effekt der Oberflächenleitfähigkeit kann im Zuge der PJI basierend auf Leitfähigkeitsmessungen bei einer hohen und einer niedrigen Frequenz berücksichtigt werden;
- (iii) das erweiterte PJI-Verfahren ermöglicht die quantitative Bestimmung hydrogeologischer Parameter in unterschiedlichen Untersuchungsgebieten, z.B. gefrorener Untergrund in alpinen Regionen, Deponien, Hangrutschungen und ungestörte natürliche Sedimente.

Die Kombination dieser komplementären geophysikalischen Methoden ist ein gängiger Ansatz, um den Einfluss von Unsicherheiten bzw. Fehler im Zusammenhang mit der Datenerfassung, -verarbeitung und -inversion auf die Ergebnisse zu vermindern.

Das sorgfältige Prozessieren der geophysikalischen Daten ist von zentraler Bedeutung, um verlässliche Modelle der Untergrundeigenschaften zu erhalten.

Insbesondere die Prozessierung von ERT-Datensätzen kann basierend auf etablierten Richtlinien und Algorithmen weitestgehend automatisiert werden.

Im Gegensatz dazu handelt es sich bei der Prozessierung von SRT-Daten um einen interaktiven Vorgang, der maßgeblich von der Erfahrung der auswertenden Person beeinflusst wird und zudem oftmals den Einsatz von kommerziellen Softwarelösungen erfordert.

Dementsprechend besteht begründeter Bedarf an der Entwicklung von lizenzfreien bzw. open-source Lösungen, die transparente und automatisierte Abläufe im Zusammenhang mit der Prozessierung von SRT-Daten ermöglichen.

Bei der Inversion von geophysikalischen Daten handelt es sich um ein mehrdeutiges Problem, wodurch insbesondere die Interpretation der Inversionsergebnisse mit Unsicherheiten behaftet sein kann, die zusätzlich verstärkt werden, wenn die geophysikalischen Parameter in andere Größen umgerechnet werden (z.B. die von direkten Methoden erfassten Untergrundeigenschaften). In dieser Hinsicht ist eine verbesserte Interpretation durch die Kombination komplementärer Inversionsergebnisse möglich, jedoch setzt dies voraus, dass die durch unabhängige Inversionen erhaltenen Untergrundmodelle in sich konsistent sind.

Bei einem hohen Anteil von tonigen Sedimenten oder organischem Material ist es essentiell, dass das dem PJI-Verfahren zugrundeliegende petrophysikalische Modell den Einfluss der Oberflächenleitfähigkeit auf die beobachteten elektrischen Eigenschaften des Untergrunds berücksichtigt. Wird dieser Einfluss bei der PJI vernachlässigt, führt dies zu einer fehlerhaften quantitativen Bestimmung der hydrogeologischen Untergrundeigenschaften.

Dementsprechend wird in dieser Arbeit das eingesetzte PJI-Verfahren erweitert, um den Einfluss der Oberflächenleitfähigkeit im Zuge der Inversion, d.h., bei der Parameterschätzung, zu berücksichtigen. Dieses modifizierte PJI-Verfahren quantifiziert die Oberflächenleitfähigkeit basierend auf ERT-Daten, die bei einer niedrigen und einer hohen Frequenz gemessen werden.

(i) Entwicklung einer Softwarelösung für die Modellierung und Prozessierung von SRT-Daten basierend auf open-source python-Bibliotheken;