

Zusammenfassung

Thema dieser Dissertation ist die Weiterentwicklung, Anwendung und numerische Modellierung einer Methode zur Charakterisierung von Lagerstätten (Reservoiren) in Hinsicht auf gesteinsphysikalische Parameter. In der hier vorgestellten Methode, welche bereits in Teilen seit dem Jahre 1997 vorgeschlagen und entwickelt wurde, werden Daten mikroseismischer Ereignisse ausgelöst während Fluidinjektionen in Bohrlöchern untersucht. Solche mikroseismische Ereignisse treten häufig während Fluidinjektions- oder -extraktionsexperimenten in Bohrlöchern auf. Die seismischen Ereignisse können sich bis zu mehreren hundert Metern vom Bohrloch entfernt ereignen. Der genaue Mechanismus für das Auftreten ist bisher nicht restlos geklärt. In mehreren Studien wurde die Hypothese aufgestellt, dass Fluide einen maßgeblichen Einfluss auf die Auslösung von Mikroerdbeben haben können.

In der hier benutzten und weiterentwickelten Methode, die „Seismizitätsbasierte Reservoircharakterisierung“ (Seismicity Based Reservoir Characterization, SBRC) genannt wird, werden solche Daten hinsichtlich ihres raum-zeitlichen Ausbreitungsverhaltens analysiert. Es wird die Haupthypothese aufgestellt, dass Porendruckdiffusion ein Hauptauslösemechanismus für mikroseismische Ereignisse darstellt. Basierend auf der Poroelastizitätstheorie von Biot [1956a] werden auf Grundlage eines Diffusionsprozesses Gleichungen hergeleitet, welche erlauben, für das seismisch aktive Gesteinsvolumen in 1D, 2D und 3D hydraulische Parameter wie die hydraulische Diffusivität und Permeabilität abzuschätzen. Der Vorteil der vorgeschlagenen SBRC Methode ist, dass die hydraulischen Parameter nicht nur lokal (im Zentimeter- und Metermaßstab), sondern ihre Verteilung auf großen Skalen (im Kubikkilometerbereich) abgeschätzt werden können. Die hydraulische Diffusivität und Permeabilität sind besonders in der industriellen Nutzung von Erdöl- und Ergasspeichern, beim Fördern oder der Untertagespeicherung von Öl und Gas, bei der Nutzung geothermischer Energie, dem Lagern nuklearer Abfälle, der Vorratsbewirtschaftung von Rohstoffen und Trinkwasser, in der Bau- und Umweltindustrie aber auch für die optimale Ausnutzung von regenerativen Energieträgern von entscheidender Bedeutung.

Kernpunkt dieser Arbeit bildet die numerische Simulation des in der SBRC-Methode vorgeschlagenen Auslösemechanismus für Mikroerdbeben. Diese numerische Verifikation ist von Bedeutung für die Anwendbarkeits- und Genauigkeitsuntersuchung der SBRC-Methode. Die Methode wurde bisher lediglich auf reale Daten angewendet und wird erstmals mit dieser Arbeit numerisch überprüft. Dazu wird computergestützt die zwei- bzw. dreidimensionale, zeitabhängige Diffusionsgleichung für hydraulisch beliebig geartete Medien gelöst. Die simulierte Porendruckdiffusion wird dann dazu benutzt, mikroseismische Ereignisse auszulösen.

In der hier vorgeschlagenen Methode zur Simulation der Auslösung mikro-seismischer Ereignisse wird analog zu der Hypothese, dass sich mikro-seismische Ereignisse an Bereichen ereignen, welche durch einen kritischen Spannungszustand charakterisiert sind, ein Kritikalitätskriterium mit den Lösungen für den Porendruck verglichen. Ein seismisches Ereignis wird dort angenommen, wo der kritische Spannungszustand durch den Porendruck überschritten wird. Mit dieser Methode können so synthetische Wolken von Ereignissen erzeugt werden. Die auftretenden raum-zeitlichen Signaturen werden mit den nach der SBRC-Methode berechneten und mit den an realen Daten aus geothermischen und industriellen Erdöl- und Erdgasspeicher-Injektionsexperimenten beobachteten verglichen. Die numerischen Simulationen erlauben erstmals die systematische Untersuchung der Hypothese des wichtigen Einflusses eines Porendruckdiffusionsprozesses auf die Auslösung seismischer Ereignisse. Sie belegen weiterhin den maßgeblichen Einfluss von Fluiden bei der Entstehung von Mikroerdbeben während Fluidinjektionen. Die in dieser Dissertation vorgestellte Untersuchung belegt, dass Daten fluidinduzierter mikro-seismischer Ereignisse benutzt werden können, um Lagerstätten und Reservoirs in Hinsicht auf hydraulische Parameter und ihrer Verteilung im großskaligen Bereich zu charakterisieren.

Einen weiteren Schwerpunkt in dieser Dissertation bildet die Anwendung der SBRC-Methode auf zwei Datensätze: von fluidinduzierten mikro-seismischen Ereignissen an der Deutschen Kontinentalen Tiefbohrung (KTB) und auf Daten aus einer Gaslagerstätte (Cotton Valley, USA). An der KTB in Deutschland wurden während zweier Flüssigkeitsinjektionsexperimenten Mikroerdbeben in verschiedenen Tiefenbereichen im Gestein ausgelöst. Die Daten erlauben erstmals eine Untersuchung der Änderung hydraulischer Eigenschaften mit der Tiefe an einer einzigen und geologisch sehr gut untersuchten Lokation. Die Diffusivitätsabschätzungen werden erstmals mit Ergebnissen hochauflösender reflektionsseismischer Experimente korreliert. Es zeigt sich, dass ein Porendruckdiffusionsprozess die Signaturen der Daten erklären können und strukturelle Eigenschaften wie Kluftsysteme maßgeblich diese Parameter sowie die Ausbreitung der seismischen Ereignisse kontrollieren. Die Untersuchung von Daten aus einem Gasreservoir sind von besonderem Interesse und entscheidender Bedeutung für die industrielle Anwendung der SBRC-Methode. Mit den hier vorgestellten Analysen und Ergebnissen wird ein Schritt in die Richtung der Erklärung und Ursachenforschung für die Entstehung von Mikroerdbeben erzielt und durch numerische Simulationen untermauert.