

Dreidimensionale Visualisierung von Tiefenaquiferen auf Basis von geophysikalischen Daten

Three-Dimensional Visualization of Deep Aquifers Using Geophysical Data

M. G. SCHREILECHNER¹⁾, Ch. G. EICHKITZ²⁾, H. GRASSL³⁾ & Ch. SCHMID⁴⁾

Inhalt

| | Seite |
|--|-------|
| 1. Problemstellung und Zielsetzung..... | 129 |
| 2. Untersuchungsgebiete | 130 |
| 2.1. Übersicht | 130 |
| 2.2. Untersuchungsgebiet Steirisches Neogenbecken..... | 131 |
| 2.3. Untersuchungsgebiet Erlaubnisfeld Puchheim-Germering..... | 136 |
| 3. Ergebnisse..... | 138 |
| 4. Diskussion und Schlussfolgerung..... | 138 |
| Zusammenfassung..... | 142 |
| Literatur | 142 |
| Summary..... | 142 |

1. Problemstellung und Zielsetzung

Die vorliegende Studie befasst sich mit der Optimierung der reflexionsseismischen Datenakquisition bei ungünstigen Feldbedingungen und der dreidimensionalen geologischen Modellierung von 2D-Daten im Bereich von Tiefenaquiferen.

Reflexionsseismische Messungen wurden in der Vergangenheit beinahe ausschließlich für die Belange der Erdöl- und Erdgasexploration (KW-Prospektion) eingesetzt. Erst im

¹⁾ DI Dr. Marcellus G. SCHREILECHNER, Institut für WasserRessourcenManagement, Hydrogeologie und Geophysik, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Roseggerstraße 17, 8700 Leoben, Österreich. E-Mail: marcellus.schreilechner@joanneum.at

²⁾ DI Christoph G. EICHKITZ, Institut für WasserRessourcenManagement, Hydrogeologie und Geophysik, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Roseggerstraße 17, 8700 Leoben, Österreich. E-Mail: christoph.eichkitz@joanneum.at

³⁾ Mag. Dr. Herfried GRASSL, Institut für WasserRessourcenManagement, Hydrogeologie und Geophysik, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Roseggerstraße 17, 8700 Leoben, Österreich. E-Mail: herfried.grassl@joanneum.at

⁴⁾ Hon.-Prof. DI Dr. Christian SCHMID, Institut für WasserRessourcenManagement, Hydrogeologie und Geophysik, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Roseggerstraße 17, 8700 Leoben, Österreich. E-Mail: christian.schmid@joanneum.at

letzten Jahrzehnt wurden für die Tiefenwassererkundung und geothermische Prospektion ebenfalls weitgehend hochauflösende reflexionsseismische Messungen durchgeführt. Im Gegensatz zur KW-Prospektion (3D bzw. 4D) werden bei der Tiefenwassererkundung vorwiegend aus ökonomischen Gründen zweidimensionale seismische Profile aufgenommen. Bei der Tiefenwassererkundung und speziell bei deren nachhaltigen Bewirtschaftung spielen tektonische Elemente in Form von geologischen Störungen im Untergrund eine entscheidende Rolle. Dabei geht es um eine möglichst lagetreue Visualisierung von Bruchstrukturen, um über das Abschätzen der Sprunghöhen die laterale Begrenzung von Grundwasserkörpern erkennen zu können.

Das Erkennen von faziellen Änderungen innerhalb eines Grundwasserkörpers bzw. die Erfassung von faziellen Grenzen ist ebenfalls für jegliche Bewertung und allenfalls Modellierung von Grundwasserkörpern ein entscheidender Eingangsparameter. Eine Interpretation der seismischen Daten in Hinblick auf eine Optimierung von Bohransatzpunkten bzw. die Definition der Landfelder von Tiefbohrungen als auch hinsichtlich weiterführender Grundwasserströmungsmodelle und/oder thermischen Modellierungen würde eine 3D-Datenbasis benötigen. Im gegenständlichen Fall wird diese aus zweidimensionalen seismischen Profilen und weiteren räumlichen Daten abgeleitet, wodurch eine entscheidende Verbesserung hinsichtlich der Planungs- bzw. Eingangsparameter erreicht wird.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Evaluierung und Optimierung der Akquisitionsparameter zur geophysikalischen Erkundung von Tiefenaquiferen bei ungünstigen Oberflächenbedingungen und begrenzten finanziellen Mitteln.

Ungünstige Oberflächenbedingungen bei einer vorwiegend oberflächennahen Energieanregung bestehen bei mächtigen ungesättigten Lockersedimenten mit größeren bzw. ungleichförmigen Körnungen (Sande und Kiese) und/oder einer rauen Topographie. Größere Profilkümmungen können die Reflexionsqualität ebenfalls negativ beeinflussen. Die Umsetzung dieser Vorhaben erfolgte in zwei Projektgebieten, die sich in ihren geologischen Verhältnissen und in den Tiefenlagen vollkommen unterscheiden.

2. Untersuchungsgebiete

2.1. Übersicht

Im ersten Untersuchungsgebiet, im Steirischen Neogenbecken im Großraum von Pinkafeld, wurde die Optimierung der Datenakquisition anhand von zwei neu aufgenommenen Seismiklinien untersucht. Zusätzlich wurden die Erkenntnisse einer bereits vorhandenen geologischen Interpretation von Seismikdaten zur Bestimmung von optimalen Bohrpunkten zur Erschließung von Tiefengrundwässern genutzt. Durch Einbinden von bereits in diesem Gebiet bestehenden Seismiklinien, die z. T. vollständig neu bearbeitet wurden, wurde ein dreidimensionales geologisches Modell erstellt.

In einem zweiten Untersuchungsgebiet, im Bereich des Erlaubnisfeldes Puchheim-Germering (westlich von München), wurde aus bereits vorhandenen Seismiklinien der KW-Prospektion ein dreidimensionales geologisches Modell erstellt. Dieses Modell kann nun einerseits zur Bestimmung von optimalen Bohrpunkten für die Tiefenwassererschließung in unmittelbarer Umgebung der Seismiklinien genutzt werden. Andererseits kann dieses Modell zur Detailplanung für ergänzende geophysikalische Untersuchungen

in einer für den Auftraggeber strategisch günstigen und aus dem Modell abgeleiteten geologisch optimalen Position herangezogen werden. Als geologisch optimaler Bohrpunkt im Bereich von Karbonaten werden Bruch- und Klüftzonen, also geologische Bereiche bevorzugter Porosität und Permeabilität, verstanden.

2.2. Untersuchungsgebiet Steirisches Neogenbecken

Im Projektgebiet im Großraum westlich von Pinkafeld wurden die N-S verlaufende Seismiklinie PF0601 (4,3 km) und die NW-SE verlaufende Seismiklinie PF0602 (2,8 km) aufgenommen. Zum Zwecke der Optimierung der Akquisitionsparameter wurden für die beiden Seismiklinien verschiedene Intensitäten von Energieanregungen (Schussbohrungstiefen und Schussenergiemenge) verglichen.

Als Energiequelle dienten in erster Linie kleine Mengen an Sprengmittel (rund 120 g Austrogel G1/25/350), die in händisch gefertigten Löchern von 1,2 m Tiefe mittels elektrischer Momentzündung zur Detonation gebracht wurden. Der mittlere Schusspunkt-Abstand mit diesen Lademengen betrug 7,5 m (PF0601 – zwei von drei Positionen) bzw. 10 m (PF0602 – jede zweite Position).

Neben diesen so genannten „leichten“ Schüssen wurden auch so genannte „schwere“ Schüsse mit Lademengen von 240 g (PF0601) bzw. 720 g (PF0602), die in maschinell gefertigten Schussbohrungen von 2,0 m Tiefe gezündet wurden, registriert. Der mittlere Schusspunkt-Abstand betrug hier 15 m (PF0601 – jede dritte Position) bzw. 20 m (PF0602 – jede vierte Position).

An den beiden Enden des jeweiligen Profils wurde, um Randeffekte, bedingt durch die an den Profilenden vorliegende geringe Untergrundüberdeckung, zu minimieren, die Schusspunktdichte erhöht. Insgesamt wurden 839 (PF0601 – Profillänge 4295 m) bzw. 437 Schüsse (PF0602 – Profillänge 2815 m) registriert. Zusammen mit der mittleren Anzahl der aktiven Kanäle (177 bei PF0601, nominal 170, und 189 bei PF0602, nominal 180) und den mittleren Abständen der Anregungspositionen resultiert daraus eine mittlere Untergrundüberdeckung von 86 (nominal 85) bei PF0601 bzw. 73 (nominal 68) bei PF0602.

Neben der reflexionsseismischen Standardbearbeitung (Ö. YILMAZ, 2001), sowohl für die erstbearbeiteten Profile (PF0601, PF0602) als auch für die neubearbeiteten in Tab. 1 dargestellten Profile (PF0001, PF0002, FT1 und FT2), wurden weitere spezielle Bearbeitungen der seismischen Daten durchgeführt (Tab. 2 und Fig. 1).

Ein Vergleich von Aufnahmen der Linie PF0602 mit Lademengen von 120 g und 720 g (für eine bessere Vergleichbarkeit wurden die Amplituden der schusspunktsnahen Spuren bis zu einem „offset“ von 15 m auf Null gesetzt) macht deutlich, dass nicht nur im Bereich der Oberflächenwelle, sondern auch im Bereich des „optimalen Fensters“ das Nutzsignal beim „schweren“ Schuss erwartungsgemäß größere Amplituden ausbildet als beim „leichten“ Schuss.

Allgemein sollte eine Anregung mittels einer größeren Lademenge zu einem breiteren Signal führen, d.h. zu einem Signal mit einer schmäleren Frequenzbreite und einer kleineren Mittenfrequenz. Aus Vergleichen der seismischen Signale und aus den Amplitudenspektren ist nicht unmittelbar ersichtlich, dass sich der „leichte“ Schuss durch eine größere Bandbreite bzw. durch höhere Frequenzen auszeichnet.

Nach erfolgter Filterung der Daten mit einem Trapezfilter (z.B. 25 – 30 – 100 – 120 Hz) zeigt die durch die Filterung bedingte Unterdrückung der Oberflächenwelle sehr wohl eine größere Bandbreite wie auch eine höhere Mittenfrequenz im Amplitudenspektrum des „leichten“ Schusses gegenüber dem des „schweren“.

Tab. 1: Parameter der reflexionseismischen Standardbearbeitung für die erst- und neubearbeiteten Profile. (Fortsetzung S. 133.)
Parameters from the standard processing of the first and new processed profiles. (Continuation p. 133.)

| | | Bearbeitung | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|----------------|--|
| Profil | PF0601 | PF0602 | PF0001 | PF0002 | FT1 | FT2 | | |
| Art der aktuellen Bearbeitung | Erstbearbeitung | Erstbearbeitung | Neubearbeitung | Neubearbeitung | Neubearbeitung | Neubearbeitung | Neubearbeitung | |
| Erstbearbeitung | - | - | 2000 JOANNEUM RESEARCH | 2000 JOANNEUM RESEARCH | 1986 OMV AG | 1986 OMV AG | | |
| Einlesen der Daten | SEG-Y | SEG-Y | SEG-Y | SEG-Y | SEG-Y | SEG-Y | | |
| Geometrie („crooked line“) | 2411 m (CMP-Abstände) | 2387,5 m (CMP-Abstände) | 2138 m (CMP-Abstände) | 2367 m (CMP-Abstände) | 10 600 m (CMP-Abstände) | 10 940 m (CMP-Abstände) | | |
| Amplitudenkorrektur | sphärische Divergenz | sphärische Divergenz | sphärische Divergenz | sphärische Divergenz | sphärische Divergenz | sphärische Divergenz | | |
| kurzwellige statische Korrektur | kurzwelliger Anteil der Korrekturwerte | kurzwelliger Anteil der Korrekturwerte | kurzwelliger Anteil der Korrekturwerte | kurzwelliger Anteil der Korrekturwerte | kurzwelliger Anteil der Korrekturwerte | kurzwelliger Anteil der Korrekturwerte | | |
| Mehrkanal-Dekonvolution (Operatorlänge) | 40 ms | 40 ms | 40 ms | 40 ms | 100 ms | 100 ms | | |
| Einkanal-Dekonvolution (Operatorlänge) | 20 ms | 20 ms | 20 ms | 20 ms | 40 ms | 40 ms | | |
| spektrales Aufweißen | - | - | - | - | 20–70 Hz | 20–70 Hz | | |
| F-K Filter (Neigung) | -4 bis 4 ms/Spur | -4 bis 4 ms/Spur | -4 bis 4 ms/Spur | -4 bis 4 ms/Spur | - | - | | |
| Geschwindigkeitsanalyse | bei jedem 100sten CMP | bei jedem 100sten CMP | bei jedem 100sten CMP | bei jedem 100sten CMP | CVA | CVA | | |
| dynamische Korrektur (NMO) | VRMS-Geschwindigkeitsmodell | VRMS-Geschwindigkeitsmodell | VRMS-Geschwindigkeitsmodell | VRMS-Geschwindigkeitsmodell | VRMS-Geschwindigkeitsmodell | VRMS-Geschwindigkeitsmodell | | |
| „stretch mute“ | 35 % | 35 % | 23 % | 25 % | 30 % | 30 % | | |
| statische Korrektur zum Datum | neu berechnet (GLI3D) | neu berechnet (GLI3D) | neu berechnet (GLI3D) | neu berechnet (GLI3D) | neu berechnet (GLI3D) | neu berechnet (GLI3D) | | |
| Datumniveau / „bulk-shift“ | 450 m / 100 ms | 450 m / 100 ms | 450 m / 100 ms | 450 m / 100 ms | 450 m / 100 ms | 450 m / 100 ms | | |

| Bearbeitung | | | | | | |
|--|------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Profil | PF0601 | PF0602 | PF0001 | PF0002 | FT1 | FT2 |
| oberflächenkonsistente Reststratik | 16 ms max. total shift | 16 ms max. total shift | 16 ms max. total shift | 16 ms max. total shift | 4 ms max. total shift | 4 ms max. total shift |
| nicht oberflächenkonsistente Reststratik | – | – | – | – | 4 ms max. total shift | 4 ms max. total shift |
| AGC | 300 ms | 300 ms | 300 ms | 300 ms | 300 ms | 300 ms |
| Stapelung | „offset-weighted“ | „offset-weighted“ | „offset-weighted“ | „offset-weighted“ | „offset-weighted“ | „offset-weighted“ |
| TV Bandpassfilter: 0–100 ms | 40–100 Hz | 40–100 Hz | 40–100 Hz | 40–100 Hz | 25–70 Hz | 25–70 Hz |
| 100–400 ms | 24–90 Hz | 24–90 Hz | 24–90 Hz | 24–90 Hz | 25–70 Hz | 25–70 Hz |
| 400–1100 ms | 20–80 Hz | 20–80 Hz | 20–80 Hz | 20–80 Hz | 25–70 Hz | 25–70 Hz |
| Kohärenzfilter (Spurrückmischung) | FX-Decon (85%) | FX-Decon (85%) | Dip-Filter (50%) –1 bis 1 ms/Spur | Dip-Filter (50%) –1 bis 1 ms/Spur | FX-Decon (80%) | FX-Decon (80%) |
| gewichtete Spurmischung | 1 – 3 – 1 | 1 – 3 – 1 | 1 – 3 – 1 | 1 – 3 – 1 | 1 – 3 – 1 | 1 – 3 – 1 |
| Zeitmigration | FD wave equation | FD wave equation | FD wave equation | FD wave equation | FD wave equation | FD wave equation |

Verwendete Abkürzungen:

SEG-Y – internationales Standarddatenformat für seismische Daten der Society of Exploration Geophysics (SEG)
 CMP – Common Mid-Point, gemeinsamer Mittelpunkt der seismischen Aufnahme- und Quellposition
 F-K Filter – Filter im Frequenz-Wellenzahl-Raum
 CVA – Common Velocity Analysis, spezieller Schritt der seismischen Datenbearbeitung
 NMO Korrektur – Normal Move-Out, Korrektur der Entfernungabhängigkeiten der seismischen Laufzeiten
 VRMS – Root-Mean-Square Velocity, quadratisches Mittel der Intervallgeschwindigkeiten
 AGC – Automatic Gain Control, Amplitudenausgleich basierend auf gleitenden Mittelwerten
 TV Bandpassfilter – Time Variant Filter, zeitvarianter Bandpassfilter
 FD – Finite Differences, finite Differenzen
 Dip-Filter – spezieller Filter basierend auf zeitliche Verschiebungen in benachbarten seismischen Spuren
 FX-Decon – spezieller Filter basierend auf Dekonvolutionsalgorithmen

Tab. 2: Die sich unterscheidenden Parameter der einzelnen Bearbeitungen am Beispiel des Profils PF0602. Bei den unterschiedlichen Bearbeitungszenarien wurden jeweils Schüsse mit verschiedenen Ladungsmengen berücksichtigt.

The parameters that differ in certain steps of the process, for example, profile PF0602. Considerations were made for the varying amounts of loading in the different workflows.

| | Unterschiede in den Bearbeitungen | | | |
|---------------|--|----------------------|----------------------------------|--|
| | verwendete Rohdaten | mittlere Überdeckung | Dekonvolution Operatorlänge [ms] | Bandpassfilterung |
| Bearbeitung 0 | sämtliche | 73 | 40 / 20 und 80 / 20 | 0–100 ms: 40–100 Hz 100–400 ms: 24–90 Hz 400–1100 ms: 20–80 Hz |
| Bearbeitung 1 | 120 g (jede 2. Aufnahme- nehmerposition) | 49 | 40 / 20 | 0–100 ms: 40–100 Hz 100–400 ms: 24–90 Hz 400–1100 ms: 20–80 Hz |
| Bearbeitung 2 | 720 g (jede 4. Aufnahme- nehmerposition) | 24 | 80 / 20 | 0–100 ms: 37–90 Hz 100–400 ms: 22–80 Hz 400–1100 ms: 19–75 Hz |
| Bearbeitung 3 | 120 g jede 2. Aufnahme (jede 4. Aufnahme- nehmerposition) | 24 | 40 / 20 | 0–100 ms: 40–100 Hz 100–400 ms: 24–90 Hz 400–1100 ms: 20–80 Hz |

Theoretisch betrachtet sollte nach A. ZIOLKOWSKI & W. E. LERWILL (1979), A. ZIOLKOWSKI et al. (1980), A. ZIOLKOWSKI (1993) und A. ZIOLKOWSKI & K. BOKHORST (1993) die mittlere absolute Amplitude seismischer Aufnahmen wie auch die Zeitdauer und somit die Wellenlänge des durch die Anregung in den Untergrund abgestrahlten Signals proportional der dritten Wurzel aus der Lademenge zunehmen. Demzufolge sollten die mittleren absoluten Amplituden und die Wellenlängen der Aufnahmen mit 720 g Lademenge rund 1,8 mal so groß wie die der Aufnahmen mit 120 g Lademenge sein.

Für eine Abschätzung der Amplitudenverhältnisse wurden die seismischen Spuren mit „offsets“ bis zu 500 m und bis zu einer Zweiweglaufzeit von 1000 ms herangezogen. Dabei zeigt sich, dass die Maximalwerte der Amplituden der Aufnahmen mit 720 g um rund einen Faktor von 2,5 bis 2,7 größer als die Maximalwerte der Amplituden der Aufnahmen mit 120 g sind.

Betrachtet man in weiterer Folge die Autokorrelationen als ein Maß für die Signalbreite der zeitlichen Verläufe der Amplituden der einzelnen Spuren, so ergibt sich, dass die Aufnahmen mit 720 g eine rund um einen Faktor 1,15 bis 1,20 größere Signalbreite als die Aufnahmen mit 120 g besitzen.

Zusammengefasst bestätigen diese sehr vereinfachten Betrachtungen tendenziell die theoretisch zu erwartende Zunahme der Amplituden und der Signalbreite bei den „schweren“ Schüssen. Quantitativ betrachtet ist diese Zunahme gegenüber der zu erwartenden Zunahme für die Amplituden jedoch zu groß und für die Signalbreite zu klein (größere Amplituden um einen Faktor von rund 2,6 und größere Signalbreite um einen Faktor von rund 1,2 gegenüber der zu erwartenden Zunahme um einen Faktor von 1,8).

Eine Ursache, nebst der nicht einwandfrei durchgeführten statistischen Analyse, könnte mit der Tatsache begründet werden, dass die Lademengen von 720 g in 2 m Tiefe und die Lademengen von 120 g in 1,2 m tiefen Schussbohrungen gezündet wurden. In einem 2 m tiefen Bohrloch liegen nicht nur bessere Ankoppelungsbedingungen, sondern auch eine

bessere Verdämmung vor – nebenbei ist auch nicht von kugelförmigen Ladungen auszugehen. Dies lässt erwarten, dass die Signalamplitude überproportional und die Signalbreite unterproportional der dritten Wurzel der Lademenge zunehmen und somit die Über- bzw. Unterproportionalität der dargestellten Ergebnisse tendenziell bestätigt wird.

Weiters wurden, um ein Bild über die Folgen unterschiedlich großer Lademengen und Untergrundüberdeckungen auf die Qualität des Bearbeitungsergebnisses, insbesondere auf das vertikale Auflösungsvermögen und die Eindringtiefe, zu erhalten, die seismischen Rohdaten der Profile PF0601 und PF0602 in mehreren verschiedenen Abfolgen bearbeitet. Im Folgenden wird speziell auf die Bearbeitung von PF0602 (Tab. 2) eingegangen, bei PF0601 wurde ähnlich vorgegangen:

- Bearbeitung 0: Sämtliche Aufnahmen wurden mit einer „Standardbearbeitung“ bearbeitet.
- Bearbeitung 1: Für die Bearbeitung wurden lediglich die Aufnahmen mit Lademengen von 120 g („leichte“ Schüsse bei jeder zweiten Aufnehmerposition) verwendet.
- Bearbeitung 2: Für die Bearbeitung wurden lediglich die Aufnahmen mit Lademengen von 720 g („schwere“ Schüsse bei jeder vierten Aufnehmerposition) verwendet.
- Bearbeitung 3: Für die Bearbeitung wurde lediglich die Hälfte der Aufnahmen mit Lademengen von 120 g („leichte“ Schüsse bei jeder vierten Aufnehmerposition) verwendet.

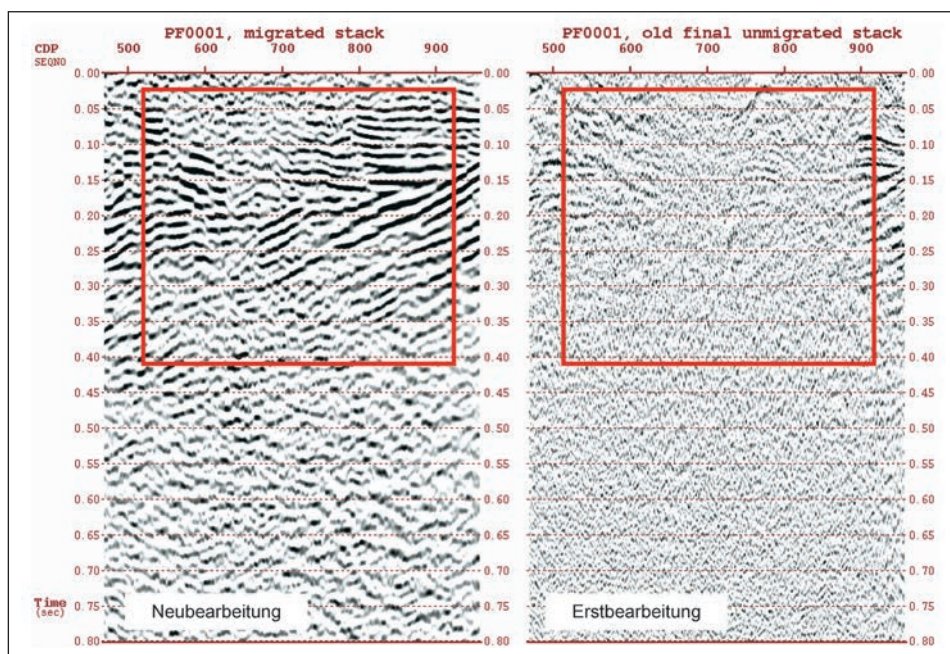


Fig. 1: Profil PF0001 – Ausschnitt aus dem Ergebnis der Neubearbeitung (links) gegenüber jenem der Erstbearbeitung aus dem Jahre 2000 (rechts). Erst durch die Anwendung von neu berechneten statischen Korrekturwerten mit GLI3D in Kombination mit einer „crooked line“ Geometriedefinition konnten Reflexionen konstruktiv gestapelt werden. CDP – Common Depth Point.
 Profil PF0001 – snapshot of the result of the new process (left) compared to the original process from 2000 (right). With the use of new calculated static corrections with the help of GLI3D in combination with the corresponding crooked-line geometry, the seismic reflections could be stacked constructively. CDP – Common Depth Point.

Die Ergebnisse der unterschiedlichen Bearbeitungen belegen, dass im konkreten Untersuchungsgebiet eine Verdoppelung der Untergrundüberdeckung zu einer ähnlich großen Eindringtiefe und zu einem besseren vertikalen Auflösungsvermögen wie durch die Verwendung von sechsfach so großen Lademengen führt.

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Vergleichen von Akquisitionsparametern bei der Aufnahme von neuen Seismiklinien wurden auch bereits in den Jahren 1986 (FT1 und FT2) und 2000 (PF0001 und PF0002) aufgenommene Seismiklinien nach dem heutigen Stand der Technik neu bearbeitet. Vor allem die Berechnung der statischen Korrekturen mit dem Softwarepaket GLI3D (CGGVeritas Hampson-Russell) brachte eine wesentliche Verbesserung der Aufnahmen (Fig. 1).

Aus der Summe dieser sechs Seismiklinien und den angrenzenden Aufnahmen im Oberen Lafnitztal wird ein dreidimensionales Modell erstellt.

2.3. Untersuchungsgebiet Erlaubnisfeld Puchheim-Germering

Im Erlaubnisfeld von Puchheim-Germering wurden durch den Industriepartner die Rohdaten von vier Seismiklinien der Erdölindustrie zugekauft. Die reflexionsseismischen Rohdaten von Teilen der Linien 7305, 7601, 7602A und 8002 der RWE Dea AG wurden von der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH neu bearbeitet (Seismiklinien 1–4, Fig. 2). Die Resultate der Neubearbeitung wurden mit den Ergebnissen der Erstbearbeitung durch die RWE Dea AG verglichen. Als wesentliche Unterschiede zwischen diesen beiden Bearbeitungen sind folgende hervorzuheben:

- Durch die Neubearbeitung der Seismiklinien 1 und 4 konnte der interpretierbare Bereich nach S verlängert werden.
- Das Ergebnis der JOANNEUM RESEARCH zeigt ein Erscheinungsbild höherer Frequenz und eine daraus resultierende höhere zeitliche (vertikale) Auflösung.
- Es konnten speziell bei Zweiweglaufzeiten größer als 1,3 s schärfere Bruchstrukturen herausgearbeitet werden. Eine mögliche Ursache dafür könnte in der Verwendung einer so genannten „crooked line geometry“ sein. Gegenüber einer herkömmlichen 2D-Liniengeometrie werden bei der „crooked line geometry“ die seismischen Spuren einer begradiigten Bezugslinie zugeordnet und dadurch bei einem gekrümmten Linienverlauf die Anzahl destruktiver Stapelungen reduziert.

Nach der Bearbeitung der reflexionsseismischen Daten wurden diese unter Einbindung aller zur Verfügung stehenden geologischen und geophysikalischen Information interpretiert (Lageplan siehe Fig. 2). Ungünstigerweise liegt das strategische Ziel, eine Tiefbohrung abzuteufen, in großer Entfernung (einige Kilometer) zu den seismischen Profilen. Fixpunkte für die Interpretation sind die in den Bohrungen (1–3) vorhandenen geologischen Informationen in Form von Formationsabschnitten. Die Interpretation erfolgt im Zeitbereich, d. h. dass vertikal die gemessenen Zweiweglaufzeiten aufgetragen sind.

Als abschließender Arbeitsschritt der Interpretation werden alle interpretierten Horizonte und Störungen mittels einer einfachen Zeit-Tiefen-Beziehung in den Tiefenbereich konvertiert. Die Geschwindigkeitsinformation wurde aus zusätzlich angekauften Bohrungen (Fig. 2) ermittelt. Für die Bohrungen 1 und 3 stehen Geophonversenkmessungen (Checkshots) zur Verfügung.

Geophonversenkmessungen liefern für bekannte Tiefen eine seismische Laufzeit. Aus diesen so genannten Zeit-Tiefen-Paaren kann man Geschwindigkeitsinformationen ableiten.

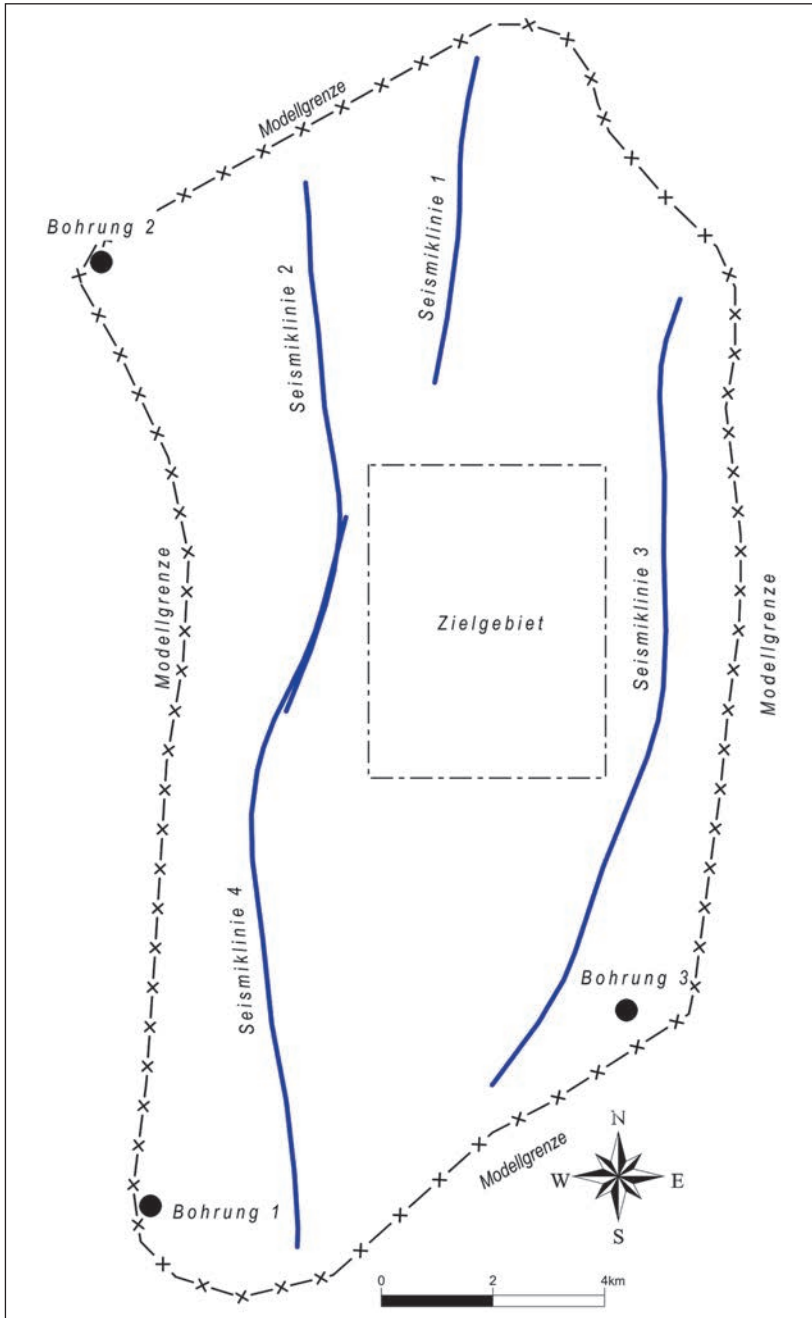


Fig. 2: Untersuchungsgebiet Puchheim-Germering. Geophonversenkungsmessungen liefern für bekannte Tiefen eine seismische Laufzeit. Aus diesen so genannten Zeit-Tiefen-Paaren kann man Geschwindigkeitsinformationen ableiten.

The investigation area of Puchheim-Germering. The two-way traveltime can be obtained from the different checkshot data at each depth. From the obtained time-depth pairs, velocities can be calculated.

3. Ergebnisse

Im Bereich der Auswahl der Parameter zur Datenakquisition (Steirisches Becken) kann als erstes Ergebnis abgeleitet werden, dass im konkreten Fall eine Verdoppelung der Untergrundüberdeckung zu einer ähnlich großen Eindringtiefe und zu einem besseren vertikalen Auflösungsvermögen führt als die Verwendung von sechsfach so großen Lademengen. Es muss jedoch betont werden, dass sich die in Kap. 2.2. bereits geschilderten Zusammenhänge in einem anderen Untersuchungsgebiet abweichend verhalten können.

Im Erlaubnisfeld von Puchheim-Germering östlich München sollten mit Hilfe einer Modellierung des Tiefenaquifers (Malm-Karbonate) mögliche Bohransatzpunkte für eine nachhaltige Nutzung auf Basis vorhandener reflexionsseismischer Untersuchungen der Kohlenwasserstoffprospektion evaluiert werden. Die Problematik liegt hier in einem für eine flächenhafte Bearbeitung bzw. Modellerstellung extrem ungünstigen Abstand der vorhandenen seismischen Profile zum vorgegebenen Zielgebiet (Fig. 2). Aufgrund von fehlenden Seismikprofilen im Bereich des Zielgebietes ist eine eindeutige dreidimensionale Modellerstellung nicht möglich. Das Verbinden von Störungsflächen von zwei parallelen Seismiklinien bleibt meist mehrdeutig. Auch das Generieren von Oberflächen in diesen Bereichen zwischen den interpretierten Profilen ist nicht immer eindeutig. Zwei mögliche Modellvorstellungen mit einem Störungsmuster für den Top Malm wurden erarbeitet. Im ersten Modell (Fig. 3) wurden die Störungen im Bereich des Projektes als ENE-WSW verlaufende Störungen interpretiert. Im zweiten Modell (Fig. 4) werden die Störungen der Ost- und Westprofile über WNW-ESE verlaufende Störungen verbunden. Diese beiden Ergebnisse wurden dem Industriepartner als die wahrscheinlichsten Modellvorstellungen übergeben. Aufgrund dieser Modellvorstellungen konnten nun in den strategisch interessanten und geologisch relevanten Gebieten neue Detailuntersuchungen geplant werden. Erst durch das Aufnehmen von weiteren Seismiklinien im Jahre 2007 konnte ein verlässliches Prognosemodell erstellt werden (Fig. 5).

4. Diskussion und Schlussfolgerung

Im Bereich der Datenakquisition erscheint es nach den nun vorliegenden Untersuchungsergebnissen als möglich, die seismische Visualisierung des tieferen Untergrundes durch eine hohe seismische Überdeckung zu gewährleisten. Eine Durchführung von Schüssen mit sehr hoher Energie und damit die Anfertigung von kostenintensiven Schussbohrungen könnte mit einer hohen Überdeckung ersetzt werden. Diese ersten diesbezüglichen Ergebnisse sollten jedoch noch ausführlich in anderen Testgebieten verifiziert werden. Zumindest eine in einer ähnlichen Form durchgeführte Testmessung wäre für die Überprüfung der dargestellten Ergebnisse somit sinnvoll.

Die Neubearbeitung der Seismikprofile beider Untersuchungsgebiete führte zu wesentlich besseren Ergebnissen im Bereich der zu untersuchenden Horizonte. Aus der nun vorliegenden dreidimensionalen Vorstellung (Modelle) des Untergrundes ist es möglich, auf die Geometrie und Verbreitung des Aquifers rückzuschließen. Empfehlungen für optimale Bohrpunkte können jedoch nur im unmittelbaren Bereich der Seismiklinien ausgesprochen werden. Die geologische Prognose im Bereich zwischen den zweidimensionalen Seismiklinien bleibt jedoch im Unschärfbereich einer Modellvorstellung. Diese Modellvorstellung kann als eine sehr wahrscheinliche Lösung angesehen werden. Eine eindeutige Lösung kann erst durch dreidimensionale Aufnahmen im gesamten Untersuchungsgebiet erzielt werden.

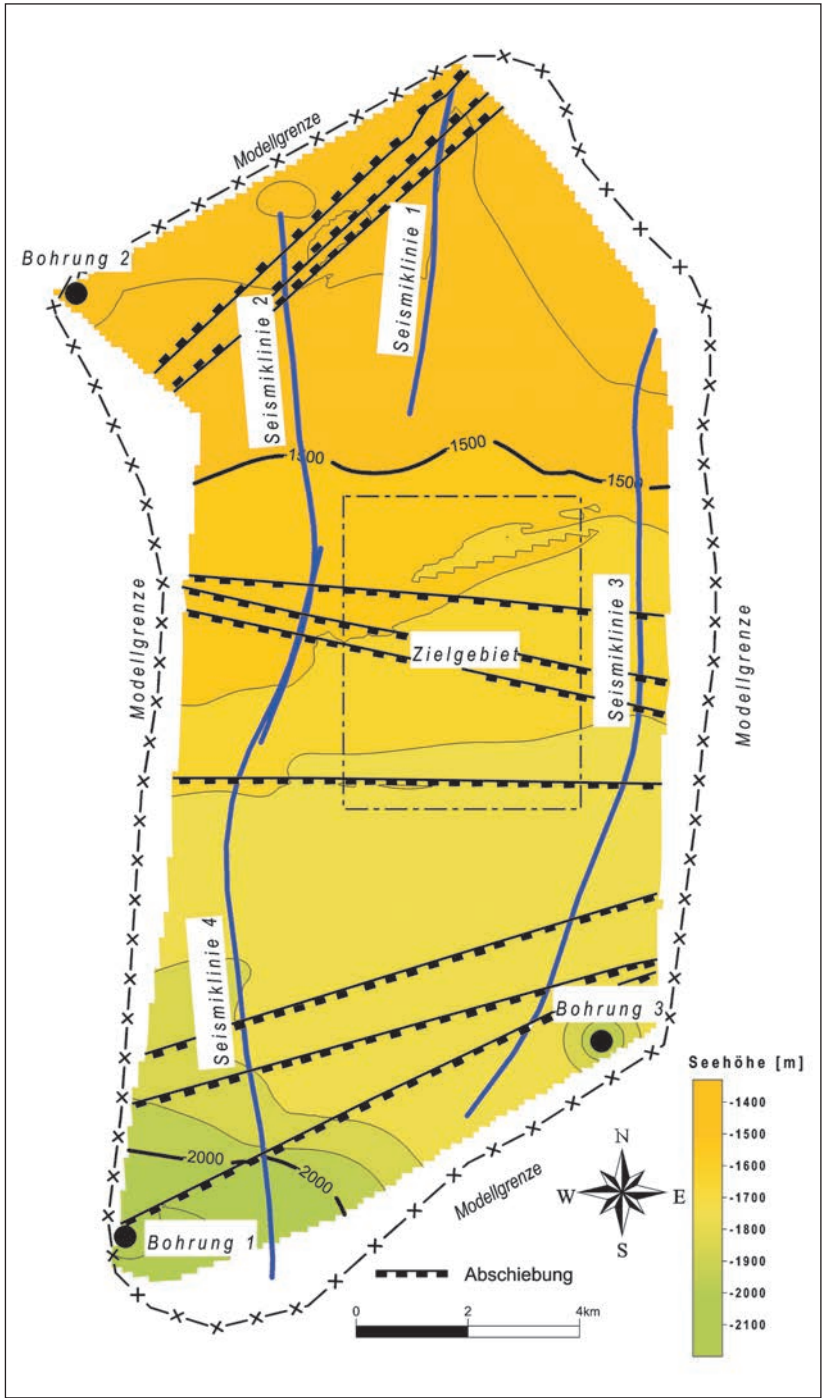


Fig. 3: Puchheim-Germering, Modell Variante 1.
 Model version 1 from Puchheim-Germering.

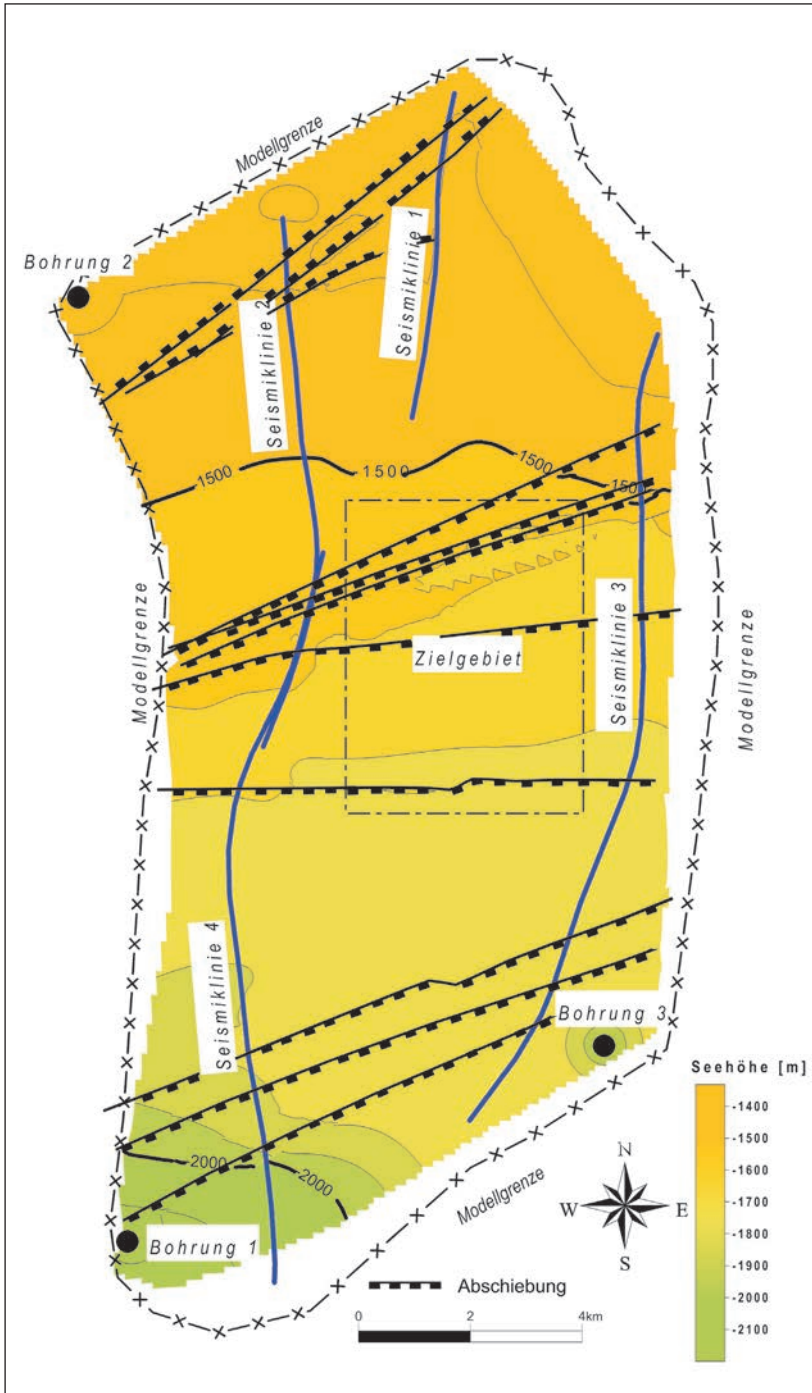


Fig. 4: Puchheim-Germering, Modell Variante 2.
 Model version 2 from Puchheim-Germering.

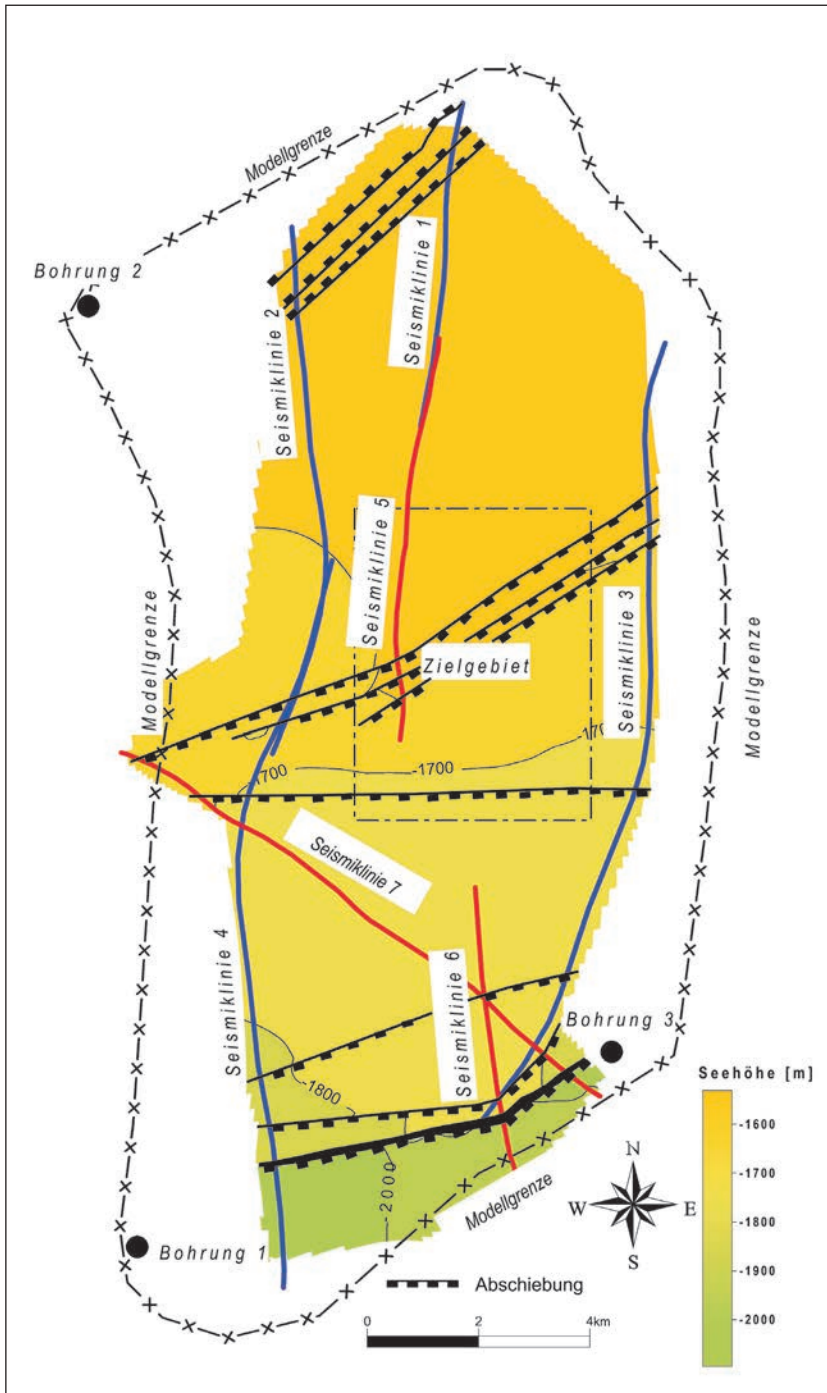


Fig. 5: Puchheim-Germering, Prognose-Modell verbessert durch zusätzliche Seismikprofile (rot).
 Puchheim-Germering, prediction model enhanced with additional seismic profiles (red).

Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Studie wurden zwei Ziele verfolgt. Als erstes Ziel wurde versucht, die Feldparameter so zu optimieren, dass in schwierigen Geländesituationen das seismische Ergebnis ohne Kostenerhöhung verbessert wird. Wobei schwieriges Gelände als Gelände mit ungesättigten grobklastischen Sedimenten, meist kombiniert mit rauer Topographie, bezeichnet wird. Vorläufig kann gezeigt werden, dass die Erhöhung der seismischen Überdeckung das seismische Ergebnis zur Visualisierung des tieferen Untergrundes besser beeinflusst als die Erhöhung der Ladungsmengen. Jedoch sollte diese vorläufige Aussage in mehreren Untersuchungsgebieten mit ähnlichen Bedingungen bestätigt werden. Als zweites Ziel wurde das Erstellen von dreidimensionalen Modellen aus zweidimensionalen seismischen Untersuchungen sowie geologischen Karten und Informationen aus Bohrungen definiert. Da das Zielgebiet eines Untersuchungsgebiets von den verfügbaren Daten einige Kilometer entfernt lag, waren die Aussagen dieses Modells mit Unsicherheiten behaftet. Es wurden daher zusätzliche seismische Untersuchungen durchgeführt.

Literatur

- YILMAZ, Ö. (2001): *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data.*– 2. Aufl., Vol. I, XXXV, 1000 S., zahlr. Ill. u. graph. Darst.– Investigations in Geophysics, no. 10, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.
- ZIOLKOWSKI, A. (1993): Determination of the signature of a dynamite source using source scaling, Part I: Theory.– Geophysics, **58/8**, 1174–1182, Tulsa.
- ZIOLKOWSKI, A. & K. BOKHORST (1993): Determination of the signature of a dynamite source using source scaling, Part II: Experiment.– Geophysics, **58/8**, 1183–1194, Tulsa.
- ZIOLKOWSKI, A. & W. E. LERWILL (1979): A Simple Approach to High Resolution Seismic Profiling for Coal.– Geophysical Prospecting, **27 (2)**, 360–393, Den Haag.
- ZIOLKOWSKI, A., W. E. LERWILL, D. W. MARCH & L. G. PEARDON (1980): Wavelet Deconvolution Using a Source Scaling Law.– Geophysical Prospecting, **28 (6)**, 872–901, Den Haag.

Summary

With the presented study, two different goals were set. The first goal was to optimize the field parameters for seismic reflection investigations in difficult areas in order to enhance the seismic image without increasing the costs. Difficult areas are defined as areas with water-unsaturated and unconsolidated coarse grained soil and mostly combined with a rough topography. From the preliminary results, we can show that it is more important to increase the seismic fold than to use high detonations for imaging the deep subsurface. But this statement needs further checking at several different investigation areas with similarly conditions. The second goal was to build 3D subsurface models in two different investigation areas. The databases have 2D seismic sections, geological maps and well data. Unfortunately, the target area of one investigation did not match the input data well. Therefore, the significance of the model was precarious, and additional field investigations were made.

Schlüsselwörter: Geophysik, 3D-Modellierung, Reflexionsseismik, Geothermie, Tiefen-aquifer

Keywords: Geophysics, 3D-modelling, seismic reflection, geothermal, deep aquifers