

Mitt. österr. geol. Ges.	78 (1985) Festschrift W. E. Petrascheck	S. 67-68 8 Abb.	Wien, 11. März 1986
--------------------------	-----------------------------------------------	--------------------	---------------------

Die seismische Faziesanalyse als Hilfsmittel der Braunkohlen-geologie und -prospektion

Von Franz WEBER

Mit 8 Abbildungen

Zusammenfassung

Die seismische Faziesanalyse oder Seismostratigraphie ist eine seit einem Jahrzehnt zunächst bei der Kohlenwasserstoffsuche angewandte Auswertungs- und Interpretationsmethode. Wesentliche Aspekte lassen sich auch auf Probleme der Braunkohlensuche anwenden. Die wichtigsten Parameter, auf denen das Verfahren aufbaut, sind: Reflexionsamplitude, Frequenz, Reflexionscharakter, Reflexionshäufigkeit, Reflexionskontinuität, Reflexionskonfiguration, seismofazielle Geometrie, Polarität, Intervallgeschwindigkeit.

Es werden die physikalischen Voraussetzungen und die komplexen Zusammenhänge mit den sedimentologischen und geologischen Faktoren erörtert. Die Chancen eines direkten Nachweises von Braunkohleflözen mittels Reflexionsseismik werden unter den gegebenen petrophysikalischen Verhältnissen der österreichischen Hoffungsgebiete diskutiert. Praktische Beispiele aus einer kürzlich begonnenen Prospektionskampagne bei Kaindorf/Oststeiermark und Bachselten/Burgenland geben einen Einblick in die Arbeitsweise der seismischen Faziesanalyse.

Summary

Seismic facies analysis or seismostratigraphy is a method of interpretation existing since one decade, used first of all in oil exploration. Essential aspects can also be transmitted to problems of lignite-prospection. The most important parameters of the procedure are: reflection amplitude, frequency, reflection character, abundance of reflections, reflection continuity, reflection configuration, geometry of the seismic facies sequences, polarity, interval velocity.

The physical causes and the complex relations with the sedimentological and geological factors are commented. The chances of a direct evidence of lignite seams by means of reflection seismic are discussed relating the given petrophysical conditions of Austrian prospection areas. Practical examples of a campagne performed in the Kaindorf (East Styria) and Bachselten (Burgenland) area give an insight in the practice of seismic facies analysis.

*) Adresse des Verfassers: Prof. Dr. F. WEBER, Institut für Geophysik der Montanuniversität Leoben, Franz-Josef-Straße 18, A-8700 Leoben, Österreich.

Inhalt

1. Einleitung	68
2. Elemente zur Definition der seismischen Fazies	69
3. Die Bedeutung der einzelnen reflexionsseismischen Parameter für die seismostratigraphische Aussage	72
3.1. Amplitude	72
3.2. Frequenz	72
3.3. Reflexionscharakter	73
3.4. Reflexionshäufigkeit	73
3.5. Reflexionskontinuität	73
3.6. Reflexionskonfiguration	74
3.7. Geometrie der seismischen Faziesseinheit	75
3.8. Polarität	75
3.9. Intervallgeschwindigkeit	75
4. Ansätze für Untersuchungen in österreichischen Braunkohlehoffnungsgebieten	76
4.1. Raum Kaindorf/Oststeiermark	77
4.2. Raum Bachselten/Burgenland	79
5. Über die Möglichkeit, Braunkohlenflöze reflexionsseismisch direkt nachzuweisen	83
6. Danksagung	84

Einleitung

Die seismische Faziesanalyse beruht auf der Verwendung charakteristischer reflexionsseismischer Parameter, auf Grund derer seismische Faziesseinheiten klassifiziert werden, die mit der Sedimentation in einem engen Zusammenhang stehen.

Während die seismische Faziesanalyse in der Kohlenwasserstoffsuche seit etwa zehn Jahren einen festen Platz hat, fehlt in der Braunkohlensuche ein analoges Konzept. Es wird daher im folgenden der Versuch unternommen, die Möglichkeiten dieser Methode zu erläutern und an Hand einiger Beispiele die Vorgangsweise bei der Interpretation von Messungen in österreichischen Hoffnungsgebieten zu schildern.

Die seismische Faziesanalyse und die im gleichen Sinn verwendete Seismostratigraphie nahmen ihren Ausgang zwar von der Suche nach stratigraphischen Ölfällen, für welche Problemstellung die damaligen Auswertungsverfahren vielfach ein zu geringes Auflösungs- und Aussagevermögen hatten. Es zeigte sich aber bald, daß die dabei entwickelte Methodik generell zur Untersuchung und Erkennung sedimentärer Strukturen geeignet ist. Dabei können in weiterer Folge Aussagen über das begleitende geologische Geschehen gemacht werden wie Hebungen, Senkungen, Transgression, Regression, Erosion, Transportrichtungen, Herkunftsgebiete. Trotz der Fülle der im Erdölbereich gesammelten Erfahrungen steht die Entwicklung eher erst am Anfang, wobei große Anstrengungen zur Verbesserung der seismischen Datenverarbeitung und der integrierten geologisch-geophysikalischen Interpretation gemacht werden.

Auch im Bereich der Kohlengeologie bahnt sich eine ähnliche Entwicklung in der Prospektion an, als neben der Erforschung der strukturellen Verhältnisse gleichrangig fazielle Untersuchungen erfolgen und somit in Verbindung mit geophysikalischen Aufschlußverfahren sich eine neue Prospektionsstrategie herausgebildet hat. NEBERT (1983, 1985) weist nach, daß die Kohle ein charakteristisches Faziesglied bildet und immer an einer bestimmten Stelle eines Sedimentationszyklus auftritt. Die

lithologische Analyse ergibt eine bestimmte Faziesfolge, wobei sich eine zyklische Gliederung abzeichnet. Dieses Konzept kann unter Einbeziehung aller bekannten petrophysikalischen Parameter als Basis für die Aufstellung von reflexionsseismischen Modellen und deren Vergleich mit den Felddaten dienen.

Da die wirtschaftlich bedeutungsvollen Braunkohlenvorkommen in mäßigen bis mittleren Tiefenbereichen exploriert werden, erscheint es auch nicht unrealistisch, Kriterien und Verfahren der seismischen Datenverarbeitung und Auswertung zu entwickeln, die, ähnlich den DHI-Methoden (direct hydrocarbon indicators) im Kohlenwasserstoffbereich, eine quasi direkte Erkennung von kohleführenden Gesteinsfolgen gestatten.

Es verdient in diesem Zusammenhang hingewiesen zu werden, daß eine Synthese von Kohlengeologie und Seismik schon viel früher versucht wurde. Bereits 1952 versuchte W. E. PETRASCHECK in der Arbeit „Inkohlung, seismische Wellen und Faltungsdruck“ Vorstellungen über die Größe der gebirgsbildenden Kräfte zu gewinnen. Die Schwierigkeit bestand jedoch damals auf Seiten der Seismik darin, stratigraphisch bedingte von tektonisch verursachten Geschwindigkeitsänderungen zu unterscheiden. Erst 24 Jahre später gelang es R. SCHMÖLLER (1976), im Südteil der Molassezone nach Auswertung zahlreicher Soniclogs quantitative Angaben über diese unterschiedlichen Geschwindigkeitsvariationen zu liefern.

Ein großer Fortschritt erfolgte durch die Einführung der Digitalseismik und hier wiederum durch neue Verfahren der Datenverarbeitung, wodurch ein Höchstmaß an Information aus dem reflexionsseismischen Signal herausgeholt wird. Bei der interaktiven seismischen Modellierung endlich werden alle vorhandenen geophysikalischen und geologischen Informationen eingebracht, die Resultate mit den Felddaten auf Verträglichkeit geprüft, bis ein den wahren geologischen Verhältnissen möglichst nahekommendes Bild der Untergrundsverhältnisse geliefert werden kann. Es gibt gute Gründe, daß diese im Erdölsektor praktizierte fachübergreifende Arbeitsmethodik auch auf die Kohlenprospektion und Sedimentgeologie übertragen werden kann, wofür es bereits vielversprechende Ansätze gibt. Es sei hier nur an die inhaltsschweren Ergebnisse der reflexionsseismischen Untersuchungen der Kontinentalränder und Schelfbereiche erinnert.

2. Elemente zur Definition der seismischen Fazies

Unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit – vor allem bei der routinemäßigen seismischen Auswertung – können folgende seismische Parameter zur Erkennung einer seismischen Fazies herangezogen werden:

Reflexionsamplitude

Reflexionsfrequenz

Reflexionscharakter

Reflexionshäufigkeit

Reflexionskontinuität

Reflexionskonfiguration

Seismofazielle Geometrie

Polarität

Intervallgeschwindigkeit

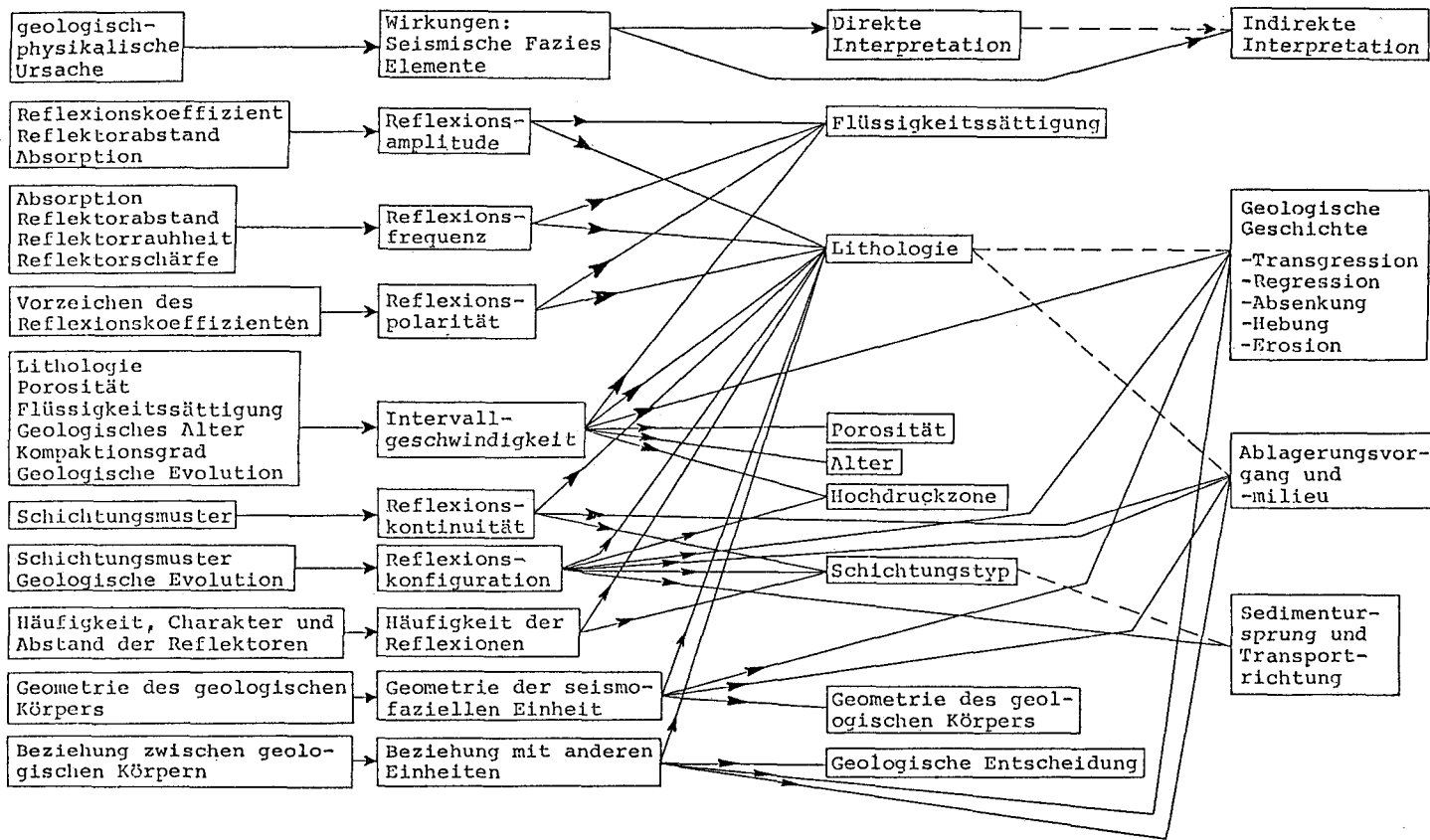


Abb. 1: Die Zusammenhänge zwischen den geologisch-physikalischen Ursachen, den seismischen Fazieselementen und der Interpretation, nach ROKSANDIĆ (1978).

Eine gute Übersicht über die geologisch-geophysikalischen Zusammenhänge wird von ROKSANDIĆ (1978), allerdings mehr vom Standpunkt der Kohlenwasserstoffsuche, gegeben (Abb. 1). Dabei ist es erforderlich, die grundlegenden physikalischen Voraussetzungen dieser Parameter zu berücksichtigen, um deren Auswertung in adäquater Weise durchzuführen. Zum einen ist die Entstehung einer Reflexion zu bedenken: diese kann durch Reflexion von der Oberkante einer im Verhältnis zur Wellenlänge der seismischen Welle mächtigen Schicht erfolgen; sie kann aber auch bei Wechsellagerung mehrerer geringmächtiger Horizonte durch Reflexion und Interferenz entstehen, wobei es zu Verstärkung oder Abschwächung der zusammengesetzten Reflexion kommen kann. Die Schichtgeometrie beeinflusst vor allem Amplitude, Frequenz und die Reflexionskontinuität. Die Frequenz ist aber auch abhängig vom eingebrachten seismischen Impuls. Die Reflexionsamplitude wird zwar maßgeblich von den Geschwindigkeits- und Dichteunterschieden der einzelnen Schichten beeinflusst, die quantitative Ermittlung ist jedoch ein sehr komplexer Vorgang.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist das Auflösungsvermögen der Reflexionsseismik, wovon andererseits die Erfassung der sedimentären Strukturen und deren Einzelheiten abhängt. Das Auflösungsvermögen hängt von der Wellenlänge der seismischen Wellen ab, die somit möglichst hochfrequent sein sollten. Dieser Forderung steht aber die Filterwirkung der Erde entgegen, wodurch die höherfrequenten Wellen stark gedämpft werden. Nach den bisherigen Erfahrungen ist es in den untersuchten Tertiärgebieten nicht möglich, trotz Anwendung aller einschlägigen Maßnahmen bei der Datengewinnung höhere Frequenzen als meist 80 Hz, in Ausnahmefällen bis 100 Hz, zu registrieren. Bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 2000 m/s würde eine Wellenlänge somit 25 m, höchstens 20 m, betragen. Nach WIDESS (1973) beträgt die Mindestmächtigkeit einer Einlagerung hoher Geschwindigkeit etwa $\lambda/8$, damit sie noch am Seismogram eine klar erkennbare Amplitude liefert.

Unabhängig von der Entstehung der Reflexion kann jedoch generell von einem Parallelverlauf zwischen den reflexionsseismischen Einsätzen und der Lagerung der verursachenden Schichten ausgegangen werden (Abb. 2).

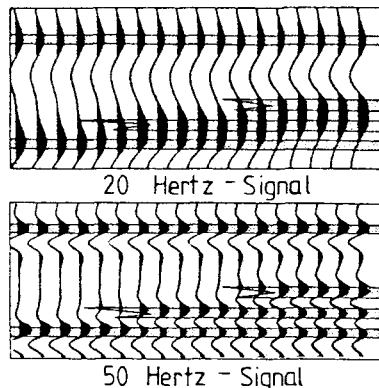


Abb. 2: Parallelverlauf von Schichten und Reflexionen, Wirkung der Frequenz, nach SANGREE und WIDMIER (1979).

Das reflexionsseismische Auflösungsvermögen ist eine von verschiedenen Faktoren abhängige Größe, und es wird in der Regel das seismische Modell eine mehr oder weniger große Vereinfachung der sedimentologischen Verhältnisse sein.

Die auf kohlengeologische Erkenntnisse ausgerichtete seismische Faziesanalyse gestattet bei der Interpretation insofern gewisse Vereinfachungen, als z. B. der Flüssigkeitsgehalt von porösen Schichten oder Vorkommen von Gas nicht berücksichtigt werden müssen.

3. Die Bedeutung der einzelnen reflexionsseismischen Parameter für die seismostratigraphische Aussage

3.1. Amplitude

Die Reflexionsamplitude war auch früher bei nur qualitativen Untersuchungen ein wichtiger Parameter. Quantitative Messungen sind erst seit der Einführung der Digitaleismik möglich, jedoch sind auch hier verschiedene Datenbearbeitungsschritte, wie Kalibrierung, etc. erforderlich, bevor auf einen Zusammenhang mit der Lithologie geschlossen werden kann. Grundsätzlich beinhaltet die Amplitude eine Information über die akustische Impedanz (Produkt aus Geschwindigkeit und Dichte). Der in der Natur häufige Fall mehrerer Horizonte bringt als weitere Einflußgröße den Abstand zwischen den reflektierenden Horizonten, wobei es bei bestimmten Mächtigkeitsverhältnissen zu konstruktiver und destruktiver Interferenz kommt. Die optimale Schichtmächtigkeit, die zu einer maximalen Amplitude infolge konstruktiver Interferenz führt, liegt bei $\lambda/4$ (λ = Wellenlänge der seismischen Welle). Es ist daher jede Flözfolge dahingehend zu analysieren, ob durch die gegebenen Mächtigkeitsverhältnisse eine Amplitudenverstärkung oder -abschwächung eintreten kann. Die Methode der komplexen Spurenanalyse ermöglicht nach TANER et al. (1979) aus der Lage des Maximums der phasenabhängigen Reflexionsstärke eine Aussage darüber, ob die Reflexion von einem einzigen Reflektor oder von mehreren Schichten herrührt.

3.2. Frequenz

Die Reflexionsfrequenz ist primär ein Charakteristikum des seismischen Impulses und hängt von dessen Ursprungsparametern ab. Für ein hohes Auflösungsvermögen wäre die Aufnahme hoher Frequenzen ein Postulat, dem jedoch die Filterwirkung der Gesteine entgegenwirkt. Experimentelle Untersuchungen (WEBER et al. 1985) haben ergeben, daß in den tertiären Hoffnungsgebieten die dominierende Frequenz der seismischen Wellen meist zwischen 50–80 Hz liegt. Die Frequenz wird jedoch auch von geologischen Faktoren (vertikale und laterale Änderungen der Lithologie, Teufenintervall zwischen den Reflektoren, Wassergehalt) beeinflusst. Theoretisch müßte ein Unterschied in der Reflexionsfrequenz sein zwischen einer Flözfolge mit entsprechend mächtigem Zwischenmittel und einem flözleeren Gebirge. Es steht noch nicht fest, ob die vermuteten Frequenzeffekte genügend groß sind, um als Indikator zu gelten. Dagegen kann die Frequenz als Hinweis für die Lage des Beckenuntergrundes dienen, da die Diskordanz an der Basis der sedimentären Folge oftmals mit einer kräftigen Reflexion tiefer Frequenz einhergeht.

3.3. Reflexionscharakter

Auch dieses Kriterium nimmt seit langem einen wichtigen Platz bei der Identifizierung eines seismischen Leithorizontes ein, der nach einer Identifizierung durch einen Tiefenaufschluß sodann in einem lokalen oder regionalen Bereich korreliert werden kann. Es wird hierbei Spur für Spur der zu analysierenden Reflexion einer seismischen Aufnahme auf Änderungen der Wellenform untersucht. Spezielle Vergrößerungen der wichtigsten Zeitabschnitte sowie Farbdarstellungen erleichtern das Erkennen von Charakteränderungen.

Durch die Technik der „synthetischen Seismogramme“ existiert ein weiteres bewährtes Verfahren, um verschiedene lithologische und stratigraphische Änderungen im Bereich des Reflektors ausfindig zu machen. Es wird hierbei der umgekehrte Weg beschritten, indem wahrscheinliche stratigraphische Modelle angenommen werden und deren petrophysikalische Charakteristika so lange variiert werden, bis weitgehende Übereinstimmung mit den Feldseismogrammen erzielt wird. Voraussetzung ist dabei das Vorhandensein eines Soniclogs, besser noch ergänzt durch ein Dichtelog aus einer Tiefbohrung. Auf die Braunkohlenproblematik bezogen, können damit bedeutungsvolle Fragestellungen analysiert werden, wie Anzahl der Flöze, Variation der Mächtigkeiten, Simulation des Auskeilens von Flözen, Änderungen in der Lithologie der Hangendschichten.

3.4. Reflexionshäufigkeit

Diese ist ein gewichtiger Hinweis dafür, daß in einer stratigraphischen Einheit mehr oder weniger große lithologische Änderungen auftreten. Dabei ist stets das durch die Frequenz der seismischen Wellen begrenzte Auflösungsvermögen zu berücksichtigen. Marine pelitische Abfolgen sind reflexionsarm, während eine die Kohlebildung begünstigende „thalatogene Phase“ im Sinne von K. NEBERT (1983) sich – entsprechende Mächtigkeit der einzelnen Gesteinskomplexe vorausgesetzt – in Form eines gehäuften Auftretens von Reflexionen bemerkbar machen könnte.

3.5. Reflexionskontinuität

Dieser Parameter hat zunächst grundlegende Bedeutung bei der Untersuchung der Lagerungsverhältnisse, da nur bei entsprechender Kontinuität eines reflexionsseismischen Horizonts dessen Darstellung in Kartenform möglich ist. Aus der Kontinuität eines Reflektors wird geschlossen, daß die petrophysikalischen Verhältnisse und die Gesteinsgeometrie sich horizontal nicht wesentlich ändern. Eine große Reflexionskontinuität läßt auf ruhige Sedimentationsbedingungen, meist in einem ausgedehnten Gebiet, schließen, was vornehmlich im marinen Milieu der Fall ist. Das Aufhören einer Reflexion bzw. eines reflexionsseismischen Leithorizontes kann bedeuten, daß eine Änderung der akustischen Impedanz (das Produkt aus Geschwindigkeit und Dichte) erfolgt ist, die in der Regel mit einer lithologischen Änderung einhergeht. Eine andere Ursache ist eine Abnahme der Mächtigkeit des die Reflexion verursachenden Horizonts. Genauerem Einblick in die Ursachen kann eine spezielle Datenverarbeitung z. B. Geschwindigkeitsanalyse, geben. Auskeilende Schichten sind oft durch Diffraktionserscheinungen gekennzeichnet. Oftmals

kann eine kartenmäßige Darstellung der Reflexionsverbreitung gegenüber der Profilauswertung insofern aufschlußreicher sein, als Zusammenhänge mit bekannten geologischen Gegebenheiten wahrscheinlich gemacht werden können.

3.6. Reflexionskonfiguration

Die Reflexionskonfiguration wird von der Art der Sedimentation, der Ausbildung von Schichtgrenzen, an denen Änderungen der akustischen Impedanz erfolgen, nachhaltig beeinflusst. Umgekehrt kann aus der Reflexionskonfiguration auf bestimmte sedimentäre Strukturen geschlossen werden und mittelbar auch auf Transportrichtung und Herkunftsgebiet. Die Reflexionskonfiguration ist ein relativ einfach zu erkennender Parameter, der lediglich eine einwandfreie Qualität der reflexionsseismischen Profile zur Voraussetzung hat. Nach SANGREE und WIDMIER (1979), ROKSANDIĆ (1978) werden grundsätzlich 3 Arten der Reflexionskonfiguration unterschieden: reflexionsfrei, geschichtet und chaotisch (Abb. 3). Während die

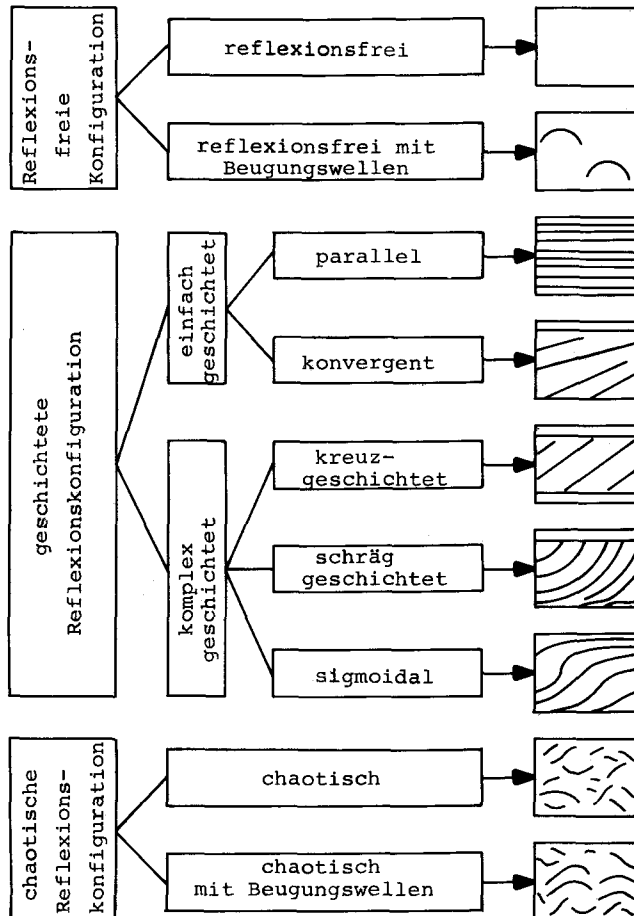


Abb. 3: Grundlegende Arten der Reflexionskonfiguration, nach ROKSANDIĆ (1978).

reflexionsfreie Konfiguration ein typisches Merkmal von Riffen und die chaotische von Salzstöcken und Diapiren ist, beide also für die Interpretation von Ölfällen Anwendung finden, ist beim Braunkohlenaufschluß primär die geschichtete Konfiguration von Interesse. Diese läßt sich wiederum in eine einfach geschichtete Konfiguration, bestehend aus paralleler und konvergenter Schichtung sowie in eine komplex geschichtete Konfiguration mit Kreuz-, Schräg- und sigmoidaler Schichtung einteilen. Schräg- und sigmoidale Schichtung findet sich häufig bei Deltahängen, so daß hier ein Schluß auf das Transportmedium und die Richtung möglich ist.

3.7. Geometrie der seismischen Fazieseinheit

Darunter wird die äußere Form der seismischen Fazieseinheit verstanden. Es werden verschiedene Grundformen unterschieden wie Platte, Linse, Keil, Fächer u. a. Ein dichtes Netz von seismischen Linien ist die Voraussetzung für die effiziente Durchführung dieses Schritts der Interpretation, der in eine 3dimensionale Betrachtungsweise mündet. Die Auswertung ergibt Beiträge zur Geometrie des geologischen Körpers (z. B. eines Riffs) sowie zu den Sedimentationsvorgängen und dem Milieu.

Eine Aufgabe dieses Parameters bei der kohlengeologischen seismofaziellen Analyse besteht darin, Aussagen über die Art der Beckenauffüllung zu tätigen. Schichtkomplexe mit hoher Sedimentationsenergie, wie Schotterfächer, Turbidite sind als für die Kohlebildung ungünstige Einflüsse besonders zu beachten.

3.8. Polarität

Polaritätsuntersuchungen sind nützlich, um Schichten mit abweichenden elastischen Eigenschaften aufzufinden. Dies geht darauf zurück, daß bei Reflexion einer Welle an einer Grenze mit negativem Reflexionskoeffizienten eine Umkehr der Polarität erfolgt (Verdichtung zu Verdünnung). Infolge der petrophysikalischen Eigenschaften der Braunkohle müßten die von Flözen herrührenden Reflexionen dieses Kriterium anzeigen, allerdings sind diese Effekte in der Praxis wesentlich komplizierter. Bei der komplexen Spurenanalyse könnte die in Profilform erfolgende Darstellung der scheinbaren Polarität eine nützliche Interpretationshilfe sein.

3.9. Intervallgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit von Sedimenten kann zwar grundsätzlich für lithofazielle Aussagen herangezogen werden, doch müssen zuvor die Randbedingungen geklärt werden. Denn die dabei interessierenden lithologischen und geologischen Faktoren sind nicht alleine ausschlaggebend für den Geschwindigkeitswert eines Sediments, weitere Einflußgrößen sind die Porosität, mineralogische Zusammensetzung, Wassergehalt, Kompaktion und Lagerungstiefe. Vielfach überschneiden sich sandig-tonige Gesteine in einem gewissen Bereich, auch werden die Unterschiede mit zunehmender Tiefe geringer, da die Geschwindigkeiten mit der Tiefe als Folge des zunehmenden Hangenddrucks zunehmen.

Zu beachten ist, daß die bei der reflexionsseismischen Geschwindigkeitsanalyse erzielten Werte der Intervallgeschwindigkeit über ein bestimmtes Laufzeitintervall,

das oft mehrere Zehntel Sekunden beträgt, berechnet werden. Diese stellen daher einen Durchschnittswert über einen bestimmten Teufenausschnitt dar, der durchaus eine unterschiedliche Lithologie aufweisen kann. Sogar geschwindigkeitsmäßig stärker abweichende Gesteine wie Kalke, Sandsteine und Konglomerate bleiben bei geringer Mächtigkeit im Bereich der Meßgenauigkeit. Da diese Geschwindigkeitsanalyse auf den reflexionsseismischen Profilen im Abstand von wenigen 100 m durchgeführt wird, können die erhaltenen Geschwindigkeitsdaten auch kartenmäßig dargestellt werden und gestatten dann Rückschlüsse auf das verursachende geologische Geschehen. Die Geschwindigkeit der Braunkohle ist zwar in Abhängigkeit vom Wasser- und Aschegehalt deutlich geringer als die der umgebenden Sande und Tone, eine direkte Interpretation auf Grund des Geschwindigkeitsparameters ist jedoch wegen der meist begrenzten Mächtigkeit der Flöze in Relation zum berechneten Zeitfenster bisher nirgends möglich gewesen.

Über die unmittelbare kohlengeologische Fragestellung hinaus interessant sind die Zusammenhänge zwischen der Geschwindigkeit, der Lagerungstiefe und dem geologischen Alter. Hier konnte FAUST (1951) auf Grund großräumiger Untersuchungen folgenden empirischen Zusammenhang angeben, der vielfach eine stratigraphische Einordnung größenordnungsmäßig gestattete:

$$V = K \cdot V^{1/6} \cdot T^{1/6}$$

K = Konstante, die 125,3 beträgt mit Z als Tiefe in Fuß, V = Geschwindigkeit in Fuß/s und T als geologisches Alter. Bei obigen Geschwindigkeitsangaben handelt es sich stets um diejenigen der Kompressionswellen. Seit mehreren Jahren wird – vor allem für Spezialprobleme – die Scherwellenregistrierung durchgeführt. Dadurch können nicht nur das Auflösungsvermögen verbessert und elastische Parameter bestimmt werden, sondern auch über das Verhältnis v_p/v_s , ein enger Zusammenhang mit der Lithologie gefunden werden. In wassergesättigten Sandsteinen schwankt nach GREGORY (1976) v_p/v_s in Abhängigkeit von der Porosität zwischen 1,42–1,98, während unverfestigte wassergesättigte Sande Werte über 2,0 aufweisen.

4. Ansätze für Untersuchungen in österreichischen Braunkohlehoffnungsgebieten

Hinsichtlich seismostratigraphischer Aussagen bei der Braunkohlesuche stehen wir in den österreichischen Hoffnungsgebieten erst am Anfang. Dies ist unter anderem darin begründet, daß infolge des großen Nachholbedarfs und auch aus Kostengründen die bisherigen Untersuchungen vornehmlich auf die Abklärung der Struktur und der Lagerungsverhältnisse hin ausgerichtet waren. Reflexionsseismische Messungen fanden zunächst nur sporadisch zur detaillierteren Analyse in jenen Hoffnungsgebieten statt, die zuvor durch Refraktionsseismik und Gravimetrie untersucht worden waren. Erst im Rahmen der von der Graz-Köflacher Bergbaugesellschaft im Gebiet von Bachselten-Groß Petersdorf seit 1982 durchgeführten Prospektionskampagne konnten wesentliche Voraussetzungen geschaffen werden, um auch seismostratigraphische Aspekte bei der Interpretation einzubeziehen. Als sehr vorteilhaft erwies sich der Umstand, daß durch Einbeziehung des reflexionsseismischen Meßnetzes der ÖMV-AG nunmehr ein umfangreiches Datenmaterial zur

Verfügung steht. Zu einer Schwerpunktverlagerung weg von der strukturellen Aussage führte auch die durch die Aufschlußbohrungen getätigte Erfahrung, daß ein Grundflöz fehlt und die Kohleführung auf den höheren Teil der tertiären Schichtfolge beschränkt ist.

Besonders im Anfangstadium der seismofaziellen Analyse, bei dem die Unterstützung durch den Anschluß an Bohrungen, Bohrlochmessungen etc. noch ungenügend ist, kann eine gewisse Mehrdeutigkeit in der Aussage oft nicht vermieden werden. Die nachstehenden Beispiele aus 2 Braunkohlehoffungsgebieten sollen einen Einblick in die Vorgangsweise dieser Auswertungsmethodik vermitteln, wobei zu betonen ist, daß wesentliche Verfahrensschritte, wie z. B. die komplexe Spurenanalyse, derzeit noch fehlen.

4.1. Raum Kaindorf/Oststeiermark

Der Profilausschnitt aus der Linie KDF-1 weist eine reflexionsseismische Charakteristik auf, die zunächst die Lagerungsverhältnisse problemlos ableiten läßt (Abb. 4, 5): Ein Reflektor mit einer Laufzeit von 0,2 s bei P 1405 läßt eine Einmündung mit Kern im Bereich von P 1755–1855 erkennen, an die sich eine Aufwölbung in Richtung NW anschließt. Reflexionselemente mit Laufzeiten unter 0,1 s zeigen jedoch einen davon deutlich verschiedenen Bau, nämlich söhlig

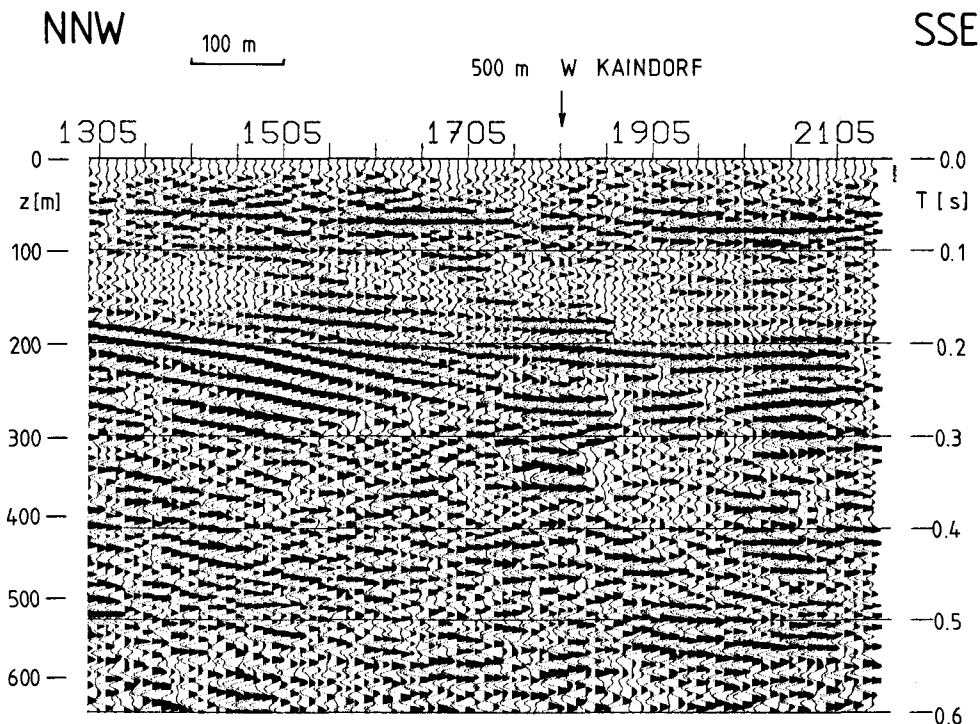


Abb. 4: Reflexionsseismisches Zeitprofil (Ausschnitt) in variabler Flächenschrift bei Kaindorf/Oststeiermark.

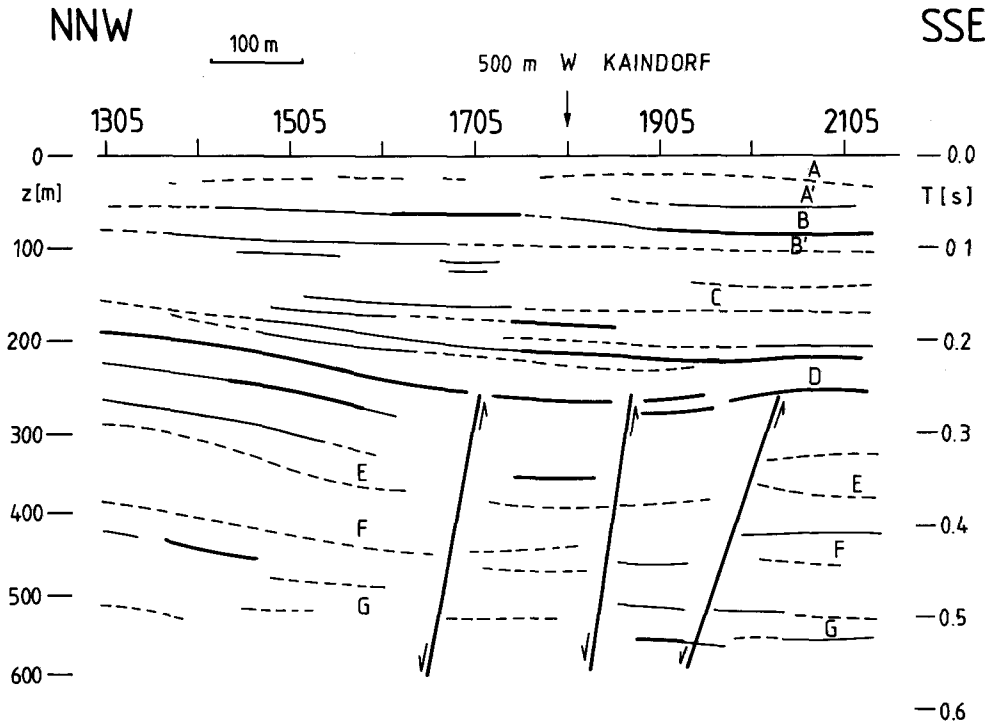


Abb. 5: Interpretation der Reflexionshorizonte des Profils Kaindorf.

rung und lokal ein ganz flaches südliches Einfallen. Eine wichtige Aussage vermittelt der Reflektor mit Laufzeit 0,17 s bei P 1505. Dieser fällt zunächst mäßig steil nach S ein und biegt etwa bei P 1955 in eine nahezu söhliche Lagerung ein. Zwischen diesem und dem erstgenannten tieferen Horizont liegt ein linsenförmiges Schichtglied, dessen Mächtigkeit nach N gegen die Aufwölbung zu insgesamt rasch abnimmt. Im Inneren dieser Linie sind zwar noch weitere Reflexionen zu erkennen, die sich jedoch durch geringe Kontinuität, schwache Amplitude, höhere Frequenz (bis 100 Hz), auch Konfiguration von den hangenden und liegenden Reflektoren deutlich unterscheiden. In diesem Stadium der Untersuchung ist daher eine vorläufige stratigraphische Einordnung von Nutzen. Bei dem Leithorizont, der die Basis der erwähnten Linse bildet, dürfte es sich auf Grund des Anschlusses an andere seismische Linien und der Charakterkorrelation um eine Reflexion von der Oberkante des Lithothamnienkalks des Badenien handeln. Die kräftige Amplitude, positive Polarität, nahezu konstante Frequenz von 80 Hz und die Schwingungsform verleihen dieser Reflexion den Charakter eines Leithorizonts. Eine Abnahme der Amplitude im Zentrum der Einmündung ist vermutlich auf Defokussierungseffekte zurückzuführen, sowie auf Brüche geringer Sprunghöhe. Bei dem Sedimentkörper im zentralen Bereich der Mulde dürfte es sich vermutlich um fluviatile Bildungen handeln, die sich gegen die Flanken hin mit anderen Gesteinen verzahnen bzw. auskeilen. Die den Abschluß nach oben bildende Reflexion leitet einen Bereich einer

ruhigeren Sedimentation (Untersarmat?) ein. Es sind aber auch im Abschnitt P 1605–1805 gegen NW auskeilende Schichten mit einer Mächtigkeit von höchstens 60 m möglich. Erst im darüber liegenden Abschnitt über 0,16–0,17 s läßt sich eine parallele Reflexionskonfiguration an Reflexionen schwacher Amplitude und geringer Erstreckung erkennen. Dies weist darauf hin, daß nur geringe Unterschiede in der akustischen Impedanz bestehen, was für tonige Sedimente mit eingelagerten Sanden sprechen könnte. Bei P 1505 ist im Zeitbereich von 0,13 s eine gegen SE zu erfolgende Schrägschichtung zu erkennen, was für eine Sandschüttung sprechen würde. In diesem Schichtpaket könnten sich die Oberen fluviatilen Sande nach NEBERT (1985) abbilden. Der schwache, z. T. unterbrochene Reflektor bei ca. 0,1 s, im S bis 0,11 s abfallend, wäre dann mit der Basis des Unterpannaons zu parallelisieren. Der kräftige flachliegende Reflektor bei ca. 0,06 s würde einen deutlichen Gesteinswechsel signalisieren, es wäre an die Oberkante der Tonmergelfolge (Pannon C bzw. up_2 nach NEBERT) zu denken oder an fester gelagerte Sande der darüberliegenden Ton-Sandfolge (up_3). Die nur mehr angedeuteten Reflexionen im Nahbereich von 0,03 s wären etwa Mittelpannon, das für die Kohlebildung besonders günstig ist.

Schwierigkeiten bereitet die Interpretation des unterhalb des Reflektors D gelegenen Abschnittes. Vor allem im Bereich der nördlichen Flanke treten mehrere zum Hangenden völlig konkordante Reflexionen kräftiger Amplitude auf, deren Frequenz aber im Zeitbereich von 0,26–0,29 s auf ca. 50 Hz abnimmt. Vermutlich handelt es sich noch um Schichten des Unteren Badenien, das somit im Muldenbereich bei P 1805 bis 0,34 s reichen würde. Die darunter liegenden Reflexionen lassen sich auf Grund der schwachen Reflexionsamplitude nur mit Einschränkungen in einem einheitlichen Horizont zusammenfassen und zeigen gewisse Divergenzen zur hangenden Reflexionsgruppe D. Es wäre daher an gröberklastische Sedimente des Karpats zu denken oder überhaupt an durch tiefgreifende Verwitterung schlecht reflektierende Gesteine des Grazer Paläozoikums. Die tiefstmögliche Lage der Tertiärbasis wird im SE des Profils bei ca. 0,44 s angenommen und würde bis P 1305 auf 0,38 s ansteigen.

4.2. Raum Bachselten/Burgenland

Das Meßgebiet Bachselten-Kleinpetersdorf befindet sich in dem an die Burgenländische Schwelle von Eisenberg-Kohfidisch anschließenden östlichen Randbereiche des Steirischen Beckens. Eine Kohlenprospektion und Aufschlußbohrungen wurden bereits vor mehr als 30 Jahren ausgeführt, die von K. NEBERT (1979) – ergänzt durch Kartierungen – unter kohlengeologischen Gesichtspunkten neu interpretiert wurden. Im Rahmen einer neuen, derzeit noch in Gang befindlichen Kohlenprospektionskampagne der Graz-Köflacher Bergbau Ges. war auch ein breit ausgelegtes geophysikalisches Meßprogramm inkludiert, in dessen Rahmen bisher 3 reflexionsseismische und 9 refraktionsseismische Linien gemessen wurden. Zusammen mit 10 reflexionsseismischen Linien der ÖMV-AG liegt nunmehr ein Datenmaterial vor, das über die wenigen Bohrungen hinaus eine gesicherte Aussage über die strukturellen Verhältnisse der Tertiärbasis und der Schichten der Beckenfüllung gestattete und auch den Versuch einer ersten lithofaziellen Interpretation möglich erscheinen ließ.

Die Reflexionsseismik läßt zahlreiche Horizonte erkennen, die eine unterschiedli-

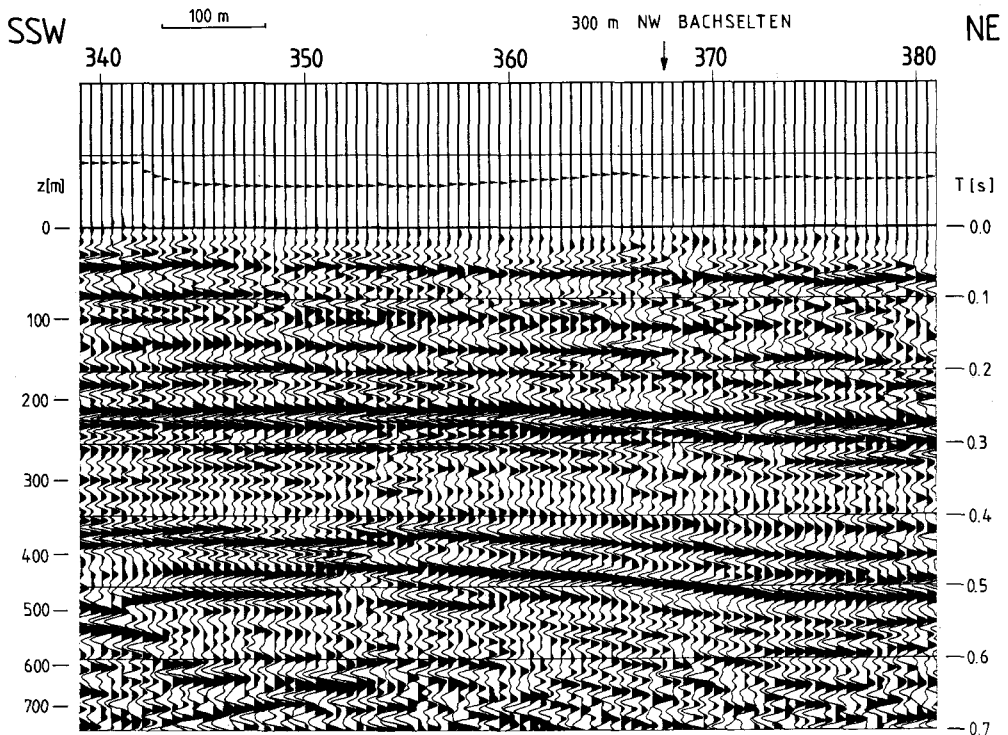


Abb. 6: Reflexionsseismisches Zeitprofil (Ausschnitt) in variabler Flächenschrift bei Bachselten/Burgenland.

che Verbreitung und Charakteristik aufweisen. Abb. 6, 7 sind ein Ausschnitt aus einem NE-SW verlaufenden Zeitprofil, bei dem zunächst 7 Reflexionshorizonte (A–G) für die Interpretation ausgesucht wurden. Eine regionale Verbreitung haben die Horizonte D, G und möglicherweise auch E. Eine begrenzte lithologische und stratigraphische Parallelisierung ist durch die Bohrung Bachselten, die ca. 500 m NW des Profils liegt, möglich. Die Bohrung hat zwischen 30 m und 76 m Teufe einen Oberen Flözhorizont und zwischen 138 m und 149 m einen Unteren Flözhorizont nach NEBERT et al. (1980) durchörtert. Die beiden Flözgruppen sind durch ca. 60 m Ton und Sandlagen getrennt. Die übrige Schichtfolge besteht aus sandigen Tonen, in denen bis 12 m mächtige Sandlagen eingeschaltet sind, während ab 339 m Tonmergel überwiegen. Das Grundgebirge, bestehend aus paläozoischem Dolomit, wurde in 576 m Teufe erreicht. Unmittelbar über dem Dolomit liegt ein ca. 4 m mächtiges Basiskonglomerat. Der Horizont G ist der Tertiärbasis bzw. der Oberkante des Paläozoikums zuzuordnen. Er ist in der Regel tieffrequent (~ 33 Hz), besteht aus 1–2 Phasen und ist dadurch ausgezeichnet, daß er über weite Strecken zwar den tiefsten, kontinuierlichen Reflektor großer Amplitude bildet, aber auch lateral starke Verminderungen der Reflexionsqualität aufweist, die bis zum völligen Verschwinden des Horizonts führen können.

Gebietsweise läßt dieser Reflektor ein beträchtliches Relief mit Aufragungen und

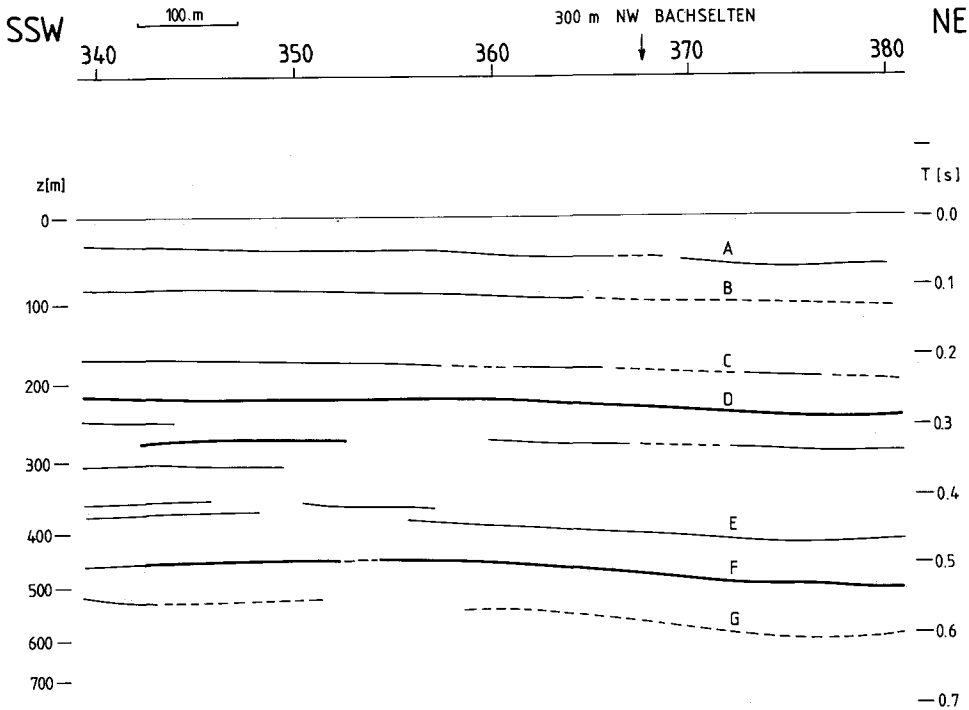


Abb. 7: Interpretation der Reflexionshorizonte des Profils Bachselten.

Einmündungen des Untergrundes erkennen, das durch eine Bruchtektonik noch verstärkt wird. Mangels geophysikalischer Bohrlochmessungen und darauf aufbauender weiterführender Datenbearbeitungen kann über die Ursachen der Amplituden- und Charakteränderungen nur vermutet werden. Eine Ursache könnte in einer tiefgründigen Verwitterung vor allem im Bereich der Grünschiefer und als Folge in einer mehr oder weniger großen Herabsetzung des Reflexionskoeffizienten gelegen sein, was mit Ergebnissen der Magnetik und Refraktionsseismik in Einklang steht. Auch Defokussierung als Folge eines kleinräumigen Reliefs und negativer Interferenz im Bereich der Tertiärbasis mögen eine Rolle spielen. Der Einfluß der Burgenländischen Schwelle bzw. einzelner Strukturelemente derselben läßt sich beckenwärts in Bezug auf das Relief nur bis auf wenige km von der obertätigen Tertiärgrenze verfolgen. Horizont F erstreckt sich ca. 70 ms über der Tertiärbasisreflexion und zeigt im Großteil des Profils parallele Konfiguration. Von P 352 gegen SW erfolgt eine Änderung des Reflexionscharakters durch Verbreiterung des positiven Einsatzes und Ausbildung zweier knapp hintereinander liegender Wellenberge, weiter gegen SW nimmt die Amplitude rasch ab und etwa bei P 340 verliert sich die Reflexion. Dafür setzt ca. 20 ms tiefer eine schwächere zur Tertiärbasis parallele Reflexion ein, die aber zum darüber befindlichen Reflektor E divergiert. In Sedimentation übersetzt könnte dies bedeuten, daß am Fuß einer Flanke eine Änderung der Sedimentation mit einer Verzahnung der Schichten (Übergang Sand-Ton?) erfolgt. Horizont E

ist der tiefste, durchgehende Leithorizont des Gebietes, der abschnittsweise höhere Amplituden aufweist als die darunter befindlichen Reflektoren. Änderungen des Reflexionsbildes im Abschnitt P 346–355 machen lithofazielle Änderungen wahrscheinlich. Weiter gegen NE schalten sich knapp über diesem Horizont weitere positive Einsätze ein. Es ergibt sich ein Reflexionsmuster, wie wir es von einer sandwichartigen Lagerung mehrerer Sande her kennen, die lagenweise auskeilen, so daß das Reflexionsband durch Interferenz zustandekommt. Reflexionen E–F bzw. E–G zeigen neben parallelem auch divergenten Verlauf, so daß an der Basis von Horizont E eine schwache Transgression stattgefunden haben kann.

Das Intervall zwischen den Horizonten D und E läßt nur wenige schwache, in beiden Richtungen nach wenigen hundert m wieder aussetzende Reflexionen erkennen. Es dürfte sich um vorwiegend tonige Schichten mit einzelnen Sandlagen handeln. Reflektor D ist ein Leithorizont erster Ordnung, der anscheinend in einem weiten Bereich über das Meßgebiet hinaus ausgebildet ist. Es besteht kein Zweifel, daß dieser Reflektor mit einer markanten lithologischen Änderung in Zusammenhang steht. Der Schwingungsform nach besteht er aus 2 markanten Wellenbergen (positiv) und einem dazwischen befindlichen Wellental. Die Amplituden zeichnen sich durch große Konstanz aus, die Frequenz beträgt um 40 Hz, mit Schwankungen bis 30 Hz. Profil- und kartenmäßige Darstellung des Reflektors D lassen gegenüber der Tertiärbasis abweichende, eigenständige Lagerungsverhältnisse erkennen mit separaten Muldenzonen und Hochlagen. Charakteristisch ist jedoch ein generelles Einfallen in östlicher Richtung gegen die Burgenländische Schwelle hin, die als regionale Kippung dieses Bereichs zu verstehen ist. Demnach findet sich im Meßgebiet durch die Reflexionsseismik das Bild bestätigt, das K. KOLLMANN (1960, 1965) von der Burgenländischen Schwelle als trennendes Element von Räumen unterschiedlicher Absenkung und Mächtigkeit gemacht hat.

Die höheren Horizonte A–C verlaufen anscheinend völlig parallel zum Leithorizont D, geringe Mächtigkeitsschwankungen sind nur über längere Profilstrecken zu erkennen. Die Reflexionsamplituden und Kontinuität sind deutlich gegeben, laterale Charakterveränderungen, so z. B. im Horizont B südlich von P 364, sind jedoch nicht zu übersehen. Der Horizont A weist insofern einen für die Korrelation bedeutungsvollen Reflexionscharakter auf, als er trotz seiner geringen Laufzeit noch zwei schwächere Vorphasen aufweist. Dieses Reflexionsband dürfte als Summation von mehreren dünnen Schichten unterschiedlicher Impedanz, nämlich der Kohlenflöze und der Zwischenmittel entstanden sein. Hier wären synthetische Seismogramme äußerst nützlich, um einen Vergleich der Änderung des Reflexionsbildes beim Auskeilen der Flöze zu erhalten. Der untere Flözhorizont scheint in Bezug auf seine Oberkante unterhalb des Reflektors B gelegen zu sein. Jedenfalls ist im Schichtintervall A–D eine lithologisch sich stärker ändernde Gesteinsfolge vorhanden als im Intervall D–E.

Wenn wir dieses Schema mit der lithostratigraphischen Gliederung von NEBERT (1979) vergleichen und die Bohrung Bachselten einbeziehen, dann könnte folgende Parallelisierung gegeben werden: Die Lignitfolge (op_2) reicht bis unter den Horizont B. Der Reflektor C und darüber sich erstreckende Einsätze sind wahrscheinlich mächtigere Sandlagen innerhalb der Ton-Sand-Folgen (op_1) und (up_4). Die petrophysikalisch bedeutungsvollste Änderung hat sich mit der Ausbildung des Reflek-

tors D ereignet. Als solcher ist der Übergang von der Ton- zur Tonmergelauusbildung an der Grenze von (up_3) zu (up_2) als naheliegend anzunehmen. Allerdings wäre dann die Tonfolge (up_3) nur sehr geringmächtig. Eine weitere Konsequenz wäre, daß dann das untere Pannon (up_2 und up_1) eine bedeutende Mächtigkeit (ca. 300 m) aufweisen würde, falls man nicht annimmt, daß das Intervall E-G bereits dem Sarmat zuzurechnen ist.

5. Über die Möglichkeit, Braunkohlenflöze reflexionsseismisch direkt nachzuweisen

Bei dieser Problemstellung handelt es sich darum, ob es ähnlich wie bei den DHI (direct hydrocarbon indicators)-Methoden der Kohlenwasserstoffsuche möglich ist, auf Grund reflexionsseismischer Parameter die Zahl der Erklärungsmöglichkeiten so weit einzuengen, daß das Vorhandensein von Braunkohlenflözen als spezifische Ursache einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit hat. Tatsächlich sind in jungen, wenig verfestigten Schichten DHI-Effekte ähnlich wie bei Gassanden bekanntgeworden. Um die Chancen in den österreichischen Braunkohlehoffnungsgebieten beurteilen zu können, muß von den dort gegebenen geometrischen und petrophysikalischen Parametern ausgegangen werden.

Labormessungen von Kohleproben aus dem weststeirischen Revier zeigen nach WEBER et al. (1985) für trockene Kohle Dichtewerte von $1,22 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, für wassergesättigte und tonhältige Kohle Werte von über $1,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. In situ-Dichtemessungen im Lavanttal mit dem Dichtelog ergaben Dichtewerte, die zwischen $1,3$ – $1,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ variieren. Lockergelagerte Sande haben eine Dichte von ca. $1,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, Tone sind durch etwas niedrigere Werte ausgezeichnet. Geschwindigkeitsmessungen (Longitudinalgeschwindigkeit) in anstehenden Flözen und an größeren Proben ergaben für die weststeirischen Kohlen Werte von 1000–1500 m/s. Es kann angenommen werden, daß die geologisch jüngeren Kohlen des oststeirischen Beckens Werte etwa im selben Geschwindigkeitsbereich aufweisen. Die begleitenden Tone weisen eine größere Schwankungsbreite hinsichtlich der Geschwindigkeiten auf. Während im Oberpannon des Raums Bachselten Geschwindigkeiten von 1550–1650 m/s vorherrschen, sind im nur wenig älteren Mittelpannon SW Hartberg höhere Geschwindigkeiten von 1900 m/s gemessen worden (Abb. 8). Generell kann also angenommen werden, daß an der Oberkante eines Braunkohleflözes ein negativer Reflexionskoeffizient in der Größenordnung von 0,23–0,40 auftritt, an der Basis der Flöze dagegen ein positiver Reflexionskoeffizient. Berechnungen unter Zugrundelegung von Mittelwerten der petrophysikalischen Parameter und einer Hauptfrequenz der reflexionsseismischen Wellen von 70 Hz ergeben, daß ein Braunkohlenflöz eine Mindestmächtigkeit von 10 m besitzen müßte, um eine Reflexion von der Oberkante des Flözes zu liefern. Da solche Mächtigkeiten weit über den Werten liegen, die von den innerhalb der tertiären Schichtfolgen gelegenen Flözgruppen bekannt sind, ist hier mit einer anderen Entstehung der Reflexionen zu rechnen. Bei entsprechender Mächtigkeit der Zwischenmittel kann durch positive Interferenz eine Reflexion großer Amplitude von einer Flözserie, bestehend aus einer Folge mehrerer Einzelflöze, entstehen. Ein spezielles Processing mit Amplitudendarstellung bietet die Möglichkeit, durch Analyse der Erstreckung der Amplitudenmaxima ein Maß

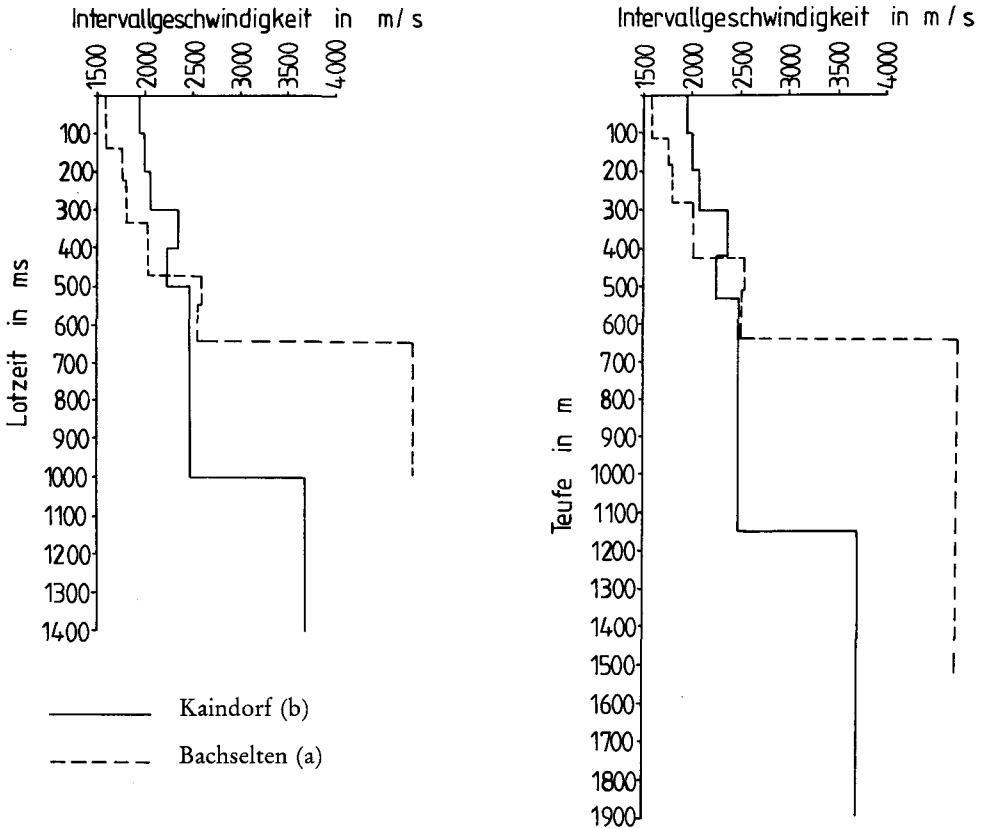


Abb. 8: Geschwindigkeits-Lotzeitfunktion und Geschwindigkeits-Tiefenfunktion der Profile Bachselten (a) und Kaindorf (b).

für die Verbreitung von Flözhorizonten zu geben. Wesentlich wären weiters synthetische Seismogramme und Pseudoimpedanzlogs, durch welche Hilfsmittel ebenfalls jene Reflexionscharakteristik erforscht werden kann, die für eine kohleführende Sedimentfolge typisch ist. Voraussetzung dafür ist jedoch das Vorhandensein einer Tiefbohrung, in der ein Soniclog gemessen wurde, was derzeit nicht der Fall ist. Aus der Intervallgeschwindigkeit heraus dürfte kaum ein Schluß auf das Vorhandensein oder Fehlen von Kohleflözen möglich sein, dazu sind die Geschwindigkeitsunterschiede zu gering und die Reflexionen in zu großem zeitlichen Abstand ausgebildet.

6. Danksagung

Für die Genehmigung zur Veröffentlichung von Ergebnissen einer Auftragsforschung ist der Autor der Geschäftsleitung der Graz-Köflacher Bergwerks- und Eisenbahn Ges., insbesondere Herrn Bergdirektor Dipl.-Ing. L. Schön und Herrn Berginspektor Dipl.-Ing. G. Dauner – VÖEST-ALPINE, zu größtem Dank verpflichtet. Herrn Markscheider Dipl.-Ing. A. Magele wird für die Betreuung der

Feldarbeiten und deren Planung sowie Diskussion der Ergebnisse bestens gedankt. Die Datenverarbeitung wurde von der Abteilung Geophysik der ÖMV-AG durchgeführt, wofür der Autor Herrn Bergrat Dipl.-Ing. Dr. mont. H. Spörker, Dr. E. Steiger und Dipl.-Ing. W. Klammer herzlichst dankt.

Literatur

- BRANDL, W.: Neue geologische Beobachtungen im Tertiärgebiet von Hartberg. – Mitt. natwiss. Ver. Steiermark., **81/82**, Graz, S. 108–111, 1952.
- COOK, E. E. and TANER, M. T.: Velocity spectra and their use in stratigraphic and lithologic differentiation. – Geophys. Prosp., **17**, S. 433–448, 1969.
- DAVIS, T. L.: Seismic-stratigraphic facies analysis, Cretaceous of Rockies. – Oil and Gas J., Nov. 5, S. 140–146, 1979.
- FAUST, L. Y.: Seismic velocity as a function of depth and geologic time. – Geophysics, **16**, S. 192–206, 1951.
- FLÜGEL, H. & HERITSCH, H.: Das Steirische Tertiär-Becken. – Sammlung geol. Führer (Hrsg. F. LOTZE), **47**, 196 S., Berlin–Stuttgart (Bornträger), 1968.
- GEUTEBRÜCK, E.: Übersicht über die kohleführenden und kohlehöffigen Tertiärgebiete der Steiermark. – Unveröff. Bericht, Forschungsprojekt 2975, Geol. B.-A., Wien 1980.
- GREGORY, A. R.: Fluid saturation effects on dynamic elastic properties of sedimentary rocks. – Geophysics, **41**, S. 895–921, 1976.
- JANOSCHECK, R.: Das Grazer Becken. – [In:] Erdöl in Österreich, Wien (Natur und Technik, S. 86–92, 1957.
- KOLLMANN, K.: Das Neogen der Steiermark (mit besonderer Berücksichtigung der Begrenzung und seiner Gliederung). – Mitt. geol. Ges. Wien, **52**, Wien, S. 159–167, 1960.
- KOLLMANN, K.: Jungtertiär im Steirischen Becken. – Mitt. geol. Ges. Wien, **57/2**, Wien, S. 479–632, 1965.
- LÜTTIG, G.: Typen von Braunkohlen-Lagerstätten. – Geol. Jb., **89**, Hannover, S. 407–417, 1971.
- MECKEL, Jr., L. D. & NATZ, A. D.: Geologic considerations for stratigraphic modeling and interpretation. [In:] C. E. PAYTON [ed.]: Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration. Mem. amer. Assoc. Petrol. Geol., **26**, S. 417–438, 1977.
- NEBERT, K.: Sedimentologisch-stratigraphische Untersuchungen im Jungtertiär südwestlich von Hartberg (Oststeiermark). – Berg- u. hüttenmänn. Monh., **96/1–3**, Wien, S. 9–14, 30–37, 50–57, 1951.
- NEBERT, K.: Die pliozäne Schichtfolge in der Pöllauer Bucht (Oststeiermark). – Jb. geol. B.-A., **95/1**, Wien, S. 103–118, 1952.
- NEBERT, K.: Die Ergebnisse der kohlengeologischen Untersuchungen im Neogengebiet südlich der Schieferinsel von Eisenberg. – Unveröff. Bericht, Forschungsvorhaben 2975, Geol. B.-A., Wien 1977 a.
- NEBERT, K.: Die Ergebnisse der kohlengeologischen Untersuchungen im Neogengebiet zwischen der Schieferinsel von Rechnitz und jener von Eisenberg. – Unveröff. Bericht, Forschungsvorhaben 2975, Geol. B.-A., Wien 1977 b.
- NEBERT, K.: Die Ergebnisse der kohlengeologischen Untersuchungen im Neogengebiet von Strem, Südburgenland. – Unveröff. Bericht, Forschungsvorhaben 2975, Geol. B.-A., Wien 1977 c.
- NEBERT, K.: Die Lignitvorkommen Südburgenlands. Jb. geol. B.-A., **122**, S. 143–180, 1979.
- NEBERT, K., GEUTEBRÜCK, E. & TRAUSSNIG, H.: Zur Geologie der neogenen Lignitvorkommen entlang des Nordostsporns der Zentralalpen (Mittelburgenland). – Jb. geol. B.-A., **123/1**, Wien, S. 39–112, 1980.
- NEBERT, K.: Die Kohle als Faziesglied eines Sedimentationszyklus. – Berg- u. hüttenm. Monh., **128/4**, Wien, S. 106–112, 1983.
- NEBERT, K.: Kohlengeologische Erkundung des Neogens entlang des Ostrand der Zentralalpen. – Arch. Lagerst.forsch. geol. B.-A., **6**, S. 23–77, 1985.

- NEIDELL, N. S. & POGGIAGLIOLMI, E.: Stratigraphic modelling and interpretation – geophysical principles and techniques. – [In:] C. E. PAYTON [ed.]: Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration. – Mem. amer. Assoc. Petrol. Geol., **26**, S. 389–416, 1977.
- O'DOHERTY, R. F. & ANSTEY, N. A.: Reflections on amplitudes. – Geophys. Prospect., **19**, S. 430–538, 1971.
- PAPP, A.: Umfang und Gliederung des oberen Miozäns im Mittelmeergebiet und in Mitteleuropa. – Mitt. geol. Ges. Wien, **52**, Wien, S. 169–176, 1960.
- PETRASCHECK, W. E.: Inkohlung, seismische Wellen und Faltungsdruck. – Verh. geol. B.-A., Sdh. C, Wien, S. 46–49, 1952.
- ROKSANDIĆ, M. M.: Seismic Facies Analysis Concepts. – Geophys. Prospect., **26**, S. 383–398, 1978.
- ROKSANDIĆ, M. M.: Stratification and reflections. – First Break, **3**, Oxford, S. 9/9–9/16, 1985.
- RUTTNER, A.: Zur Geologie niederösterreichischer und burgenländischer Kohlenvorkommen. – Verh. geol. B.-A., Sdb. C, Wien, S. 67–71, 1952.
- SANGREE, J. B. & WIDMIER, J. M.: Interpretation of depositional facies seismic data. – Geophysics, **44**, S. 131–160, 1979.
- SCHEPERS, R.: High resolution near surface reflection measurements using a vertical array technique. – J. Geophys., **43**, S. 791–806, 1977.
- SCHMIDT, W.: Die Schieferinsel am Ostrand der Zentralalpen. – Mitt. geol. Ges. Wien, **47**, Wien, S. 360–365, 1954.
- SCHMÖLLER, R.: Die Erfassung von vertikalen und lateralen Änderungen seismischer Geschwindigkeiten am Beispiel des Ölfeldes Voitsdorf in Oberösterreich. – Verband d. wissenschaftl. Gesellschaften Österreichs. ISBN 3-85369-419-5, Wien 1980.
- SCHMÖLLER, R. & WEBER, F.: Seismostratigraphie als Hilfsmittel bei der Braunkohlenerkundung Österreichs. – Zeitschr. f. Angew. Geologie, Berlin, in Druck.
- SCHRAMM, Jf. M. W., DEDMAN, E. V. & LINDSEY, J. P.: Practical stratigraphic modelling and interpretation. – [In:] C. E. PAYTON [ed.]: Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration. – Mem. amer. Assoc. Petrol. Geol., **26**, S. 477–502, 1977.
- SHERIFF, R.: Limitations on resolution of seismic reflections and geologic detail derivable from them. – [In:] C. E. PAYTON [ed.]: Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration. – Mem. amer. Assoc. Petrol. Geol., **26**, S. 3–14, 1977.
- TANER, M. T., KOEHLER, F. and SHERIFF, R. E.: Complex seismic trace analysis. – Geophysics, **44**, S. 1041–1063, 1979.
- WEBER, L. & WEISS, A.: Bergbaugeschichte und Geologie der österreichischen Braunkohlenvorkommen. – Arch. Lagerst.forsch. geol. B.-A., **4**, Wien, 317 S., 1983.
- WEBER, F., SCHMÖLLER, R. & SCHMIDT, Ch.: Reflexionsseismische Messungen mit hohem Auflösungsvermögen zur Strukturerkundung in der Braunkohle. – Freiburger Forschungsh., Serie C, **408**, S. 20–37, Freiberg 1985.
- WIDESS, M. B.: How thin is a thin Bed? – Geophysics, **38**, Tulsa, S. 1176–1180, 1973.
- WINKLER-HERMADEN, A.: Die jungtertiären Ablagerungen an der Ostabdachung der Zentralalpen und das inneralpine Tertiär. – [In:] F. X. SCHAFFER, [Hrsg.]: Geologie von Österreich, Wien (Deuticke), S. 414–522, 1951.
- WINKLER, A.: Über die sarmatischen und pontischen Ablagerungen im Südostteil des Steirischen Beckens. – Jb. geol. B.-A., **77**, Wien, S. 393–456, 1927.
- ZAPFE, H.: Die geologische Altersstellung österreichischer Kohlenlagerstätten nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis. – Berg- u. hüttenm. Monh., **101**, Wien, S. 71–81, 1956.

Bei der Schriftleitung eingelangt am 14. November 1985.