

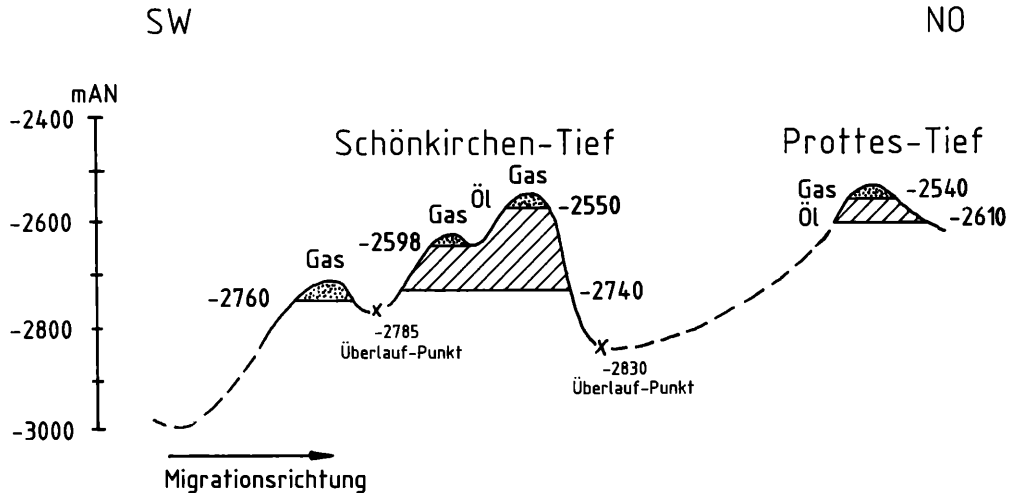


Abb. 23. Schematischer Schnitt der Lagerstätten im kalkalpinen Beckenuntergrund

Literaturauswahl für das Hauptkapitel II.1.8.:

BURSCHTAR, M. S. & NASAROW, D. A. 1976;
CHAPMAN, R. E. 1976 und 1982; DAHLBERG,

E. C. 1982; LANGGUTH, H.-R. & VOIGT, R.
1980; PÄTZ, H. & JORDAN, H. 1980; PÄTZ, H.
1981; POOLEN, H. K. v. & BATEMAN, S. J.
1958; SCHRÖCKENFUCHS, G. 1975.

II.1.9. Regionale Gesetzmäßigkeiten für KW-Vorkommen

von Friedrich BRIX

II.1.9.1. Einleitende Bemerkungen

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts werden Erdöl- und Erdgaslagerstätten gesucht, gefunden und daraus gefördert. Die dabei weltweit gemachten Erfahrungen und gewonnenen Erkenntnisse machen es möglich, eine Reihe von Regeln aufzustellen und Vorstellungen zu entwickeln, die es gestatten, Gebiete mit höheren von Gebieten mit geringeren Fundchancen zu trennen. Im Kapitel II.1.9.4. soll außerdem versucht werden, in zusammenfassender Weise jene Überlegungen darzustellen, die zur Vorbereitung der Prospektionsarbeiten notwendig erscheinen.

KW-Lagerstätten kommen fast nur in Sedimentationsbecken vor. Eine Reihe solcher Becken befindet sich, verursacht durch tektonische Kräfte, nicht mehr am Ort ihrer Entstehung. Auf der Erde gibt es rund 600 Becken verschiedener Größe

und Entstehung, wovon etwa 41 bereits untersucht (exploriert) wurden. Davon hat sich in rund 160 Becken eine wirtschaftliche Förderung ergeben. In größeren Becken sind dabei in verschiedenen Tiefenlagen und verschiedenen Strukturteilen oft zahlreiche Lagerstätten gefunden worden. Abgesehen von der Fündigkeit sind etwa 270 große Becken bekannt, die zusammen eine Fläche von rund 62 Mio. km² einnehmen, das sind 12,2 % der Erdoberfläche von 510,1 Mio. km².

Das Gesamtvolumen aller Sedimente wird mit rund 920 Mio. km³ angegeben (Tabelle 7), wovon 53 % am heutigen Festland, 20 % in den gegenwärtigen Schelfgebieten (einschließlich Kontinentalrand und Kontinentalfuß) und 27 % in den ozeanischen Tiefseebecken (einschließlich der Tiefseegräben) liegen. Wie aus der Tabelle 7 weiter hervorgeht, beträgt heute

Tabelle 7: Verteilung, Volumina und durchschnittliche Mächtigkeit der Sedimente auf der Erde. Mit Benützung der Arbeiten von H. BLATT 1970, H. BLATT & R. L. JONES 1975, H. FÜCHTBAUER & G. MÜLLER 1977, A. B. RONO 1968, F. J. PETTJOHN P. E. POTTER & R. SIEVER 1973, E. SEIBOLD & W. H. BERGER 1982, H. VOSSMERBÄUMER 1976 zusammengestellt und bearbeitet von F. BRIX, 1991

Faziesbereiche	Fläche in Mio. km ²	das sind %	Volumina in Mio. km ³	das sind %	Mittl. Mächtigkeit in km
Festland ohne Sedimente	52,2	10,2	–	–	–
Festland mit Sedimenten	96,9	19,0	488	53,2	ca. 5
Schelf, Kontinentalabhang und Kontinentalfuß	82,0	16,1	184	20,0	ca. 2,2
Ozean. Tiefseebecken und Tiefseegräben	279,0	54,7	248	27,0	ca. 0,9
Gesamterde	510,1	100	920	100	ca. 1,8

die mittlere Mächtigkeit der Sedimente am Festland rund 5 km, in den Schelfgebieten bis zum Kontinentalfuß rund 2,2 km und in den ozeanischen Tiefseebecken nur rund 0,9 km.

Schon im Kapitel II.1.1. wurde angeführt, daß es einen Zusammenhang zwischen KW-Ansammlung und Sedimentationsrate gibt. Daraus kann abgeleitet werden, daß die Wahrscheinlichkeit in einem bestimmten Sedimentationsraum KW-Lagerstätten zu finden um so größer ist, je mächtiger die Ablagerungen sind. Allerdings müssen bei diesen Überlegungen auch alle jene weiteren Faktoren berücksichtigt werden, die in den Kapiteln II.1.1. bis II.1.8. schon genannt wurden.

Zwischen 0,1 und 0,4 % des organischen Kohlenstoffs (C_{org}), der gegenwärtig von den pflanzlichen und tierischen Lebewesen vorwiegend im marinen Bereich gebildet wird, kann in bestimmten Sedimenten erhalten bleiben. Dieser Prozentsatz wird auch, etwa in dieser Größenordnung, für die geologische Vergangenheit anzunehmen sein. Nur in besonders begünstigten Gebieten, heute z. B. in der Bodenzone des Schwarzen Meeres, kann die Erhaltungsrate von C_{org} mit bis 4 % angenommen werden.

Je mächtiger ein Sedimentkörper ist, um so tiefer werden die basalen Teile abgesunken und damit in einen thermischen Bereich gelangt sein, der die Reifung (Ma-

turation) von im Sediment enthaltenem Kerogen ermöglicht und beschleunigt.

Es wird nun versucht, einige wesentliche Gesetzmäßigkeiten für die Anhäufung und Erhaltung von organischer Substanz sowie für die Bildung von KW-Lagerstätten darzustellen.

II.1.9.2. Plattentektonik und KW-Bildung

Plattentektonik: Diese beruht auf einem globalen geologischen Konzept, das durch zahlreiche, sehr überzeugende geologische, geophysikalische, biogeographische und geomorphologische Beweisstücke belegt ist. Die Erdkruste besteht aus einer Anzahl größerer und kleinerer Platten unterschiedlicher Dicke, die im Laufe der Erdgeschichte sehr verschiedene Positionen eingenommen haben. Man unterscheidet schwerere, weniger dicke ozeanische Platten mit einer dünneren Sedimenthaut und leichtere, wesentlich dickere kontinentale Platten mit einer oft sehr mächtigen Sedimentbedeckung.

Die Platten können voneinander wegwandern (pro Jahr zwischen 1 und 10 cm) wobei die Erdkruste aufreißt und glutflüssiges Magma aus dem Erdmantel hochdringt. Dabei werden die mittelozeanischen Rücken mit einem Zentralgraben (Rift) gebildet. Diese Rücken durchziehen als gewaltige untermeerische Gebirgszüge girlandenförmig die Ozeane und sind etwa 60.000 km lang.

Die Platten können aufeinander zudriften, wobei z. B. beim Zusammenstoß einer ozeanischen mit einer kontinentalen Platte die erstgenannte subduziert wird, das heißt sich tief unter die kontinentale Platte schiebt (Subduktion). Dabei kommt es zur Bildung großer und langer Gebirgsketten, wie der Rocky Mountains, der Anden, des Alpen-Karpatenbogens.

Dann können die Platten aneinander vorbeigleiten, es entstehen sogenannte Transversalstörungen, als Beispiel sei die San-Andreas-Verwerfung in Kalifornien genannt. Schließlich vollführen fast alle Platten bei diesen Vorgängen auch Kipp-, Hebungs-, Senkungs- und Drehbewegungen.

Als Nebeneffekt der Subduktion gibt es ebenfalls vulkanische Erscheinungen, hervorgerufen durch bis 700 km abgetauchte ozeanische Platten, deren Gesteine einschließlich der Sedimenthaut teilweise aufgeschmolzen werden und die Schmelze an verschiedenen Stellen wieder an die Erdoberfläche gelangt. Dabei wird die kontinentale Platte durchstoßen, es entstehen Vulkane, die im Laufe der Geschichte oft mehrmals aktiv werden. Ein Beispiel dafür ist der Ausbruch des Mount St. Helens im Westen der USA im Mai 1980, wobei etwa 8 Milliarden Tonnen vulkanisches Gestein ausgeworfen wurden.

Eine weitere Folge der Plattentektonik sind die zahlreichen Erdbebenherde, die mit den Plattengrenzen verknüpft sind. Der Antriebsmechanismus der Plattenbewegungen wird in gewaltigen Konvektionsströmungen glutflüssiger Gesteinsmassen im Erdmantel vermutet.

Bei der heute schon möglichen Rekonstruktion der Lage der einzelnen kontinentalen Großplatten in verschiedenen geologischen Zeitabschnitten zeigte es sich, daß in der Triaszeit (195 bis 230 Millionen Jahre vor der Gegenwart) diese Platten zu einem einheitlichen Kontinent, genannt Pangäa, zusammengedrückt waren. Erst in der daran anschließenden Jurazeit (Lias = unterer Jura) begann wieder ein Auseinanderdriften, das schließlich zur heutigen Verteilung von Land und Meer führte.

Da sowohl die Plattentektonik wie die Verteilung von KW-Lagerstätten globale

Erscheinungen sind, wird nun untersucht, welche Beeinflussungen bei der Entstehung von KW und deren Lagerstätten zu beobachten sind.

Bildung organischer Substanz: Sowohl am Festland wie in den Ozeanen wird organische Substanz gebildet. Für die Entstehung von Kohlenwasserstoffen ist aber nur jene Biomasse von Bedeutung, die vom Festland in die Meere transportiert wird, bzw. in den Meeren selbst entsteht. Die Menge der in den Meeren gebildeten organischen Substanz ist dabei weit überwiegend. Die ozeanologische Forschung ergab, daß in den verschiedenen Bereichen der Ozeane sehr unterschiedliche Mengen an Biomasse produziert werden. Fast überall aber war die Zusammensetzung so, daß das Phytoplankton (pflanzliches Plankton, z. B. Algen), das Phytobenthos (am Meeresboden lebende Pflanzen) sowie Bakterien im Meerwasser und im obersten Meeresboden meist mehr als 75 % der gesamten Biomasse ausmachten.

Die Erdoberfläche ist in einen Festlandanteil mit 149,1 Mio. km² (29,2 %) und in einen Ozeanteil mit 361 Mio. km² (70,8 %) zu teilen, das ergibt 510,1 Mio. km² für die gesamte Erdoberfläche. Die Meeresoberfläche ist in die Schelfbereiche mit 29 Mio. km² (weitere Unterteilungen siehe Tabelle 8), die Kontinentalabhängige (einschließlich Kontinentalfuß) mit 53 Mio. km² und den Tiefseebereich (einschließlich der Tiefseegräben) mit 279 Mio. km² zu gliedern, was wieder die Summe von 361 Mio. km² ergibt.

In Tabelle 8 wird die weltweite Produktion an Phytoplankton und Phytobenthos, aufgeteilt auf die verschiedenen Lebensbereiche im Meer, dargestellt. Die weitaus ergiebigste Produktion ist im Gebiet von Flußmündungen sowie in Riff- und Algenmattenzonen ausgewiesen. Von Wichtigkeit sind aber die Gebiete mit aus der Tiefe aufquellenden, kalten, nährstoffreichen Wässern (mit Phosphat- und Nitratanreicherungen), die heute an den Westküsten Afrikas sowie Nord- und Südamerikas auftreten. Insgesamt werden gegenwärtig pro Jahr im gesamten Ozeanbereich fast 25 Mrd. Tonnen C_{org} nur aus

Tabelle 8: Weltweite Primärproduktion an Phytoplankton und Phytobenthos

Ökosystem	Fläche in Mio. km ²	%	C _{org} in Mrd. t/Jahr	%	Gramm C _{org} m ² /Jahr	% t C _{org} % Fläche
Algenmatten und Riffe	0,6	0,16	0,7	2,82	1166,7	17,63
Flußmündungen	1,4	0,39	1,0	4,03	714,3	10,33
Aufquellende Wasserzonen	0,4	0,11	0,1	0,40	250,0	3,37
Restl. Schelfgebiete	26,6	7,37	4,3	17,35	161,7	2,35
Gesamtschelf	29,0	8,03	6,1	24,60	210,3	3,06
Offener Ozean inkl. Kontinen- talabhang u. Kontinentalfuß	332,0	91,97	18,7	75,40	56,3	0,82
Gesamtozean	361,0	100	24,8	100	68,7	—

Nach Ph. ALLEN & J. R. ALLEN, 1990, Seite 318.

Pflanzensubstanzen produziert, davon sollten zwischen 25 Mio. Tonnen (= 0,1 %) und 100 Mio. Tonnen (= 0,4 %) für eine spätere KW-Bildung erhalten bleiben. Noch nicht gerechnet sind dabei die Biomassen, die aus dem Zooplankton (tierisches Plankton) und dem Zoobenthos stammen. Eine spätere KW-Bildung ist aber nur möglich, wenn entsprechende Mengen an Biomasse in einem reduzierenden Milieu (d. h. frei an Sauerstoff) zur Ablagerung kommen (siehe auch Kapitel II.1.1.2.), wo dann das Stadium der Diagenese des organischen Materials beginnen kann (Kapitel II.1.1.4.).

In der geologischen Vergangenheit wurden etwa 90 % aller heute bekannten KW-Lagerstätten ab der Jurazeit, mit einem Schwerpunkt in der Kreide- und Tertiärzeit, gebildet. Dies läßt den Schluß zu, daß dazu globale Ereignisse die Veranlassung waren. Mit dem schon erwähnten Auseinanderdriften von Pangäa in der unteren Jurazeit wurde eine neue paläogeographische Entwicklung eingeleitet. Damit erfolgte aber eine wesentliche Verlängerung der Küstenlinien, wie folgendes Beispiel zeigt: bei der Annahme einer Fläche Pangäas von 150 Mio. km² ergibt das eine Küstenlänge (als Kreis gerechnet) von 43 412 km. Zerfällt Pangäa nun in 5 gleichgroße, kreisförmige Platten, so haben diese zusammen eine Küstenlänge von 97 073 km, d. h. das 2,24fache. Damit ist aber ein wesentlich größerer Bereich mit hoher Produktion an Biomasse gegeben, als beim Großkontinent. Dazu

kommt, daß die zwischen den auseinanderdriftenden Platten liegenden Meeresbereiche zunächst vorwiegend Seichtwasserzonen waren, die ebenfalls beträchtlich zur Produktion an organischer Substanz beigetragen haben.

Sedimentations- und Maturitätsvorgänge: Plattentektonische Bewegungen haben in vielen Bereichen bestimmenden Einfluß auf die Menge und Position neu entstehender Sedimente. Zum einen sind es Hebungen, Senkungen und Kippungen von Platten sowie die Bildung von Gebirgsketten, vor allem bei Plattenkollisionen. Dies bewirkt einerseits eine erhöhte Reliefenergie und damit eine starke Steigerung von Erosion und Abtragung sowie andererseits die Ablagerung großer Sedimentmassen in den Tiefländern und an den Meeresküsten. Zum anderen ist die gesteigerte Seismizität (Erdbebenhäufigkeit), die mit den Plattenbewegungen einhergeht, von Bedeutung. Durch Zunahme der Böschungswinkel von Schelfgebieten und Kontinentalabhängungen bei Schiefstellung von Platten werden in Form von Trübungsströmungen („turbidity currents“) große, labil gelagerte Sedimentmassen in tiefere Meeresbereiche abfließen, besonders wenn die genannte Seismizität für den Bewegungsanstoß sorgt. Die Basalteile der so gebildeten Turbidite sind meist grobkörnig, was neue Speichergesteine schafft.

Vulkanische Erscheinungen, die, wie schon geschildert, mit Plattenbewegungen häufig einhergehen, verursachen eine

zusätzliche Aufheizung benachbarter Sedimentserien und damit eine beschleunigte Maturation der organischen Substanz dieser Sedimente.

Die absinkende ozeanische Platte ist bei einer Kollision mit einer kontinentalen Platte der Auffangbereich für die bei der begleitenden Gebirgsbildung anfallenden Sedimente (höhere Reliefenergie). Andererseits können sich in Zeiträumen relativer tektonischer Ruhe (z. B. während Teilen der Jurazeit), im Flachmeerbereich karbonatische Plattformsedimente bilden. Gegen das offene, tiefere Meer zu liegt dann der Bereich, wo sich im reduzierenden Milieu die organische Substanz anreichern kann (Beckenfazies). Besonders günstig ist es, wenn diese Meeresteile langsam absinken und damit Raum für die Anhäufung größerer Mengen sowohl der anorganischen Sedimente wie der organischen Substanz bieten.

Solche Vorgänge haben sich z. B. in Mitteleuropa in der Jura- und Kreidezeit abgespielt und zwar im Bereich des unter der Molassezone liegenden Autochthonen Mesozoikums. Diese Zone erstreckt sich von Südmähren über das nördliche Alpenvorland bis nach Bayern (siehe auch Kapitel III.4.3.1.). Auf der Böhmisches Masse als kristalliner Untergrund wurden in dieser Zeit über 2 km mächtige Sedimente abgelagert. Dabei hat sich die über 1 km dicke Mergelsteinserie des Malm (Beckenfazies des oberen Jura) als ausgezeichnetes Muttergestein erwiesen (siehe auch Kapitel III.3.3.4.). Diese Serie liegt heute subduziert unter dem Wiener Becken, der Flysch- und Molassezone. In der Bohrung Zistersdorf ÜT 2A wurden diese Sedimente ab einer Tiefe von –7485 m angetroffen. Damit waren die entsprechenden Voraussetzungen für die Reifung der organischen Substanz dieser Serie gegeben. Durch die zunehmende Erwärmung bei der Absenkung haben die Gesteine sowohl die Katagenese- wie die Metagenesestufe mitgemacht (siehe Kapitel II.1.1.4.). Die Mergelsteinserie gilt heute als das Muttergestein aller KW-Lagerstätten des Wiener Beckens wobei plattentektonische Vorgänge die Voraussetzung dafür geschaffen haben.

Ein weiteres Beispiel für das Abtauchen der Sedimente des Autochthonen Mesozoikums ist die der Mergelsteinserie auflagernde Obere Karbonatserie (Obertithon = oberster Malm). Diese Plattformgesteine wurden im Flachmeerbereich abgelagert. Heute finden sie sich in der Bohrung Falkenstein 1 in einer Tiefe von –2003 m bis –2247 m. In der weiter östlich liegenden Bohrung Zistersdorf ÜT 2A sind diese Gesteine erst bei einer Tiefe von –7340 bis –7485 m angetroffen worden.

Im Zusammenhang von tektonischen Einengungen durch Subduktionsvorgänge, die mit Seitenverschiebungen (Transversalstörungen) gekoppelt sind, entstehen sogenannte „Pull-apart-Becken“ (soviel wie „Auseinanderziehbecken“ = Zerrungsbecken). Dies ist beim Wiener Becken der Fall (siehe Kapitel III.3.1.). Das Resultat dieser in verschiedenen Richtungen wirkenden Kräfte ist die rhombische Form des Beckens, mehrere Hoch- und Tiefzonen im Becken selbst und eine spezifische linkslaterale Versetzungstendenz der Bruchzonen. Die tiefsten Beckenteile sind bis 6 km abgesunken.

Um eine Vorstellung zu bekommen, wieviel Gesteinsmaterial von den Festländern in die Meere gelangt, sollen nun einige Angaben aus der Gegenwart gemacht werden. Durch die Flüsse gelangen pro Jahr etwa 12–14 km³ an Feststoffen einschließlich der suspendierten und gelösten Substanzen in die Ozeane. Dazu kommen noch Wüstenstaub, vulkanische Aschen, kosmischer Staub und jene Sedimentmengen, die durch Gletschertransport und Brandungstätigkeit ins Meer bewegt werden. Dies sind umgerechnet zwischen 22 und 24 Mrd. Tonnen pro Jahr, je nach dem Raumgewicht des Materials. Rechnerisch aufgeteilt auf 82 Mio. km² Schelfgebiet und Kontinentalabhang ergibt das eine jährliche durchschnittliche Sedimentanhäufung von 0,15–0,17 mm.

Für das Wiener Becken, einem Senkungsbecken inmitten des Alpen-Karpatenbogens, mit einer Fläche von 7120 km² und einer Kubatur von 11 390 km³, ist die durchschnittliche Sedimentationsrate ab dem Unteren Badenien (d. h. vor 16,5 Mio. Jahren) mit rund 0,1 mm pro Jahr zu er-

mitteln. Bezieht man jedoch die tiefsten Teile des Nördlichen Wiener Beckens im engeren Sinne ein, so ergibt sich, wieder ab dem Unteren Badenien gerechnet, für die rund 5 km Sediment eine Absenkungsrate von 0,3 mm pro Jahr. Diese Rate bleibt gleich, wenn man auch die nicht mehr zur eigentlichen Beckenfüllung des Nördlichen Wiener Beckens gehörenden Untermiozänschichten (Karpatrien bis Eggenburgien) berücksichtigt: 6 km Tiefe an der Basis, Alter Höheres Eggenburgien mit 20 Mio. Jahren = 0,3 mm pro Jahr.

Migrationswege: Das Vorhandensein von reifen Muttergesteinen ist eine Voraussetzung für die Bildung von KW. Damit sich auch eine Lagerstätte bilden kann, sind Migrationswege für den Aufstieg dieser KW notwendig (siehe Kapitel II.1.3.). Echte Öl- und Gasanzeichen an der Erdoberfläche sind ein untrügliches Zeichen für die Existenz solcher Aufstiegswege, wenn auch leider nicht immer für wirtschaftlich fündige Lagerstätten (siehe die Kapitel II.2.1. und IV.2.). Thermalquellen, die aufgrund der Wassertemperatur und der Art der Mineralisation aus größerer Tiefe stammen, weisen wohl prinzipiell auf vorhandene Aufstiegswege hin, nicht jedoch auf das Vorhandensein von KW-Lagerstätten in diesem Bereich. Anders ist die Situation, wenn Erdölbegleitwässer (Kapitel II.1.7.) zutage treten. Hier liegen sowohl Indizien für Aufstiegswege als auch für mögliche KW-Vorkommen in der weiteren Umgebung vor.

Die bei plattentektonischen Vorgängen auftretenden Zerrüttungszonen, wie z. B. Überschiebungsbahnen, Verwerfungszonen, tektonische Gräben, zerscherte Falten, sind zumeist auch gute Migrationswege. Dies gilt aber ebenso für spröde, klüftige Karbonatgesteine (Kalke, Dolomite) und klastische, poröse Gesteinslagen (Sandsteine, Konglomerate, Brekzien).

Speichergesteine und Fallenbildung: Die schon geschilderten Sedimentationsvorgänge haben dadurch, daß sie häufig klastische Gesteine zur Ablagerung brachten, viele Möglichkeiten dafür geschaffen, daß sich KW an geeigneten Stellen sammeln konnten. Im Vorfeld aufsteigender Gebirge waren diese Bedingun-

gen besonders gut entwickelt, wie z. B. in der Poebene, der ungarischen Tiefebene, der Molassezone und im Wiener Becken. Das Charakteristikum von Speichergesteinen besteht darin, daß sie genügende Porosität und Permeabilität besitzen müssen (siehe Kapitel II.1.4. und II.3.5.), um Kohlenwasserstoffe aufnehmen zu können. Diese Eigenschaften können die schon erwähnten klastischen Gesteine und Karbonatgesteine besitzen. Andere Gesteinsarten kommen viel seltener in Frage, z. B. dann, wenn sie tiefgründig verwittert sind.

Die klastischen Gesteine können in Flußbetten, an Flußmündungen (Deltas), an Meeresküsten (Schelfbereich), an den Kontinentabhängen sowie als Turbidite im Tiefwasserbereich abgelagert worden sein. Die Karbonatgesteine sind oft Plattformsedimente im Riff- und Lagunenbereich, deren Speicherkapazität sowohl primär gegeben sein kann (z. B. in Riffkörpern und Riffschutthalde) oder sich erst sekundär durch Lösungserscheinungen oder tektonische Zerrüttung ausbilden kann. Bei allen oben genannten geologischen Vorgängen spielt die jeweilige plattentektonische Situation eine Rolle. Eine weitere Sedimentationsvariante tritt dann ein, wenn grobkörnige Flußsedimente oder aufgearbeiteter Brandungsschutt durch küstenparallele Strömungen oft hunderte von Kilometern weit verfrachtet werden und so Ablagerungen entstehen, die später als Speichergesteine dienen können (Adria, Golf von Mexiko, Schwarzes Meer). Sanddünen im Küstenbereich und aus Wüstengebieten sowie große Sandbänke im Lagunen- und Seichtwasserbereich können nach späterer Absenkung ebenfalls als gute Speichergesteine betrachtet werden. Die genannten Beispiele sind alle in entsprechenden älteren Sedimentfolgen auch tatsächlich nachgewiesen worden.

Zur Ansammlung von KW in Speichergesteinen ist aber auch eine Fallenposition mit einer abdichtenden Schicht gegen oben notwendig (siehe Kapitel II.1.5.). Die durch die Plattentektonik verursachten Bewegungsvorgänge werden strukturelle Fallen, wie Antiklinalen (Aufwölbungen) und Verwerfungszonen

(Bruchzonen) sowie Diskordanzen (ungleichförmige Schichtauflagerungen) schaffen. Schuttfächer (Deltas), die ins Meer hinaus sedimentiert werden, haben eine endliche Ausdehnung. Es kommt meerwärts und seitlich zu Faziesänderungen, d. h. die Speicherfähigkeit nimmt durch Vermergelung und Auskeilen der sandigen Sedimente ab. Damit ist die Möglichkeit für eine spätere stratigraphische Falle gegeben.

Die tektonischen Bewegungen verursachen eine gesteigerte Abtragung im gebirgigen Hinterland mit starker klastischer Sedimentation, es gibt aber immer wieder Zeitabschnitte in der geologischen Vergangenheit, in denen geringe oder gar keine tektonischen Aktivitäten herrschten. Es bilden sich dann über den vorher abgelagerten grobkörnigen Sedimenten sehr feinkörnige Ablagerungen (z. B. Tonsteine, Tonmergel, Kalkmergel), die als abdichtende Lagen für die darunter liegenden Speichergesteine dienen können. Dieselbe Rolle können auch Salzgesteine (Evaporite) oder andere undurchlässige Gesteine (dichte Vulkanite, Kalke, Quarzite) übernehmen.

Aus obigen Ausführungen ist zu erkennen, daß die Herkunft und Bildung von Speichergesteinen für die Ansammlung von Kohlenwasserstoffen von sekundärer Bedeutung ist, da diese KW nicht in Speichergesteinen sondern fast immer in marinen Muttergesteinen entstehen. Bei tiefer abgesunkenen Beckensedimenten, deren

Basis dann weit unter dem jeweiligen Meeresspiegel zu liegen kommt, ist daher anzunehmen, daß immer ein gewisser Anteil mariner Herkunft ist. Auch dadurch zeigt sich die Richtigkeit der Behauptung, daß die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von KW-Lagerstätten um so größer ist, je mächtiger die Beckensedimente sind.

II.1.9.3. Verteilung der Weltreserven an Kohlenwasserstoffen

Wie in den Kapiteln II.1.9.1. und II.1.9.2. mehrfach dargelegt, sind die Bedingungen für die Entstehung von KW und von KW-Lagerstätten auf unserer Erde keineswegs überall im gleichen Maße gegeben. So ist es nicht verwunderlich, daß es eine sehr unterschiedliche Verteilung der bisher aufgefundenen Lagerstätten gibt. Es kommen 66,3 % der sicheren Erdölvorräte im Umfeld des Persischen Golfes (Naher Osten) vor, 15,8 % in Nord- und Südamerika, 8,5 % im ehemaligen Ostblock und China. Der Rest von 9,4 % verteilt sich dann auf Westeuropa (einschließlich der Nordsee), Afrika, Indien, Indonesien, Australien usw. (siehe Tabelle 9).

Von großer Bedeutung für die Weltversorgung mit KW sind die Riesenlagerstätten (giant fields), die ein Minimum an sicheren Reserven von 70 Mio. Tonnen aufweisen müssen, um als solche zu gelten. In Österreich gehört das Feld Matzen im Wiener Becken zu dieser Kategorie. Von solchen Riesenlagerstätten gibt es nicht

Tabelle 9: Verteilung der Weltreserven an Erdöl und Erdgas zum 1. 1. 1984 und zum 1. 1. 1991.

Bereiche	Welterdölreserven in Mio. Tonnen				Welterdgasreserven in Mrd. m ³			
	1. 1. 1984	%	1. 1. 1991	%	1. 1. 1984	%	1. 1. 1991	%
Naher Osten	50 260	55,3	90 074	66,3	21 960	24,3	37 499	31,5
Amerika	15 870	17,4	21 023	15,5	13 440	14,8	14 331	12,0
ehem. Ostblock								
u. China	11 510	12,7	11 296	8,3	40 970	45,3	46 845	39,3
Afrika	7 600	8,4	7 971	6,0	5 250	5,8	8 074	6,8
Westeuropa	3 076	3,3	1 859	1,4	4 460	4,9	4 963	4,1
Fernost,								
Australien	2 570	2,9	3 500	2,5	4 440	4,9	7 455	6,3
Summen	90 886	100	135 723	100	90 520	100	119 167	100

Quellen: Erdöl-Erdgas-Zeitschrift, 100. Jg. Heft 3, S. 90–91, 1984; Erdöl-Erdgas-Kohle, 107. Jg., Heft 2, S. 59 und Heft 3, S. 98, 1991.

sehr viele, wohl aber Tausende kleinere Lagerstätten.

Von den ungefähr 10 500 Öllagerstätten der USA führen 2 %, das sind etwa 210, rund 50 % der sicheren Vorräte. Im nahen und mittleren Osten enthalten die 10 größten Lagerstätten 44 % der sicheren Vorräte. In der ehemaligen Sowjetunion ruhen in 1,5 % der Lagerstätten rund 50 % der Ölvorräte. Ähnlich ist es beim Erdgas. Die 10 größten Gaslagerstätten enthalten 30 % der sicheren Weltvorräte.

Bedeutsam ist, daß diese Riesenlagerstätten häufig in flachen Aufwölbungen oder stratigraphischen Fallen von großen Tafelgebieten auftreten: Arabische, Russische, West- und Ostsibirische, Nordamerikanische und Brasilianische Tafel. Die z. T. überaus mächtigen Beckensedimente stammen von den diese Tafelgebiete umgebenden oder begrenzenden Gebirgsketten, die in verschiedenen geologischen Zeitabschnitten gebildet wurden (Kaledonische und Variszische Gebirgsbildungsphase im Paläozoikum, alpidische Phase hauptsächlich in der Kreide- und Tertiärzeit). 88 % der Welterdölvorräte sind hier zu finden.

Die Speichergesteine dieser Riesenlagerstätten wurden zu 80 % in der Zeitspanne Jura bis Tertiär gebildet (siehe auch Kapitel II.1.9.2.). 77 % der Vorräte dieser Riesenlagerstätten befinden sich in Speichergesteinen, die in Schelfmeeren oder sonstigen Flachwasserbereichen entstanden sind, ein Beweis für den Zusammenhang des Absinkens küstennaher Sedimentationsräume, der Produktion von Biomasse und der Ansammlung von KW.

In Tabelle 9 werden die aktuellen Weltreserven an Erdöl und Erdgas zum 1. Januar 1984 und zum 1. Januar 1991 einander gegenübergestellt. Bei den Erdölreserven trat in diesen 7 Jahren eine Steigerung um 49,3 % ein, bei den Erdgasreserven im gleichen Zeitraum eine solche von 31,6 %. Dabei muß beachtet werden, daß von 1984 bis einschließlich 1991 insgesamt rund 17 513,5 Millionen Tonnen (= 17,5 Milliarden t) Erdöl gefördert wurden, eine Menge, die natürlich in den Reserven per 1. 1. 1991 nicht mehr enthalten sein kann. Im Jahre 1991 sind übr-

gens die Welterdölreserven neuerlich angestiegen.

II.1.9.4. Schlußfolgerungen für die Prospektionsplanung

Die Erfahrung zeigt, daß sowohl bei der Auswahl zukünftiger Prospektionsgebiete, wie bei der konkreten Prospektionsplanung für ein bestimmtes Gebiet, alle im Abschnitt II.1. geschilderten Vorgänge und Fakten von den Bildungsbedingungen von KW bis zur Ansammlung in nutzbaren Lagerstätten, beachtet werden sollten. Alle Informationen, die dazu dienen, das Wissen um diese Vorgänge zu erweitern, sollten herangezogen werden. Die eigentlichen Prospektionsarbeiten, wie sie anschließend im Abschnitt II.2. geschildert werden, gestalten sich von Schritt zu Schritt immer kostspieliger. Es liegt daher im wirtschaftlichen Interesse, alle jene Maßnahmen zu treffen, welche die teureren Arbeitsgänge, wie die seismische Prospektion und Tiefbohrungen, möglichst erfolgreich zu machen. Dazu gehören zum Beispiel: Sammeln aller Informationen über Öl- und Gasanzeichen an der Erdoberfläche, die kritische Bearbeitung von bereits vorhandenen geologischen, geochemischen und geophysikalischen Karten, Berichten und Publikationen, Studium der Unterlagen älterer Bohrungen im Prospektionsgebiet selbst oder in geologisch vergleichbaren Nachbargebieten, Heranziehung und Auswertung aller zugänglichen Luft- und Satellitenbilder.

Falls die bisher vorliegenden Unterlagen es gestatten, sollte daran gedacht werden, für jedes zu untersuchende Becken ein Modell der geologischen Beckengeschichte zu entwerfen (basin modelling; siehe auch Kapitel II.2.6.3.), das dann Zug um Zug mit dem Fortschreiten der Prospektion den jeweiligen neuen Erkenntnissen anzupassen sein wird. Diese Methode ist zusammen mit allen anderen Informationen sehr hilfreich, die Vorstellungen von der Zusammensetzung, dem Bau und der Absenkungsgeschichte des Prospektionsgebietes zu vervollkommen. Damit wird es aber auch möglich, die geologischen, geophysikalischen und geochemischen

Geländearbeiten zu optimieren und damit Planungsfehler zu vermeiden sowie Kosten zu sparen.

Die teuerste Investition bei der KW-Prospektion stellt das Abteufen von Tiefbohrungen dar. Wie in den Abschnitten II.2.7. und II.2.8. aufgezeigt wird, sind bei allen in Österreich tätigen Ölgesellschaften entsprechende Vorschriften zu beachten, die das Risiko einer Fehlbohrung minimieren sollen. Heute können nur jene Bohrprojekte zur Ausführung gelangen, die mehrfache Prüfverfahren durchlaufen haben und zwar im Hinblick darauf, ob wirklich alle juristischen, wissenschaftlichen, technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen und Bedingungen erfüllt sind.

Abschließend sollen jene wichtigen Fragen aufgelistet werden, die für den geologisch-lagerstättenkundlichen Bereich gestellt werden müssen, damit eine möglichst effiziente Prospektion für ein bestimmtes Aufsuchungsgebiet erfolgen kann. Die Reihenfolge der Beantwortung der Fragen hängt natürlich vom jeweiligen Wissensstand ab. Die Liste ist daher so zu verstehen, daß durch die Möglichkeit, Fragen beantworten oder nicht beantworten zu können, aufgezeigt wird, welche Prospektionsarbeiten sich noch als nötig erweisen:

- Handelt es sich um ein Gebiet mit Sedimenten voraussichtlich genügender Mächtigkeit?
- Gibt es geologisch und lagerstättenkundlich vergleichbare Prospektionsgebiete mit einem weiter fortgeschrittenen Informationsstand in nicht zu großer Entfernung?
- Sind Hinweise auf Muttergesteine in der Schichtfolge des Beckens vorhanden?
- Gibt es Muttergesteine im Untergrund des Beckens?
- Läßt die Absenkungsgeschichte des Prospektionsgebietes eine entsprechende thermische Reifung der Muttergesteine erwarten?
- Sind Öl- und/oder Gasanzeichen an der Erdoberfläche vorhanden?
- Gibt es noch andere Hinweise auf Migrationswege?

- Kann man an der Erdoberfläche im Aufsuchungsgebiet tektonische, stratigraphische oder fazielle Strukturanzeichen beobachten?
- Sind in der zu erwartenden Schichtfolge möglicherweise Speichergesteine vorhanden?
- Mit welchen abdichtenden Lagen über den Speichergesteinen ist zu rechnen?
- Sind Anhaltspunkte dafür vorhanden, ob in den Speichergesteinen die Porositäts- und Permeabilitätswerte für die Ansammlung und Förderung von KW hinreichen?
- Welche Strukturelemente im Bereich der Speichergesteine sind zu erwarten? Sind es eher tektonische, stratigraphisch-fazielle oder kombinierte Fallen?
- Können Angaben über die zu erwartenden Volumina der Speichergesteine, also Mächtigkeit und Flächenausdehnung, gemacht werden?
- Sind im Aufsuchungsgebiet vulkanische Erscheinungen bekannt oder in der Tiefe zu erwarten und wie könnten dadurch vorhandene Muttergesteine oder KW-Lagerstätten beeinflußt worden sein?
- Welche Informationen gibt es für die geohydrologischen Verhältnisse im zu untersuchenden Bereich?

Literaturauswahl für das Hauptkapitel II.1.9.:

ALLEN, Ph. A. & ALLEN, J. R. 1990; BLATT, H. 1970; BLATT, H. & JONES, R. L. 1975; BRIX, F. 1981; DICKINSON, W. R. & YARBOROUGH, H. 1977; EMERY, K. O. 1980; FRIEDMAN, G. M. & SANDERS, J. E. 1978; FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. 1977; HUFF, K. F. 1978; HUNT, J. M. 1979; JANOSCHEK, R. 1955; JUDSON, S. 1968; KEAREY, Ph. & VINE, F. J. 1990; KLEME, H. D. 1980; KOCH, E. 1987; KÖLBEL, B. 1984; KREY, J. 1970; KUENEN, Ph. H. 1950; KUKAL, Z. 1970; LADWEIN, H. W. 1988; LADWEIN, H. W., SEIFERT, P. & SCHMIDT, F. 1989; MEINHOLD, R. 1964; MEINHOLD, R. 38; PÄTZ, H. 1978; NIENHUIS, P. H. 1981; NORTH, F. K. 1985; PETTIJOHN, F. J., POTTER, P. E. & SIEVER, R. 1973; ROMANKEVICH, E. A. 1984; RONO, A. B. 1968; ROYDEN, L. H. 1985; SCHARNOW, U., BIRR, H. D., HUPFER, P., GELLERT, J. F. & SAGER, G. 1978; SCHMIDT, W. J. 1989; SEIBOLD, E. 1964; SEIBOLD, E. &

BERGER, W. H. 1982; SMITH, A. G., HURLEY, A. M. & BRIDEN, J. C. 1982; STEIN, R., RULL-KÖTTER, J. & WELTE, D. H. 1986; SZALAY, A. & HORVATH, F. 1989; THOMPSON, T. L. 1976; TIRATSOO, E. N. 1976; TISSOT, B. P. & WELTE, D. H. 1984; TOLLMANN, A. 1957 und 1978;

VOSSMERBÄUMER, H. 1976; WEGGEN, K., DOHR, G. & WELTE, D. 1980; WESSELY, G. 1990; WIESENER, H. 1980; WOODWELL, G. M., WHITTAKER, R. H., REINERS, W. A., LIKENS, G. E., DELWICHE, C. C. & BOTKIN, D. B. 1978.

II.2. Die Prospektion von Erdöl und Erdgas

II.2.1. Gas-, Öl- und Salzwasseranzeichen an der Erdoberfläche

von Friedrich BRIX

II.2.1.1. Grundlagen

Die in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Vorgänge der Entstehung, Wanderung und Speicherung von Kohlenwasserstoffen gehen in der Natur seit dem Zeitraum vor sich, als es größere Ansammlungen organischer Substanz unter reduzierenden Bedingungen (d. h. unter weitgehendem Luftabschluß) sowie Speichergesteine gegeben hat. Nicht jede Lagerstätte muß aber immer ideale Erhaltungsbedingungen haben. Die Abdichtung gegen oben kann z. B. mangelhaft sein, weiters können durch spätere Gebirgsbewegungen, Erdbeben, Bodensenkungen usw. vorher dichte Lagen zerrissen und damit undicht werden. All dies bewirkt nun, daß es heute weit mehr als 1000 Stellen an der Erdoberfläche gibt, wo Erdgas, Erdöl, Asphalt oder diese Stoffe begleitende Salzwässer von den Lagerstätten aus an die Erdoberfläche gelangen („seeps“).

Seitdem es menschliche Aufzeichnungen gibt, das ist seit über 6000 Jahren, wird von solchen natürlichen Austrittsstellen berichtet. Es muß aber angenommen werden, daß auch schon lange vorher solche Stellen vorhanden und bekannt gewesen sein müssen. Diese Stellen treten gehäuft dort auf, wo dann später oft auch Lagerstätten gefunden worden sind. Damit ist das Wissen um Gas-, Öl- und Salzwasseranzeichen an der Erdoberfläche eine wichtige Prospektionshilfe. Gas- und Ölzanzeichen in Österreich sind im Kapitel IV.2. angegeben.

II.2.1.2. Natürliche Beobachtungen

Gasaustritte: Starke Gasaustritte, bei denen zumeist reines Methan (CH_4) gefördert wird, bringen zusätzlich oft auch Feinsand, Wasser, Schlamm und selten etwas Öl zutage. Im Laufe längerer Zeiträume kann es zu einer kegelförmigen Aufhäufung der Feststoffe kommen, die als „Schlammvulkane“ bezeichnet werden, obwohl diese, außer gewissen Ähnlichkeiten im Erscheinungsbild, nichts mit Vulkanismus zu tun haben.

Solche Schlammvulkane sind u. a. bekannt aus Rumänien (bei Berca und Beciu), Aserbeidschan (Gebiet um Baku mit Auswurfmassen bis 300 m Höhe), Nordpersien (südwestlich Kaspische), USA (mehrere Hundert in der Küstenebene von Texas und Louisiana, z. T. noch mit Gasaustritten).

Schwache Gasaustritte sind nur dann zu bemerken, wenn sie z. B. unter Wasserbedeckung vorkommen oder wenn Schwefelwasserstoff (H_2S), ein sehr giftiges, übelriechendes Gas, mitgefördert wird. Methanaustritte im Grünland lassen über längere Zeiträume hin Gräser und Laub vergilben und verdorren. Werden neben Methangas auch flüssige Kohlenwasserstoffe mitgefördert, so wird auch ein typischer Petroleumgeruch ein Hinweis sein.

Erdgasaustrittsstellen mit verschiedenen Förderkapazitäten sind z. B. bekannt aus Rumänien (Baicoi, Andrasi, Lopatari), aus Aserbeidschan (Bibi Eibat, das sind die aus dem 10. Jh. überlieferten heiligen Feuer von Baku), Türkei („Chimäre“ von Lykien