Das unerträgliche Unrechthaben des Geologen

Autor(en): **Murris, Roel J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin für angewandte Geologie**

Band (Jahr): **2 (1997)**

Heft 1

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-219959

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bull. angew. Geol.	Vol. 2	Nr. 1	23 -34	Juni 1997

Das unerträgliche Unrechthaben des Geologen[1)]

mit 5 Figuren

von ROEL J. MURRIS[2)]

Im Titel dieses Vortrages werden viele von Euch die Paraphrase des Titels eines meisterhaften Romans von Milan Kundera erkennen: «Die unerträgliche Leichtigkeit des Seins».

In diesem Zusammenhang erscheint das Dasein des Geologen bittersüss. Süss ist die Leichtigkeit seines Faches, das faszinierende Zusammenspiel von Naturbeobachtung und gedanklichen Konstruktionen, das ihn von Anfang an bezaubert und gefangen hält. Bitter ist die spätere Erfahrung, dass trotz grösster Anstrengung und Hingabe, das Voraussagen der Grillen der Mutter Erde hoffnungslos schwierig bleibt.

Beschreiben und Voraussagen

Immer wieder liest man in letzter Zeit die Behauptung, dass sich die geologische Wissenschaft von beschreibend in Richtung voraussagend entwickelt habe, dies vor allem aufgrund von moderner Computermodellierung. Zu dieser Behauptung möchte ich einige Bemerkungen machen.

Der Geologe hat seit Anbeginn mit Gedankenmodellen gearbeitet. Beim Urstreit zwischen Neptunisten und Plutonisten ging es um die Modelle von Werner und Hutton. Grösste Bewunderung verdient jene erste Generation von Geologen, welche die Stratigraphie der Erde, trotz spärlichen Aufschlüssen und komplexer Tektonik, wie zum Beispiel in den Ardennen oder den Appalachen, innerhalb eines halben Jahrhunderts in ihren wesentlichen Zügen entwirrt hat. Sie stützten sich dabei auf eine genaue Beschreibung von Gestein und Fossilien und in hohem Masse auf deduktives und induktives Denken. Grundlegend war das Gesetz der Üeberlagerung, der Uniformitarismus und das Modell einer steten Evolution der Organismen. Ein typisches Beispiel dieser Denkart findet sich in Lyell's «Principles of Geology», 1830. Basierend auf einer grossen Anzahl von Beobachtungen kam Lyell zum Schluss, dass die zur Zeit recht langsam vor sich gehenden geologischen Prozesse auch in der geologischen Vergangenheit auf diese Art abliefen und dass deshalb die

---

1) Antrittsvorlesung an der freien Universität zu Amsterdam bei der Ernennung zum ausserordentlichen Professor für regionale Petroleumgeologie an der Fakultät der Erdwissenschaften.

2) Vrije Universiteit Amsterdam

Erde viel älter sein müsse als zur Zeit allgemein angenommen wird. Man darf nicht vergessen, dass die Fundamente der Erdwissenschaft in der Mitte des letzten Jahrhunderts entstanden sind, in einer Zeit, wo es nur wenige Verkehrsmittel gab und der Geologe sich zu Fuss, zu Pferd oder zu Maultier fortbewegen musste. Das sich rasch entwickelnde Eisenbahnnetz sorgte zwar für frische Aufschlüsse.
Die Voraussage war schon vor den Anfängen der Geologie als Wissenschaft ein wesentliches Element im Leben des Geologen - man denke an die Rutengänger. Die Notwendigkeit, Vorkommen von Wasser, Erzen, Kohlen und anderen Grundstoffen vorauszusagen, stand an der Wiege der Geologie und war von Anbeginn deren Daseinsberechtigung. Die Kenntnis des Aufbaus von Gesteinskörpern wurde schon in der frühesten Entwicklungsphase der Geologie für die Planung von Tunnels und Erdbauten eingesetzt; leider oft mit katastrophalen Ergebnissen wie zum Beispiel beim Bau eines der grössten Tunnels durch die Alpen, wobei eine zu flache Projektion der Basis der glazialen Schotter zu einem Wassereinbruch führte und dem Verlust von zahlreichen Menschenleben.

In der Erdölindustrie war die Voraussage von Erdöl- und Erdgasvorkommen schon immer die wichtigste Aufgabe des Geologen. Als um die Jahrhundertwende die Antiklinaltheorie, nämlich, dass sich Erdöl, leichter als Wasser in den höheren Lagen eines nach oben abgedichteten Reservoirgesteins ansammelt, weltweit zur Anwendung kam, führten die verbesserten Voraussagen der Geologen zu einem abrupten Anstieg der Reserven und einem Einsturz des Ölpreises. Der verblassende Erfolg der Antiklinaltheorie, nämlich die steigende Anzahl von «Dry holes» auf gesicherten Strukturen, führte in der Folge zur Einsicht, dass vermutlich mehr als ein einziger Faktor für die Entstehung von Erdöl und Erdgaslagerstätten verantwortlich sei. Langsam entwickelte sich aufgrund derartiger Gedankengänge ein «Petroleum System» und damit die Möglichkeit einer verbesserten Evaluationsmethode. Kritische Studien zeigten eindeutig die Abhängigkeit des Vorkommens und der Grösse von Erdöl- oder Erdgasfeldern von einer ganzen Anzahl von Faktoren, wie z.B.

- Das Vorhandensein und die Qualität eines Muttergesteins
- Der Reifegrad des Muttergesteins, abhängig von Temperatur und Zeitdauer
- Die Expulsion von Erdöl oder Erdgas aus dem Muttergestein
- Der Migrationsweg von der Erdölquelle zur Lagerstätte
- Das Vorhandensein einer Falle, bestehend aus einem adequaten Reservoirgestein abgedichtet durch ein Siegelgestein
- Der richtige Zeitpunkt der Entstehung der Falle, um die migrierenden Kohlenwasserstoffe aufzufangen
- Die Erhaltung und der Fortbestand der Ansammlung, abgesichert gegen Wegsickern, Degradierung oder Verbrennung.

Natürlich sind viele dieser Faktoren voneinander abhängig und das resultierende System ist durchaus nicht linear. Dazu kommt, dass zum mindesten in der Explorationsphase die nötigen Parameter nur teilweise bekannt sind und deshalb subjektiv abgeschätzt werden müssen. Unter derartigen Voraussetzungen bleiben natürlich die Modelle höchst unvollkommen und die Voraussagen für einzelne Prospekte recht fragwürdig. Der Unterschied in Grösse einer Ansammlung zwischen einem System in welchem alle Parameter hervorragend entwickelt sind und einem System, in welchem einzelne Parameter zu wünschen übrig lassen, kann mehrere

Grössenordnungen umfassen. Die Entdeckung von einigen Milliarden Fass Erdöl kann eine Erdölgesellschaft gross machen, z.B. Gulf Oil in Kuweit oder Occidental in Lybien. Ein paar Zehner von Millionen Fass lohnen sich nur selten. Wie bitter ist doch das Schicksal des armen Geologen, der in jedem Fall voraussagen muss, ob es sich um eine annehmbare, wenn auch nicht aufregende Proposition handeln könnte oder um eine Bonanza.

Das riskante Leben des Voraussagers

Die Geschichte der Erdölindustrie verzeichnet zahlreiche riesige Funde, die nicht vorausgesagt wurden oder die aufgrund von falschen Annahmen erwartet wurden. Das «unerträgliche Unrecht des Geologen» lässt sich mit einigen Beispielen bestens illustrieren, eine Unerträglichkeit, die jedoch durch die süsse Leichtigkeit eines Erfolges mehr als gut gemacht wird.

Das Niger Delta

Die beiden Partner Shell und BP begannen 1937 mit der Exploration in Nigerien. Das Explorationsziel war die Kreideformation des Abakaliki Hochs, nordöstlich des Niger Deltas. Man hatte dort in den Akuschiefern der Oberkreide gutes Erdölmuttergestein gefunden. Die Bohrungen dieses ersten Unternehmens waren erfolglos und man beschloss 1953 das Gebiet der Kreideaufschlüsse aufzugeben und in das angrenzende Niger Delta vorzustossen. Die prospektiven Kreidesande konnten dort in bohrbaren Tiefen erwartet werden. Man rechnete mit gutem Reservoirgestein in einer kohleführenden Formation von oberkreide-frühtertiärem Alter, in einer Tiefe von rund 2000 m, mit Erdöl versorgt aus einem Muttergestein in einer Tiefe von etwa 3000 m. Angenommen wurde, dass die Imaschiefer des Eozäns, die sandigen Kreide-Paläozän Schichten nach oben absiegeln würden.

Mit der ersten Bohrung hatte man vor, eine Struktur zu testen, die man anhand eines weitmaschigen Netzes von minderwertiger Reflexionsseismik konstruiert hatte. Dieses Seismik-Hoch war mit einem gravimetrischen Hoch korrelierbar. Zu aller Erstaunen blieb die Bohrung Akata 1 bis an einer Endtiefe von 3390 m im Miozän, dessen Basis man in 800 m Tiefe erwartet hatte. In einer Tiefe von 1300 m bis 2200 m fand man jedoch eine Folge von Erdöl und Erdgasführenden Sanden mit einer Gesamtmächtigkeit von 91 m - damit war die reiche Erdöl- und Erdgasprovinz des Niger Deltas entdeckt. Später zeigte sich, dass die Kulmination, auf die man die Bohrung angesetzt hatte, nichts mit der Struktur auf Reservoirtiefe zu tun hatte, sondern durch untiefe Multiplen vorgetäuscht war.

Das Gasfeld von Groningen

In der Tiefebene von Norddeutschland und den Niederlanden waren die Kalke des Zechsteins seit jehrer als bedeutendes Explorationsziel bekannt. Die darunter liegenden Sande des Rotliegenden blieben jedoch unbedacht. Man nahm an, dass dieses mögliche Reservoirgestein keine Verbindung zum Zechstein Erdöl hätte. Eine Gasversorgung aus dem darunter kohleführenden Oberkarbon kam in den damaligen Modellen nicht vor.

Als 1953 die Bohrung Ried 1 in Friesland erfolglos blieb, kam man zu folgendem Schlussergebnis: «Im Hinblick auf die Tatsache, dass diese Bohrung als representativ für dieses Gebiet gelten kann und weder Reservoir noch Muttergestein angetroffen wurden, kann die Prospektivität abgeschrieben werden.» Das Rotliegende blieb unerwähnt. Dem damaligen Direktor der Niederländischen Erdölgesellschaft erschien das Abschreiben des Zechsteins nicht geheuer. Er bestand darauf, dass gegen den Konsens der Geologen eine weitere Bohrung auf der Lokation Den Boer in den basalen Zechstein abgeteuft werde, um eine mögliche Riffbildung zu testen. Die Bohrung fand kein Reservoir dieser Art im Zechstein, jedoch starke Anzeichen von Erdgas in den darunter liegenden Schiefern des Rotliegenden. Trotzdem die frühere Bohrung Haren 1 unter diesen Schiefern gute Reservoirsande angetroffen hatte, beschloss man, nicht tiefer zu bohren.
1959 wurde die entscheidende Bohrung Slochteren 1 auf ein «falsches Hoch» im Zechstein angesetzt, in der Hoffnung, dass das Zechstein auf diesem Hoch in Riffacies entwickelt wäre. Man hatte damals Mühe mit abrupten Geschwindigkeitsanomalien in der Seismik und kartierte deshalb unter jedem Salzkissen oder Salzdom ein Hoch. Aufgrund der falschen Annahme eines sehr mächtigen Zechsteinkalkes war eine Bohrtiefe vorgesehen, die es möglich machte, die Rotliegend Sande zu erreichen. Alles Weitere ist bekannt.

Das Cano Limon Feld in Columbia

Im Jahre 1981 übernahm die Occidental Erdölgesellschaft die Cities Services und erwarb damit 100% der Anrechte der Erdölkonzessionen in Llanos von Kolumbien. Die Exploration dieses Gebietes war bis dahin ohne grossen Erfolg, die Strukturen klein und dünn gesäht. Das Management der Occidental fand deshalb das Risiko für einen Alleingang gross und offerierte 50% der Konzession als Farmin für den Preis einer letzten Bohrung, ein Betrag von etwa 5 Millionen Dollars. Keine der 18 Erdölgesellschaften, die sich um das Datenmaterial bemühten, griff zu. Occidental sah sich gezwungen, die letzte Bohrung Arauquita 1 auf eigene Kosten abzuteufen. Die Bohrung blieb trocken und das Management beschloss, das Unternehmen in Llanos zu beeenden. Der Chef der Exploration erzwang sich jedoch noch eine allerletzte Bohrung. Die allerletzte Bohrung, Canô Limon 1, 1983 gebohrt, entdeckte das Canô Limon Ölfeld mit Reserven von einer Billion Fass. 1985 erwarb sich Shell 50% der Konzession für ungefähr das Hundertfache des Farm-in Preises.

Der Grund für die unerwartet grosse Erdölansammlung ist ein abgedichtender Bruch an der hohen Ostseite der Struktur. Der Bruch ist auf der Seismik kaum sichtbar. Seine Undurchlässigkeit verdankt er wahrscheinlich der Kataklase im Zusammenhang mit horizontalen Verschiebungen.

Diesen Fund verdankten wir dem Mut eines Explorers, der es wagte, trotz beinahe unerträglicher Ungewissheit, seinem Spürsinn folgend, eine weitere Bohrung zu erzwingen.

Das Cuisiana Ölfeld von Columbien

Mit Cano Limon ist das Lied des untertäglichen Unrechthabens des Geologen in diesem Erdteil noch nicht zu Ende gesungen. Etwa 10 Jahre nach der Entdeckung von Cano Limon wurde im Vorgebirge der Anden, etwa 400 km südwestlich von

Limon, im Gebiet von Cuisiana ein weiterer Farm-in ausgeschrieben. Man hatte dort schon früher etwas Öl und Gas gefunden, aber in Anbetracht der abgelegenen Lage des Gebietes wurden nur sehr grosse Lagerstätten als lohnend betrachtet. Auf den Farm-in reagierten mit Ausnahme von British Petroleum und Total alle Erdölgesellschaften negativ. Auch die BP Geologen hatten keine besonders grossen Erwartungen. Angesichts der sehr tiefen Lage des Erdölmuttergesteins in der Oberkreide musste mit der Möglichkeit gerechnet werden, dass man nur Gas finden würde. Ferner musste man annehmen, dass die Reservoir-Sande in einer Tiefe von 5000 m nicht von der besten Qualität wären.

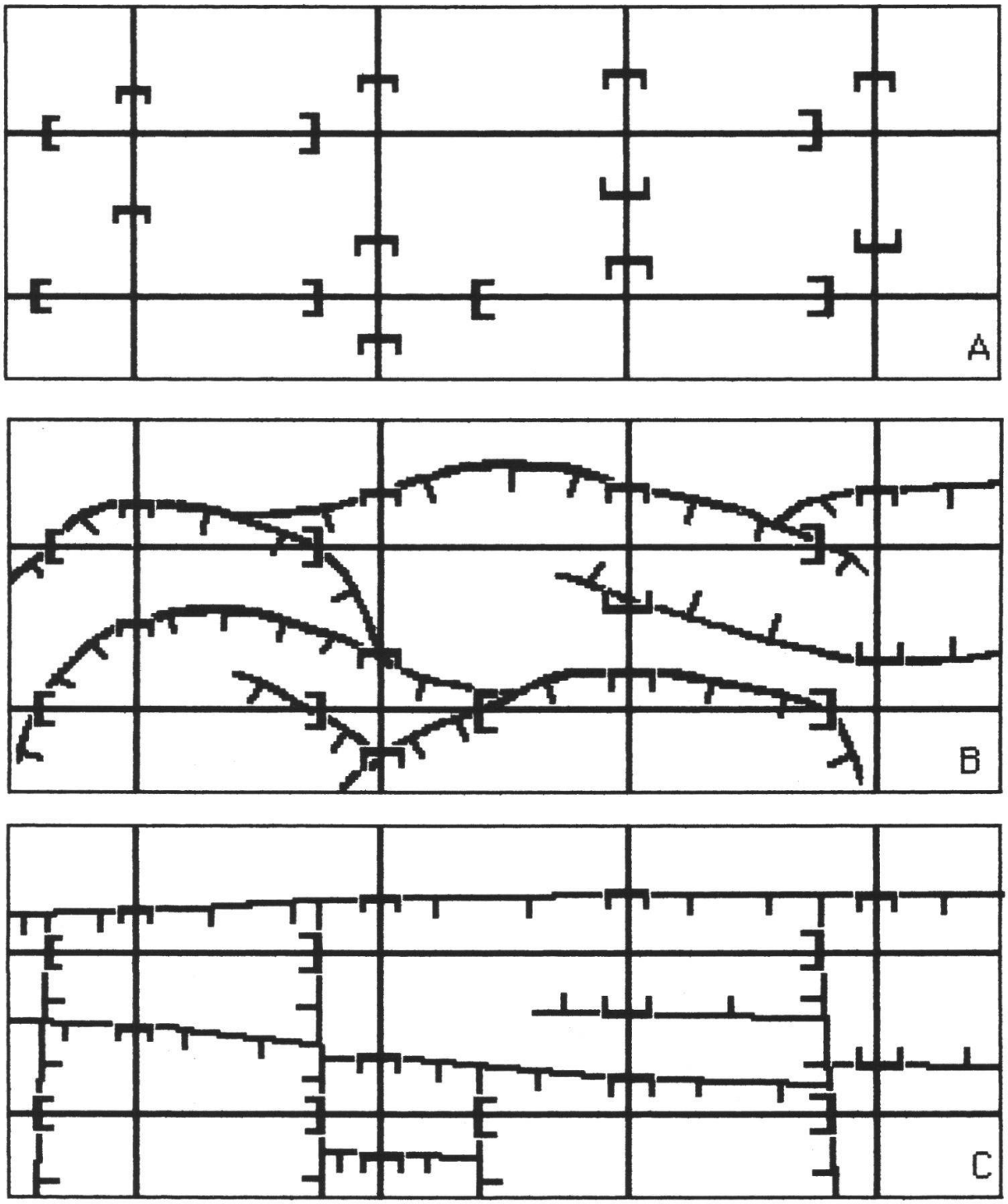
Trotz dieser riskanten Situation gelang es den Geologen das Management zu überzeugen, die Wette zu wagen, dies vor allem aufgrund der ausserordentlich grossen Struktur. Die Bohrung hatte mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen, unter anderem aufgrund des grossen Überdrucks und es dauerte 1 1/2 Jahre bis die Endtiefe erreicht war. Das Ergebnis war die Mühe wert, nämlich mehrere Milliarden Fass Erdöl und beträchtliche Mengen Erdgas, reich an Kondensat.
Die unerwartet grosse Erdöllagerstätte verdankt man in erster Linie der Anwesenheit eines bisher unbekannten Muttergesteins in geringerer Tiefe. Die unerwartet gute Qualität der Reservoir-Sande ist u.a. dem abnormal hohen Porendruck zu verdanken. Hier wurde angesichts der Ungewissheit in der Beurteilung von Reservoir und Muttergestein, nach altbewährtem Konzept, mit der Grösse der möglichen Erdölfalle spekuliert und die Wette ging auf.

Die Qual des Wahl

Eines der grössten Probleme in der Beurteilung einer möglichen Lagerstätte besteht meistens darin, dass das Beobachtungsnetz (Aufschlüsse, Bohrungen, seismische Linien) zu grossmaschig ist um die Variabilität der kritischen Faktoren zu erfassen. Die Zahl der Freiheitsgrade bleibt deshalb gross und die Daten sind multiinterpretierbar. Die Wahl zwischen verschiedenen möglichen Lösungen ist sodann oft eine Frage der Erfahrungsbasis des Geologen oder seiner Vorliebe für gewisse Modelle.

Fig. 1 zeigt, wie dasselbe Bruchfeld, eindeutig identifizierbar auf einem Netz von seismischen Profilen, zwei verschiedene, gleichwertig plausible Interpretationen erlaubt. Möglich wären noch eine grosse Anzahl anderer Interpretationen. Welche ist die Richtige? Bei der Wahl der verschiedenen Lösungsmöglichkeiten sind vor allem die strukturellen Rahmenbedingungen wichtig. In einem tertiären Delta, wo rotierende Brüche die Regel sind, ist ein Muster mit gebogenen, anastromierenden Brüchen wahrscheinlich näher der Wirklichkeit (Fig. 1B).

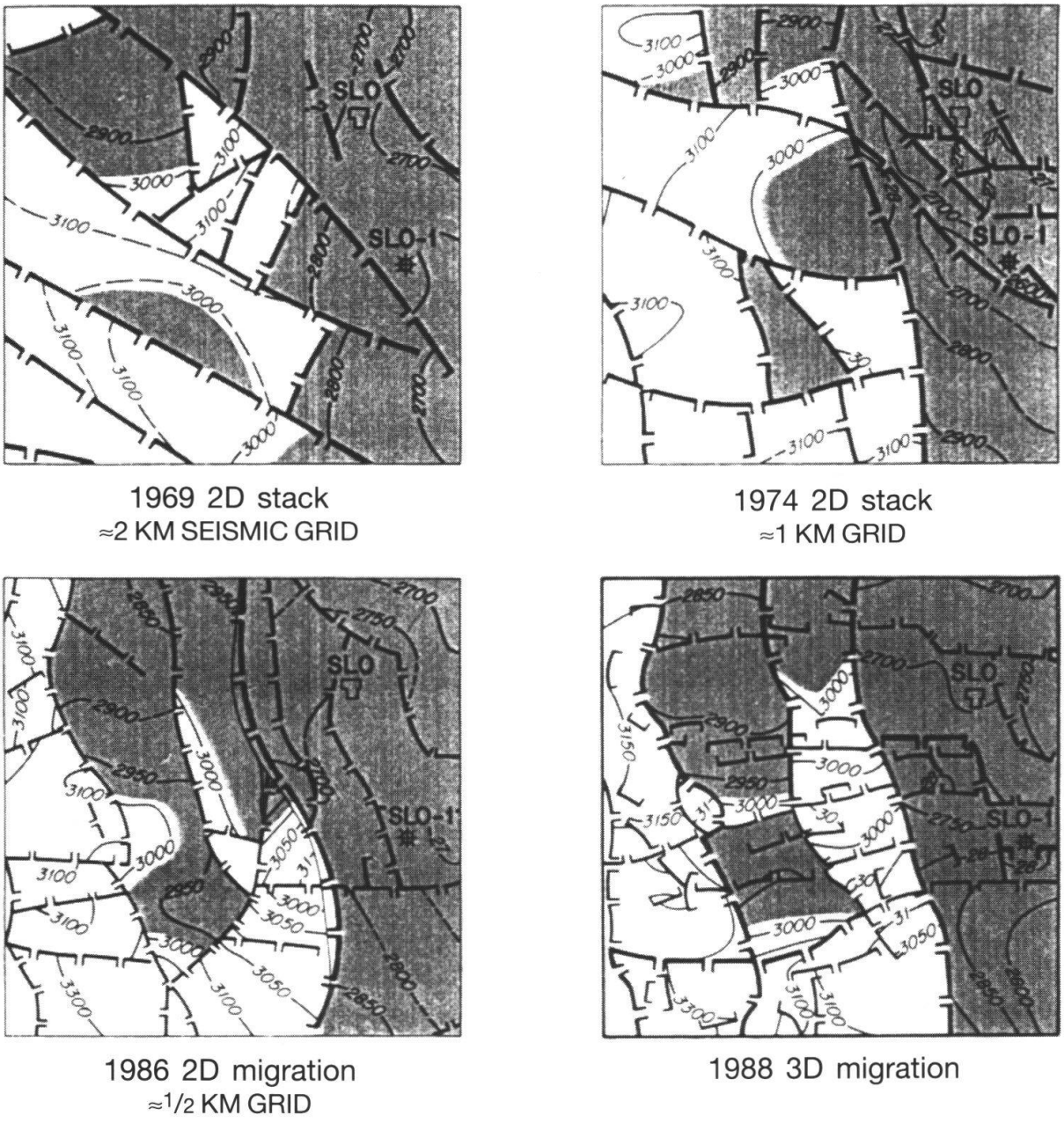
Auf steifen Plattformen, z.B. im Zechstein um Nordeuropa, erscheint ein Blockmuster (Fig. 1C) realistischer. Ohne ein enges Netz von 3 D Seismik ist die Wahl des Musters weitgehend abhängig von der Persönlichkeit und der Erfahrung des interpretierenden Geologen. In den Siebzigerjahren hatte ein Geologe der Niederländischen Erdölgesellschaft NAM deutlich mehr Erfolg mit dem damals unkonventionellen Muster einer «vierkantigen Interpretation», die sich später als am nächsten der Wirklichkeit erwies.



Figur 1: Wie ein verschnörkelter Verstand (1 B) im Gegensatz zu einem gradlinigen Charakter (1 C) dieselben Daten, z.B. Bruchindikationen auf einem Netz von Reflexions-Seismik, zu interpretieren weiss.

Licht in der Finsternis

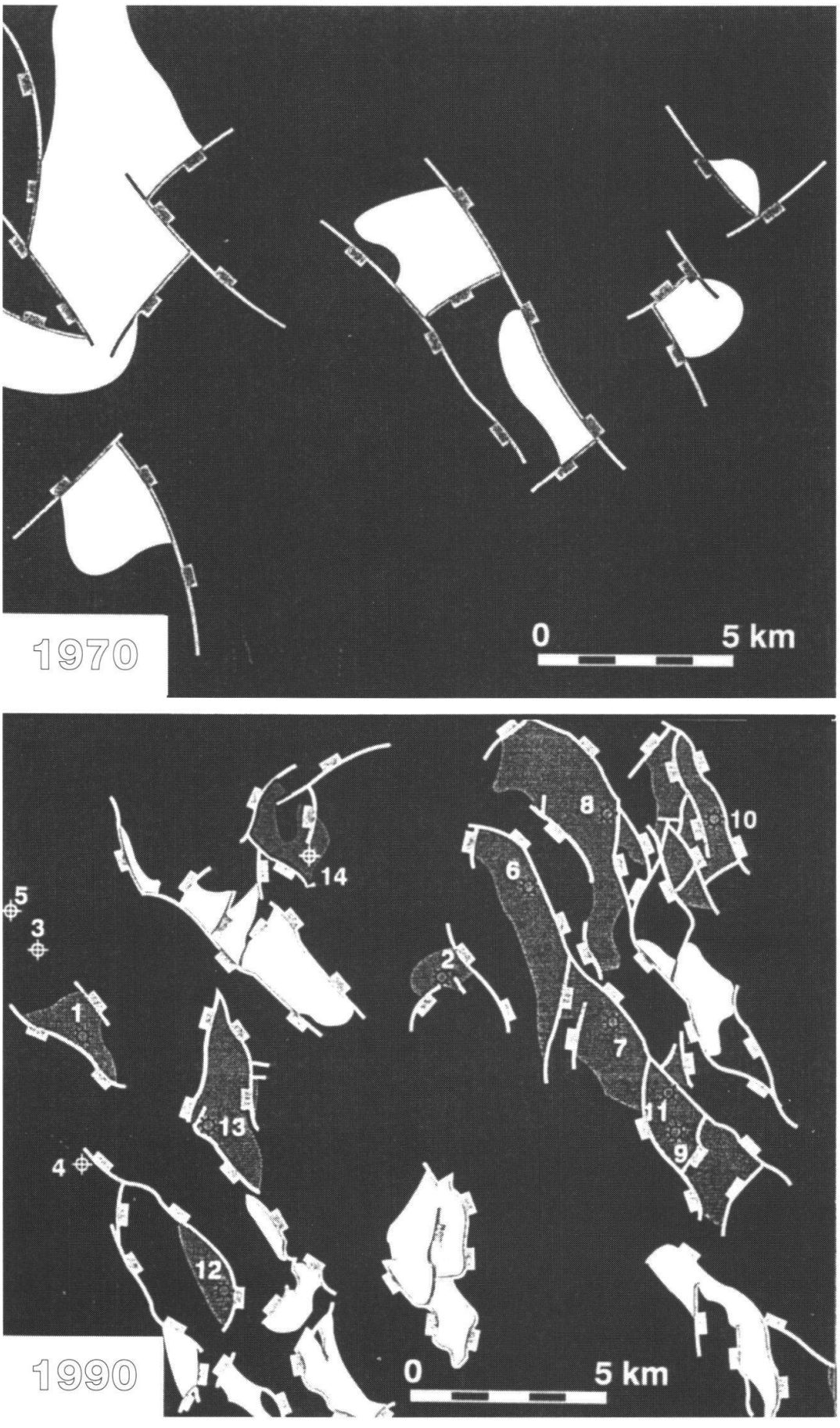
Wie kann der Geologe wissen, welchen Lösungsversuch der Wirklichkeit am nächsten ist? Was das Strukturbild betrifft, verdanken wir unsere Gewissheit zur Hauptsache der Entwicklung der digitalen 3-dimensionalen Reflexionsseismik. Das Beobachtungsnetz konnte damit von der Kilometerskala auf die Meterskala verengt werden. Die schärfere Fokusierung erlaubt auch ein viel besseres Auseinanderhal-



Figur 2: Entwicklung der Interpretation der Südwestflanke des Groningen Gasfeldes. Der erdgasführende Teil in grau. Trotz des stets enger werdenden 2 D Netzes stabilisiert sich die Interpretation erst nach 20 Jahren, basierend auf 3 D Seismik (nach Daten der Niederländischen Erdölgesellschaft).

ten von Erdöl, Erdgas oder wasserführenden Formationen. Obwohl bei der Interpretation das Modellieren unentbehrlich ist, gilt hier der alte holländische Lehrsatz: "Meten is weten" (Messen ist Wissen).

Aus diesem Grunde kann ich ihnen versichern, dass ein Bruchsystem, wie das auf Figur 1C dargestellt ist, für den Zechstein im Norden von Holland durchaus akzeptierbar ist. Die Figur 2 zeigt die SW Flanke des Gasfeldes von Groningen mit der Entwicklung der geologischen Interpretation seit 1969. Die ersten drei Bilder zeigen, dass die auf 2 D Seismik basierenden Interpretationen des Bruchsystems, trotz des immer dichter werdenden seismischen Vermessungsnetzes, stark von der persönlichen Erfahrung und Vorliebe des interpretierenden Geologen abhängig bleiben.



Figur 3: Siehe Text auf Seite. Nicht gebohrte Strukturen in weiss, gebohrte Strukturen grau, mit Bohrnummer.

Das vierte Bild von Figur 2 zeigt das heute akzeptierte rechtwinklige Bruchmuster basierend auf 3 D Seismik. Im Niger Delta hingegen zeigt die 3 D Seismik die konkaven, anastromierenden Brüche, wie das in Figur 1 B dargestellt ist.

Der Erfolg der Exploration hat sich durch die Anwendung von 3 D Seismik erheblich verbessert. Dazu einige Beispiele. Fig. 3 zeigt das Anfangsstadium und ein vorgerücktes Stadium der Exploration vor der niederländischen Küste westlich von Texel.

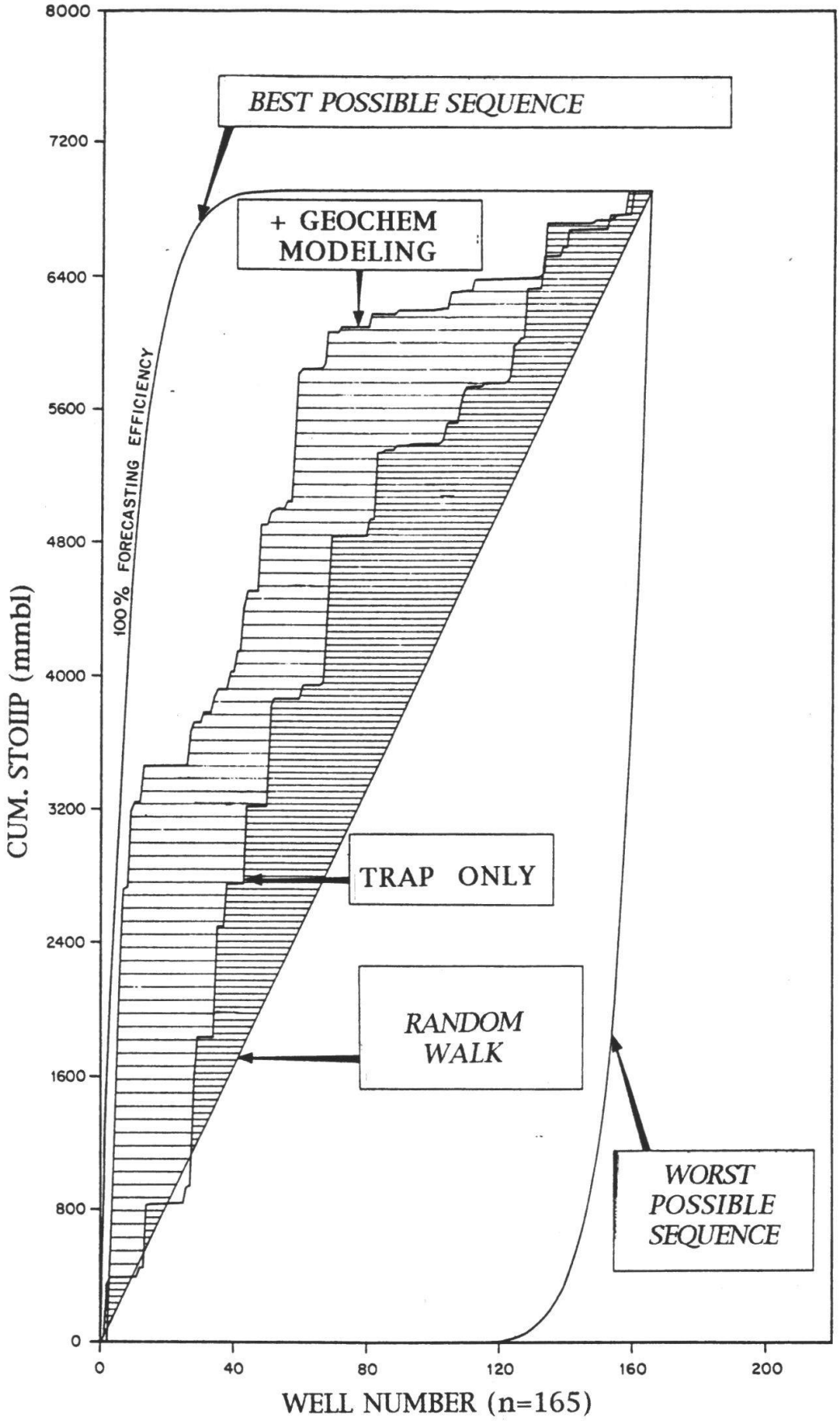
Die 1970 anhand von recht guter 2 D Seismik interpretierten Strukturen erwiesen sich als trocken oder enthielten nur geringe Mengen von Erdgas. Die auf 2 D Seismik basierende Exploration dauerte bis 1983, wobei sich das Strukturbild aufgrund der Bohrresultate oder neuen Seismik-Linien ständig veränderte. Optimismus wechselte ab mit Pessimismus. Die Situation 1983 war äusserst düster, nämlich 5 Bohrungen mit nur zwei marginalen Funden. Man entschloss sich deshalb zu einer begrenzten 3 D Seismik-Vermessung. Das Ergebnis war eine Anzahl guter Strukturen, die sich als gasführend erwiesen. In der Folge wurde das 3 D Netz über die ganze Konzession ausgeweitet, was bis 1989 zu 8 neuen Gasfunden führte. Dann ging man einen Schritt zu weit. Die Bohrung No. 14, auf einer Struktur, die von einer fraglichen Zeit versus Tiefe Konversion der Reflexionsseismik abhängig war, blieb trocken. Das unterträgliche Unrechthaben des Geologen hatte wieder zugeschlagen.

Am Anfang meines Referates erwähnte ich, dass nach dem anfänglich gewaltigen Erfolg der Antiklinaltheorie eine stets zunehmende Anzahl von Bohrungen auf gesicherten Oberflächenstrukturen trocken blieb. Das genaue Erfassen der Strukturen im Untergrund mit 3 D Seismik ist auch heute nur bedingt der Schlüssel zum Erfolg. Das sicher nicht im jungfräulichen Becken, die wenig oder gar nicht explorierten sind, wobei es nicht darum geht, wo gebohrt werden soll, sondern ob überhaupt gebohrt werden soll.

Das im Laufe der Zeit gewonnene Wissen über die Elemente und Prozesse, die für das Vorkommen von Erdöl und Erdgas verantwortlich sind, machte es möglich, ein System mit einer gewissen Voraussagekraft zu entwickeln. Für Einzelfälle lässt die Genauigkeit der Aussage noch zu wünschen übrig, da die Streuung der möglichen Werte (darunter zahlreiche Nieten) über mehrere Grössenordnungen reicht. Statistisch gesehen hat sich das von Shell entwickelte System insofern positiv ausgewirkt, indem es einen wichtigen Beitrag zur Bestimmung der Rangordnung von Explorationsgebieten oder Strukturen leistete.

Die Fig. 4 illustriert die Voraussagekraft dieses Evaluationssystems, basiert auf 165 Bohrungen in einer grösseren Anzahl Becken. Im Idealfall sollten von einer derartigen Population zuerst die grösseren Felder gebohrt werden, dann stets kleinere und zuletzt die trockenen Strukturen. Das Diagram zeigt, dass die Ergebnisse bei Einbezug eines geochemischen Evaluationsmodells näher der Idealkurve liegen, als in jenen Fällen, wo nur die Grösse der Falle, basiert auf Reflexionsseismik ausgewertet wurde. Dank diesen modernen Methoden konnte die Erfolgsquote in Gebieten, in welchen das Erdölsystem einigermassen bekannt ist, erheblich verbessert werden.

Traditionsgemäss liegt die Erfolgsquote für Explorationsbohrungen zwischen 10% und 30%, abhängig von der geologischen Situation und der Definition von Erfolg. Heute ist eine Erfolgsquote von mehr als 50% in guten Jahren keine Ausnahme. In



Figur 4: Vergleich der Voraussagen basierend (1) allein auf Grösse der Strukturen und (2) mit Anwendung eines Petroleum System Modells. Die letztere Kurve liegt bedeutend näher der Ideallinie.

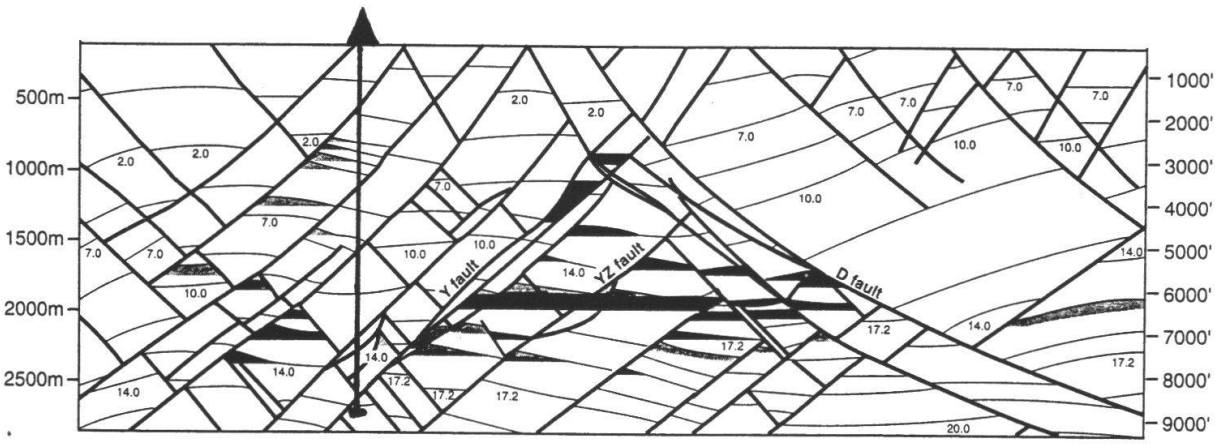
wenig oder nur sporadisch explorierten Gebieten bleibt die Suche nach wirtschaftlich ausbeutbaren Erdöl- oder Erdgasfeldern noch stets ein gewagtes Unternehmen, wobei der weitaus grösste Teil der Bohrungen erfolglos bleibt.

Wie lässt sich das erklären? Die sich sehr rasch weltweit ausbreitende Exploration der vergangenen Jahrzehnte hat das begrenzte Inventar von möglichen Fundstellen zunehmend abgerahmt. Die reichen Erdöl- und Erdgasbecken kamen zuerst an die Reihe, was übrig bleibt, ist viel schwieriger zu finden. Ohne eine verbesserte Evaluations- und Explorationstechnik hätten wir das Spiel schon lange abbrechen müssen. Anscheinend haben wir es mit einem selbstregulierenden Entscheidungssystem zu tun, wobei gerade genug Geld und Mühe investiert wird, um das Risiko der Fehlschläge und damit der Verluste mit dem möglichen Gewinn der Erfolge zu kompensieren.

Die Leichtigkeit des Geologendaseins

Alles deutet darauf hin, dass sich der Geologe mit der Unsicherheit seiner Voraussagen abfinden muss. Dies ist besonders hart für den Explorationsgeologen, der innert kurzer Frist mit der Wirklichkeit konfrontiert wird. Der wahre Explorer zieht daraus nur eine Lehre: mit frischem Mut an das nächste Wagnis.
Wie grausam man trotz allem daneben sein kann, zeigt Figur 5 mit einem Beispiel aus der Praxis. Mit der angezeigten Bohrung ist es dem Geologen gelungen, an den zahlreichen Öl- und Gasfallen dieser, zugegeben stark zerhackten, Struktur vorbeizubohren. «You never can win»!

Das letzte Beispiel der Grillen der Mutter Erde, die das Voraussagen so schwierig machen, führt uns vom Schwarzen Gold ins Reich des tiefroten Goldes - des roten Weines. Die Geologie des Bodens, das Klima, die Traube und die sorgfälltige Pflege durch den Winzer bestimmen die Qualität des Weines einer bestimmten Lokalität, wie auch in der Côte du Rhone.
Durch die fortdauernde Hebung der Alpen im Pliozän und Holozän wurde die Rhone in ihrem Flussbett stets mehr nach Westen abgedrängt, bis ihr die harten Granite und Gneisse des Zentralmassivs Halt geboten. Von Lyon bis Valence folgt die Rhone ziemlich genau der Grenze zwischen dem harten Kristallin und den viel



Figur 5: Ein Beispiel aus der «real world»: Wie eine Bohrung eine Vielzahl von Erdöl- und Erdgas-Akkumulationen trotz allem verfehlen kann.

weicheren miozänen bis quartären Sedimenten. Bei Tournon hingegen erzwang sich die Rhone aus unerklärlichen Gründen einen Weg durch den Granit und liess die viel weicheren Terrassen links liegen. Das Ergebnis ist der isolierte Hügel von Tain-l'Hermitage, mit einem eigenen Mikroklima, dank der ungehinderten Besonnung von Ost, Süd und West und der innigen Umarmung durch den Fluss. Ein spezieller Boden aus Granitgrus, Löss und Kalkgeröll erlaubt dort der Syrahtraube, sich zu voller Glorie zu entfalten. Das Ergebnis ist ein voller, zarter Wein, von einer Qualität, die hoch über jener aller Nachbargebiete steht. Ein Wein, der den besuchenden Geologen gerne vergessen lässt, dass es ihm niemals gelungen wäre, die Launen des Flussgottes, die dieses Wunder ermöglicht haben, vorauszusagen.

Wie süss ist dann das Dasein des Geologen, wenn er von diesen Hügeln aus die weite Landschaft überblickend, sich bewusst wird, dass seine geologischen Kenntnisse, wie unvollkommen sie auch sein mögen, es ihm ermöglichen, diesen Landschaftsformen Bedeutung beizumessen, was ihn die herbstliche Farbenpracht noch tiefer und die Strahlen der Oktobersonne noch wohltuender empfinden lässt.

Verehrter Herr Rektor Magnificus
Meine Damen und Herren

Ich erachte es als meine Aufgabe, den Studenten nicht allein die Erkenntnisse und Erfahrung meiner Geologenlaufbahn mitzuteilen, sondern vor allem ihr kritisches Denken zu stimulieren, wie mir das Professor A.H. Brouwer beigebracht hat. Wer einmal grenzüberschreitende Wissenschaft betreiben will, muss zuerst lernen, die Grenzen des eigenen Fachwissens genau zu umreissen. In der Geologie, die derart abhängig ist von unvollständigen Daten und unvollkommenen Modellen, ist, was Sir Francis Bacon 1611 geschrieben hat, von ganz besonderer Bedeutung (The New Organon, Aphorisms XLVI):

«The human understanding when it has once adopted an opinion (either as being the received opinion or as being agreeable to itself) draws all things else to support and agree with it. And though there be a greater number and weight of instances to be found on the other side, yet these it either neglects or despises, or else by some distinction sets aside and rejects; in order that by this great and pernicious predetermination the authority of its former conclusions remain inviolate. And therefore it was a good answer that was made by one when they showed him hanging in a temple a picture of those who had paid their vows as having escaped shipwreck, and would have him say whether he did not now acknowledge the power of the gods, - «Aye», asked he again, «but where are they painted that were drowned after their vows?» And such is the way of all superstition, whether in astrology, dreams, omens, divine judgments or the like; wherein men, having a delight in such vanities, mark the events when they are fulfilled, but when they fail, though this happen much oftener, neglect and pass them by. But with far more subtlety does this mischief insinuate itself into philosophy and the sciences; in which the first conclusion colours and brings into conformity with itself all that come after, though far sounder and better. Besides, independently of that delight and vanity which I have described, it is the peculiar and perpetual error of the human intellect to be more moved and excited by affirmatives than by negatives; whereas it ought properly to hold itself indifferently disposed towards both alike. Indeed in the establishment of any true axiom, the negative instance is the more forcible of the two.»