

M. T. et al. 1970; HEDBERG, H. D. 1982; HUNT, J. M. 1979; KÄGLER, S. 1987; KAUFMANN, A. A. & KELLER, G. V. 1981; KEAREY, Ph. & VINE, F. J. 1990; KLEMME, H. D. 1980a und 1980b; KRONBERG, P. 1984 und 1985; LANGGUTH, H.-R. & VOIGT, R. 1980; LEVORSEN, A. I. 1967; LOGIGAN, St. 1955; MAYER, F. 1982; MAYER-GÜRR, A. 1976; MEINHOLD, R. & PÄTZ, H. 1978; MILITZER, H. & WEBER, F. 1984, 1985 und 1987; MÜHLFELD, R. et al. 1981; MUNDRY, E. et al. 1985; NEUMANN, H. J. 1981c; NEWENDORP, P. D. 1980; NIENHUIS, P. H. 1981; NORTH, F. K. 1985; ÖMV AG. – Öffentlichkeitsarbeit 1988; OSTROFF, A. G. 1979; PERRODON, A. 1983; PERRODON, A. & MASSE, P. 1984; PETRASCHECK, W. E. &

POHL, W. 1982; PETTIJOHN, F. J., POTTER, P. E. & SIEVER, R. 1973; PIRSON, S. J. 1977; POTTER, P. E. & PETTIJOHN, F. J. 1977; PREUL, F. 1969; PRICE, L. C. 1976; REINECK, H.-E. & SINGH, I. B. 1980; ROMANKEVICH, E. A. 1984; SCHEIDEGGER, A. E. 1974 und 1976; SCHOTT, W. 1968, 1984b, 1984c, 1984d und 1984e; SCHOTT, W. & MAYER-GÜRR, A. 1968; SCHOWALTER, T. T. 1979; SEIBOLD, E. & BERGER, W. H. 1982; SIEGEL, F. R. 1974; SPÖRKER, H. 1982; TIRATSOO, E. N. 1976; TISSOT, B. P. & WELTE, D. H. 1984; TOLLMANN, A. 1978; WEGGEN, K., DOHR, G. & WELTE, D. H. 1980; WELTE, D. H. 1989; WELTE, D. H. et al. 1982; WILSON, J. L. 1975; ZIMMERLE, W. 1985.

## II.1. Bildung und Geochemie von Kohlenwasserstoffen sowie deren Anreicherung zu nutzbaren Lagerstätten

### II.1.1. Die Entstehung von Kohlenwasserstoffen

von Werner LADWEIN und Franz SCHMIDT

#### II.1.1.1. Der Kohlenstoffkreislauf

Der Gesamt-Kohlenstoff der Erde kann vereinfacht in einem großen Kreislauf dargestellt werden (Abb. 1). Nur etwa 20 % des Kohlendioxides ( $\text{CO}_2$ ) werden in photosynthetischen Prozessen verbraucht. Mit  $\text{CO}_2$ , Wasser und Sonnenlicht wird durch die Photosynthese organisches Material aufgebaut. Diese riesigen Mengen an

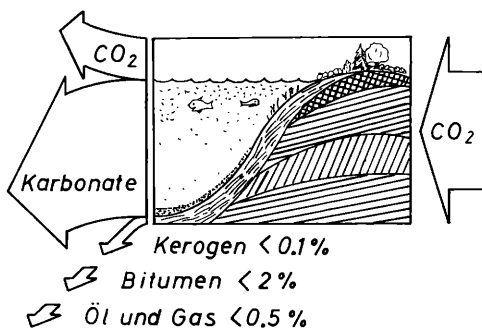


Abb. 1. Kohlenstoffkreislauf: Von jeweils 50 Millionen Kohlenstoffatomen im Kreislauf ist nur ein einziges in Öl- oder Gaslagerstätten wiederzufinden.

organischem Material (ca. 100 000 000 000 Tonnen pro Jahr) werden fast durchwegs wieder organisch abgebaut und oxidiert. Nur ein Tausendstel (0,1 %) entgeht diesem Abbau und wird in Sedimenten so erhalten, daß Kerogen daraus gebildet werden kann. Kerogen stellt das Ausgangsmaterial für die Kohlenwasserstoffgenese im engeren Sinn dar. Aus dem Kerogen wird auch das Bitumen gebildet. Bitumen ist das in organischen Lösungsmitteln lösliche organische Material, wohingegen Kerogen selbst nicht löslich ist. Bitumen geht zu etwa 2 % aus dem Kerogen hervor. Von diesem Bitumen gelangen wiederum nur etwa 0,5 % als Öl und Gas in Speicheresteine. Weit aus größere Mengen von Kohlenwasserstoffen werden durch den Reifungsprozeß des Kerogens gebildet.

#### II.1.1.2. Muttergesteine

Um aus organischem Material Öl oder Gas entstehen zu lassen, bedarf es bestimmter Voraussetzungen:

Quantität  
 Qualität und  
 Reife des organischen Materials (Maturität)

müssen in ausreichendem Maße gegeben sein. Gesteine, in welchen die obigen Voraussetzungen gegeben sind, werden Muttergesteine genannt. Aus diesen Muttergesteinen („source rocks“) können bei entsprechender Reife Kohlenwasserstoffe gebildet werden.

deutungen sind:  $C_{org}$  = organischer Kohlenstoff in einem Gestein; TOC = „total organic carbon content“, gesamter organischer Kohlenstoff; OC = „organic carbon“, organischer Kohlenstoff.

Die „Qualität“ bezieht sich auf die Art des organischen Materials. Verschiedene Ausgangsmaterialien (Phytoplankton, Zooplankton, Bakterien, Landpflanzen) stellen verschiedene Arten von organischem Material für die potentielle Erdölbildung zur

| Ausgangsmaterial  | Kerogen Typ | gebildete KW          |
|---|-------------|-----------------------|
| <b>Algen aus Frischwasser und marinem Bereich</b>                                     | I           | <b>Öl</b>             |
| <b>Amorphe Partikel von Phyto- u. Zooplankton, Pollen, Sporen, Landpflanzengewebe</b> | II          | <b>Öl und Gas</b>     |
| <b>Reste kontinentaler Vegetation, holziges Material</b>                              | III         | <b>Gas</b>            |
| <b>Oxidiertes und aufgearbeitetes Material jeglicher Herkunft, Holzkohlen</b>         | IV          | <b>kein Potential</b> |

Abb. 2. Kerogentypen

Um organisches Material in ausreichender Quantität und Qualität anzureichern bedarf es bestimmter Voraussetzungen. Der Ablagerungsraum der Sedimente (environment) muß z. B. reduzierende Verhältnisse aufweisen, da ansonsten das organische Material oxidiert wird und danach keine Kohlenwasserstoffe mehr daraus gebildet werden können. Auch die Sedimentationsrate spielt eine Rolle. Bei hoher Sedimentationsrate wird der oxidative und mikrobielle Abbau verringert, sodaß eine relative Anreicherung der organischen Substanz im Sediment erfolgen kann.

Unter „Quantität“ versteht man die prozentuelle Menge an organischem Material in einem Gestein. Ist dieser Anteil zu klein (sehr wenig organisches Material im Gestein verteilt), so kann nicht genug Öl und/oder Gas gebildet werden, um dies überhaupt erkennen zu können. Die gebräuchlichen Abkürzungen und deren Be-

Verfügung. Neben der Namensgebung, die sich auf die Herkunft des Materials bezieht, wird das Kerogen in Typen von I bis IV unterteilt (Abb. 2). Typ I stellt das Kerogen mit der höchsten Qualität für die Ölbildung dar. Kerogen geringerer Qualität bildet eher Gas als Öl. Je nachdem, ob aus einem Kerogen Öl oder Gas gebildet werden kann, wird es auch mit den englischen Begriffen „oilprone“ bzw. „gasprone“ beschrieben.

Die Reife eines Gesteines (Maturität) beinhaltet die Summe irreversibler Veränderungen der organischen Substanz im Gestein auf Grund der Einflüsse von Zeit, Druck und insbesondere Temperatur.

### II.1.1.3. Muttergesteinsuntersuchungen

Zur Beschreibung der Eigenschaften Quantität, Qualität und Reife bedient man sich verschiedener analytischer Methoden.

$C_{org}$

Für den Gehalt an  $C_{org}$  wird eine pulverisierte Gesteinsprobe stark erhitzt. Das dabei entweichende  $CO_2$  steht in Relation zum Gehalt an  $C_{org}$  (Karbonate werden vorher entfernt, da diese auch  $CO_2$  liefern). Gute Muttergesteine haben üblicherweise hohe  $C_{org}$ -Werte. Diese Information allein genügt jedoch nicht. Der hohe  $C_{org}$ -Wert könnte ja auch durch oxidiertes organisches Material erzeugt worden sein, welches aber keine Kohlenwasserstoffe bilden kann.

Pyrolyse

Bei der Pyrolyse wird wiederum ein Gesteinspulver erhitzt. Die im Gestein vorhandenen bereits gebildeten Kohlenwasserstoffe verdampfen und werden durch einen Detektor erkannt. Durch weiteres Erhitzen wird noch vorhandenes organisches Material künstlich gereift, in Kohlenwasserstoffe umgewandelt und ebenfalls an einem Detektor gemessen. Die Menge an Kohlenwasserstoffen in der Probe in Verhältnis zur Menge des  $C_{org}$  gesetzt gibt einen Wert HI („hydrogen index“), der die

Qualität des Kerogens zum Ausdruck bringt. Kann aus einem Gestein mit relativ geringem  $C_{org}$  eine relativ große Menge an Kohlenwasserstoffen gewonnen werden, so muß es sich um Kerogen guter Qualität handeln, d. h. HI ist hoch. Ist jedoch die gewinnbare Menge an Kohlenwasserstoffen gering, so ist auch HI gering, damit handelt es sich um Kerogen geringerer Qualität; es liegt ein schlechtes Muttergestein vor.

Reife (Maturität)

Die Reife wird auf viele verschiedene Arten ermittelt und zum Ausdruck gebracht. Eine sehr gebräuchliche Methode, auf welche andere Reifemessungen auch immer wieder Bezug nehmen, ist die Messung der Vitrinitreflexion (%Ro). Diese Methode stammt aus der Kohlenpetrographie. Eine bestimmte Art des organischen Materials (Vitrinit) ändert sein Reflexionsvermögen für Licht, welches mit steigender Reife besser wird. Als Richtwert für das Einsetzen der Ölgenese kann eine Reife von ca. 0,6 % Ro angenommen werden. Dabei gilt, wie bei der Temperatur, daß es

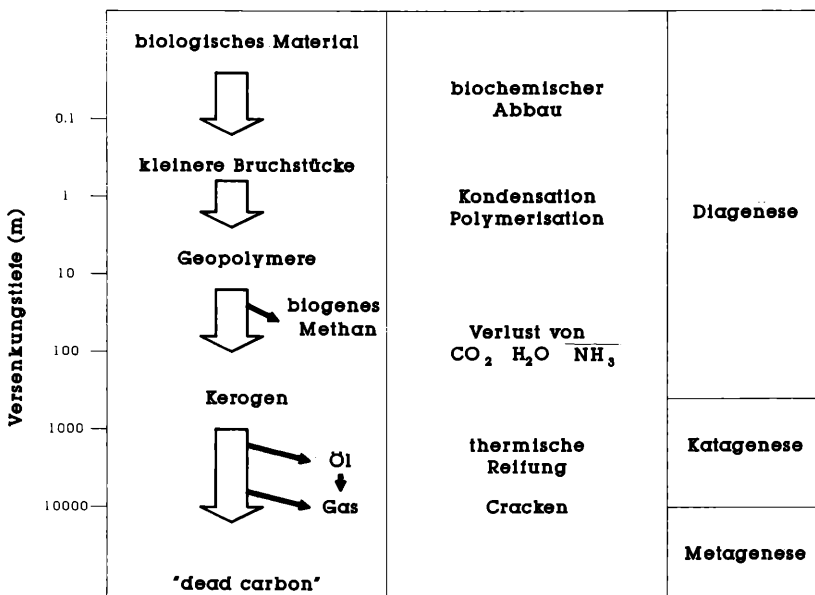


Abb. 3. Veränderungen von organischem Material beim Durchlaufen der verschiedenen Stufen Diagenese, Katagenese und Metagenese

sich nur um einen Richtwert handelt; Ölgene-  
nese kann je nach Bedingungen bereits  
bei geringerer, aber auch erst bei höherer  
Reife einsetzen.

**II.1.1.4. Entstehung von Öl und Gas**

Während des Durchlaufens der Stufen  
Diagenese, Katagenese und Metagenese  
(Abb. 3, 4, 5) erfolgen verschiedene Ver-  
änderungen der organischen Substanz.

**Diagenese**

Während der Diagenese wird bereits  
organisches Material zu Gas abgebaut.  
Durch die Aktivität von Bakterien entsteht  
das sogenannte „biogene Gas“, ein Gas,  
das durchwegs aus Methan besteht und  
daher ein Trockengas ist. Der Anteil von  
organischem Material, aus welchem Kero-  
gen gebildet werden könnte, schrumpft  
durch diese Gasgenese bereits.

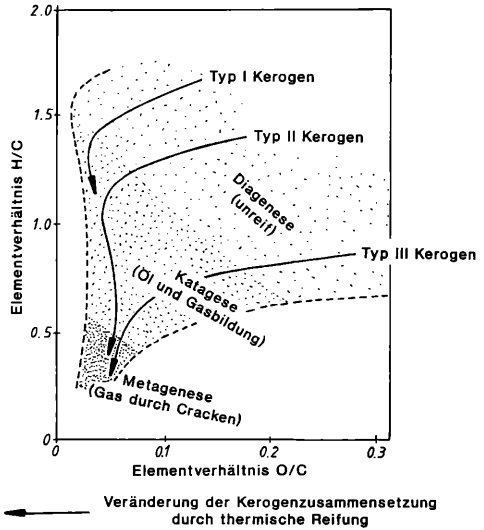


Abb. 4. Van Krevelen Diagramm: Die Ver-  
änderungen der verschiedenen Kerogentypen wäh-  
rend der thermischen Reifung werden durch  
Analysen der Elemente Kohlenstoff, Wasser-  
stoff und Sauerstoff erkannt.

| Bereich                           | % Ro | ° C | km  |
|-----------------------------------|------|-----|-----|
| Diagenese<br>unreif               | 0.6  | 60  | 1.0 |
| Katagenese<br>Ölzone              | 0.8  | 100 | 2.0 |
|                                   | 1.3  | 175 | 3.0 |
| Metagenese<br>Trockengas-<br>zone | 2.0  | 225 | 4.0 |
|                                   | 3.0  | 300 | 6.0 |

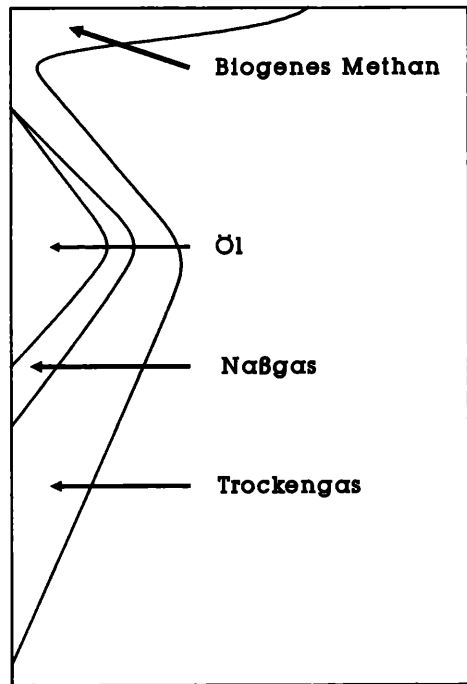


Abb. 5. Ölfenster: Das sogenannte Ölfenster ist der Bereich der Ölhauptbildungsphase, ausgedrückt  
entweder in thermischer Reife, in Temperatur oder in Teufe. Diese Werte sind jedoch Richtwerte und  
sind von Fall zu Fall unterschiedlich.

### Katagenese

Im Rahmen der Katagenese wird in einem Muttergestein aus dem Kerogen Öl gebildet. Das erfolgt bei Temperaturen ab ca. 70°C, wobei eine genaue Temperaturgrenze nicht angegeben werden kann. Je nach Kerogentyp bzw. auch je nach der Verweildauer eines Sediments in einem bestimmten Temperaturregime setzt die Ölgene im Sediment etwas früher oder später ein. Überschreitet die Ölbildung mengenmäßig einen Schwellenwert, so kann das neugebildete Öl aus dem Muttergestein ausgestoßen werden, es erfolgt primäre Migration (siehe II.1.3.).

### Metagenese

Mit fortschreitender Ölgene wird das übrigbleibende Kerogen immer relativ C-reicher und die gebildeten Kohlenwasserstoffe werden immer leichter und C-ärmer (das Verhältnis H/C wird immer größer; Abb. 4) bis letztendlich im Stadium der Metagenese (ab ca. 200° C) nur mehr Methan (CH<sub>4</sub>) gebildet wird. Das noch im Muttergestein vorhandene Öl wird durch Cracken in immer leichtere Kohlenwasserstoffe und dann in Methan umgewandelt. Das restliche Kerogen bleibt schließlich als nicht mehr reaktives „totes“ Kerogen („dead carbon“) übrig. Der geforderte Temperaturbereich kann auch durch gebirgsbildende (tektonische) und/oder vulkanisch-magmatische Vorgänge bedingt sein.

Bei weiterem Temperaturanstieg tritt die Phase der Anchimetamorphose als Vor- bzw. Übergangsstufe zur Metamorphose (Gesteinsumwandlung) ein. In dieser Phase beginnt sich das verbleibende Kerogen in Graphit umzuwandeln, Kohlenwas-

serstoffe werden daher nicht mehr gebildet.

#### Literaturauswahl für das Hauptkapitel II.1.1.:

BROOKS, J. et al. 1987; CORNELIUS, C.-D. 1978; CZURDA, K. 1972; DOW, W. G. 1978; GOLD, Th. & SOTER, St. 1980 und 1982; GRUNAU, H. R. 1983; HEDBERG, H. D. 1982; HEEK, K. H. van, JÜNTGEN, H., LUFT, K.-F. & TEICHMÜLLER, M. 1971; HORSFIELD, B., DISKO, U. & LEISTNER, F. 1989; HUC, A. Y. 1990; JÜNTGEN, H. & KLEIN, J. 1975; KÖSTER, J., KULKE, H. & LADWEIN, H. W. 1992; KRATOCHVIL, H. & LADWEIN, H. W. 1984a; KUCKELKORN, K., HILTMANN, W. & SCHWERD, K. 1990; KUCKELKORN, K. & HILTMANN, W. 1990; LADWEIN, H. W. 1983a; LADWEIN, H. W., SEIFERT, P. & SCHMIDT, F. 1989; LARTER, St. 1989; LEYTHAEUSER, D. & LADWEIN, H. W. 1992; MELTON, C. E. & GIARDINI, A. A. 1984; MEINHOLD, R. 1983; OURISSON, G., ALBRECHT, P. & ROHMER, M. 1984; PETERS, K. E., ISHIWATARI, R. & KAPLAN, I. R. 1977; POWELL, T. G. & SNOWDON, L. R. 1983; PRICE, L. C. 1983; RITTER, U. 1984; ROBERT, P. 1988; ROSELT, G. 1980; ROYDEN, L., SCLATER, J. G. & VON HERZEN, R. P. 1980; SAXBY, J. D. 1982; SCHMOKER, J. W. 1984; SIEVER, R. 1983; SNOWDON, L. R. & POWELL, T. G. 1982; STONE, I. J. & COOK, A. C. 1979; TEICHMÜLLER, M. 1971; TEICHMÜLLER, M. & TEICHMÜLLER, R. 1975; TISSOT, B., DURAND, B., ESPITALIE, J. & COMBAZ, A. 1974; TISSOT, B., BARD, J. F. & ESPITALIE, J. 1980; TISSOT, B. & PELET, R. 1981; TISSOT, B. & WELTE, D. 1984; TREIBS, A. & HIRNER, A. 1982; UNGERER, P. 1989; VASSOEVIC, N. V. & SOKOLOV, V. A. 1980; WASSOJEWITSCH, N. B., KORTSCHAGINA, J. I., LOPATIN, N. W., TSCHERNYSCHEW, W. W. & TSCHERNIKOW, K. A. 1969; WELTE, D. H. 1966 und 1977; WELTE, D. H. & YÜKLER, M. A. 1981; WRIGHT, N. J. R. 1980; YALCIN, M. N. & WELTE, D. H. 1988; ZIEGENHARDT, W. 1975; ZIMMERLE, W. 1985.

## II.1.2. Geochemie der Kohlenwasserstoffe

von Werner LADWEIN und Franz SCHMIDT

### II.1.2.1. Definitionen

Kohlenwasserstoffe sind Verbindungen, welche nur die Atome Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten. Diese Verbindun-

gen zusammen mit verschiedenen „Nicht-Kohlenwasserstoffen“ bauen Öl und Gas auf. Erdöl und Erdgas als Kombination von Kohlenwasserstoffen und Nichtkohlenwasserstoffen werden in der engli-