

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 Ölanzeichen 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 Kaspisee), 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

aus dem Gebiet südwestlich von Antalya, ein 2000–3000 Jahre brennendes „ewiges Feuer“), Irak (Ninive bei Mosul und Babylon bei Hillak).

Methan und Luft ergeben ein gefährliches Gemenge. 5–14 % Methan in diesem Gemenge sind explosiv. Steigt der Methangehalt über 14 %, so entsteht ein brennbares Gemenge. Das austretende Erdgas kann daher durch Blitzschlag oder unvorsichtiges Verhalten von Menschen explodieren oder in Brand geraten.

Leichtölaustritte: Leichtöle haben eine Dichte unter $0,9 \text{ g/cm}^3$ und bestehen zumeist aus Paraffin-KW bis C_7H_{16} . Die natürlichen Fördermengen pro Tag können von einigen Tropfen bis zu mehreren hundert Litern schwanken. Leichtöle bilden auf Wasseroberflächen in den Regenbogenfarben schillernde, schlierige, dünne Häutchen und sind außerdem an ihrem Benzingeruch erkennbar. Leichtöle verdunsten sehr rasch und lassen dabei sehr wenig Rückstände übrig.

Einige Fundstellen sollen genannt werden: Oberbayern (St. Quirinusquelle am Westufer des Tegernsees, bekannt seit 1441, Austrittsmenge etwa 40 l pro Tag), Italien (zahlreiche Stellen an der Nordostflanke des toskanischen Apennin zwischen Piacenza und Imola, aus Sandsteinen), Südpersien (bei Ahwaz, 75 l/Tag, bei Susa nahe Shustar, 50 l/Tag), USA (Oilcreek-Valley bei Titusville, Pennsylvania; war 1859 Anlaß zur berühmten Bohrung des „Colonel“ DRAKE; Salt Creek, Wyoming, 500 l/Tag). Auch Leichtölaustritte sind durch ihren hohen Gehalt an leichten KW leicht entzündbar und können daher ebenfalls „ewige Feuer“ bilden.

Schwerölvorkommen: Schweröl besteht vorwiegend aus hohen KW-Verbindungen, ist sehr viskos (zähflüssig), meist dunkel gefärbt und hat eine Dichte ab $0,9 \text{ g/cm}^3$. Das größte bekannte Vorkommen an der Erdoberfläche liegt am Athabasca-River in Alberta, Kanada. Die Ausdehnung ist etwa 50 000 km^2 groß (= größer als Dänemark). Das Schweröl kommt in bis zu 60 m mächtigen Sandsteinen aus der Kreidezeit vor. Das Vorkommen wird abgebaut und das Öl durch Destillation gewonnen. Aus einer Tonne

Sandstein können 60 bis 100 Liter Öl destilliert werden.

Asphaltaustritte: Zu den sehr spektakulären Naturerscheinungen gehören Austrittsstellen von Asphalt. Unter Asphalt versteht man ein brennbares, dunkles, festes Gemisch aus Bitumen und Mineralstoffen. Naturasphalt entsteht durch Verdunsten leichtflüchtiger sowie durch Oxydation und Polymerisation von schwerflüchtigen KW. Als Polymerisation wird der Zusammenschluß mehrerer gleichartiger oder verschiedener KW-Moleküle zu einem Großmolekül bezeichnet.

Man kennt zahlreiche Stellen, wo Asphaltmengen aus der Tiefe an die Erdoberfläche steigen. Während in der Tiefe höhere Temperaturen herrschen und der Asphalt daher weniger zähflüssig ist, erstarrt Asphalt an der Erdoberfläche weitgehend. Vorkommen mehrerer Austrittsstellen, angeordnet in gerader Linie, weisen auf tieferreichende Störungszonen hin, die als Aufstiegswege benützt werden. Asphalt wird auch in porösen oder klüftigen Gesteinen an der Erdoberfläche als Poren- oder Klüftfüllung beobachtet. Als Beispiele seien genannt: Frankreich (Asphaltkalke von Pechelbronn im Unterelsaß), BRD (Limmer bei Hannover), Italien (Ragusa auf Sizilien), Ukraine (Erdwachs- und Asphaltsande vom Karpatennordrand bei Boryslav), Aserbeidschan (Asphaltkuppen von mehreren 100 m Durchmesser und bis zu einer Höhe von 30 m auf der Halbinsel Apscheron bei Baku), Israel/Jordanien (Aufsteigen von Asphaltklumpen im Toten Meer, gleichzeitig Geruch nach H_2S).

Es wird darauf hingewiesen, daß erstarrter Asphalt in Gesteinen öl- und gasführende Schichten gleichsam versiegeln kann, sodaß gegen die Tiefe förderbare KW-Vorkommen noch vorhanden sein können.

Viel auffälliger als die vorhin genannten Beispiele sind „Asphaltseen und Asphaltströme“. Beispiele für Asphaltseen: Insel Trinidad in der Karibik (Pitch Lake bei La Brea im Südwesten der Insel; heute noch 83 m tief, Fläche ca. 44 ha, das Vorkommen wird abgebaut), Venezuela (Bermudez bei Pedernales, bis 6 m tief, Fläche

4 km², wird abgebaut). Bei beiden Beispielen wird die abgebaute Menge durch langsam aufsteigenden Asphalt wieder ersetzt. Weiters ist ein Asphaltsee in den USA zu nennen (Rancho La Brea bei Los Angeles, von hier auch Gasaustrittstellen bekannt). Beispiele für Asphaltströme: USA (Coal Oil Point westlich Santa Barbara, Kalifornien; es fließen täglich 8–11 m³ Asphalt ins Meer), Irak (Hit am Euphrat, westnordwestlich Bagdad; zeitweise fließen 1–2 t pro Tag aus).

Ölschiefervorkommen: Schiefrige Gesteine mit darin gebundenen, meist diffus verteilten KW können auch als Muttergesteine angesehen werden, die eine gewisse Diagenese (Gesteinsverfestigung) mitgemacht haben und durch Bewegungen in der Erdkruste (Tektonik) an die Erdoberfläche gelangt sind. Die KW sind aber nicht direkt förderbar und widerstehen auch organischen Lösungsmitteln. Öl ist aus Ölschiefern, die von einigen Autoren auch als Kerogen-Gesteine bezeichnet werden, nur durch Verschmelzung in Spezialöfen und zerstörende Destillation gewinnbar. Nach K. KREJCI-GRAF (1959) sind Ölschiefer aus Halbfaulschlamm (Ablagerungen organischer Stoffe in sauerstoffarmem Wasser) entstanden. B. BITTERLI (1962) gibt einen Überblick der westeuropäischen Ölschiefer-Vorkommen.

Salzwasseraustritte: Die mit KW-Lagerstätten gemeinsam entstandenen Salzwässer (Erdölbegleitwässer, Rand- und Bodenwässer, siehe auch Kapitel II.1.7.) treten oft gleichzeitig mit KW oder auch allein an die Erdoberfläche. Für solche Wässer ist der Gehalt an Kochsalz, Jod und Brom charakteristisch, gelegentlich ist auch H₂S vorhanden, während Sulfate weitgehend fehlen. Salzwässer dagegen, die durch Auslaugung von Salzlagerstätten gebildet werden, haben eine wesentlich höhere Kochsalzkonzentration (meist mehr als 40 000 mg NaCl pro Liter) und zumeist auch einen hohen Sulfatgehalt (z. B. Gips, CaSO₄ + H₂O).

Salzwässer haben eine geringere Viskosität als Öl und fließen daher aus porösen Gesteinen oder Klüften leichter aus als Öl. Aus der Tiefe hochsteigende Salzwässer können sich mit dem Grundwasser mi-

scheln und so die Ursache für einen erhöhten Kochsalzgehalt des Grundwassers sein.

Beispiele für Salzwasseraustritte: In meist großer Zahl sind solche Stellen u. a. aus dem Irak (mindestens 80), aus Burma, den USA (Kalifornien, Pennsylvanien), aus Java, Kolumbien, der UdSSR (Galizien bei Wielka Belkofka, Halbinsel Apscheron bei Baku, Insel Artem im Kaspischen Meer) und aus Rumänien bekannt. Vielfach sind die zutage tretenden Salzwässer auch jodführend.

II.2.1.3. Künstliche Aufschlüsse

In der Literatur sind zahlreiche Hinweise auf Öl- oder Gasaustrittstellen vorhanden, die durch Menschen erst künstlich geschaffen wurden. Es handelt sich dabei z. B. um Brunnengrabungen, Schächte, Tunnelbauten, Stollen, seichte Wasserbohrungen und ähnliche Kunstbauten. Nicht jede aufsteigende Öl- oder Gasmenge muß immer bis zur Erdoberfläche gelangen und zwar dann, wenn abdichtende Lagen in Erdoberflächennähe oder ungenügender Druck dies verhindern. Beispiele für solche durch künstliche Aufschlüsse in Österreich entdeckte Öl- oder Gasaustrittstellen sind tabellarisch in Kapitel IV.2. genannt.

II.2.1.4. Prüfungsmethoden

Im Gelände oder im verbauten Gebiet auftretende KW können natürlichen oder unnatürlichen Ursprungs sein. Undichte Kesselanlagen oder Tanks von Tankstellen, ausgelaufenes Motoröl, Tankwagen- oder Eisenbahnunfälle, undichte Rohrleitungen usw. täuschen KW-Anzeichen vor, wobei zu beachten ist, daß diese unechten Anzeichen auch in größerer Entfernung vom verursachenden Ereignis erst zutage treten können. Sinken nämlich solche KW bis zum Grundwasserspiegel ab, können sie kilometerweit mit dem Grundwasserstrom transportiert werden. Schließlich können natürliche, also echte, gasförmige KW auch anderer Entstehung sein (Sumpfgas, Grubengas) und mit KW-Lagerstätten daher gar nichts zu tun ha-

ben. Dazu kommt, daß Laien oft einer Täuschung unterliegen und bestimmte Naturerscheinungen für KW-Anzeichen halten, wie der Autor aus langjähriger Erfahrung weiß. Es ist daher an alle Funde von KW an der Erdoberfläche mit großer Skepsis heranzugehen.

Es gibt einige Kriterien bei natürlichen Erdgas-, Erdöl- und Salzwasseraustritten, die helfen können, einige Fragen zu klären. Es wird aber ausdrücklich darauf hingewiesen, daß alle im folgenden genannten Prüfungsmethoden fachgerechte chemische Gas-, Öl- oder Wasseranalysen in einem entsprechend ausgerüsteten Labor nicht ersetzen können.

Erdgas: Beim Beobachten und Untersuchen von Gasaustrittsstellen ist besondere Vorsicht nötig, da der Hauptbestandteil der meisten Naturgase Methan (CH_4) ist. Wie schon geschildert, ist aber Methan in einem bestimmten Mischungsverhältnis mit Luft hochexplosiv. Da man zunächst weder die Gaszusammensetzung noch die Gaskonzentration kennt, ist offenes Feuer im Umkreis von 30, besser 50 m unbedingt zu vermeiden, wobei auch die Windrichtung zu beachten ist.

Das gemeinsame Auftreten von Methan und Schwefelwasserstoffgas ist nicht unbedingt an unterirdische KW-Lagerstätten geknüpft, da H_2S auch in Oberflächennähe durch Zersetzung organischer Substanz gebildet werden kann. Methanvorkommen, die eine Beimischung höherer KW besitzen und daher einen deutlichen Benzin- oder Petroleumgeruch haben, könnten auf KW-Vorkommen in der Tiefe hindeuten.

Probennahme bei Austritt von Naturgasen unter Wasserbedeckung: eine gut gereinigte Flasche mit großer Öffnung mit Wasser füllen, unter Wasser Öffnung nach unten drehen und über die Gasaustrittsstelle halten. Das hochperlende Gas verdrängt das Wasser in der Flasche. Diese unter Wasser gut verschließen und mit der Öffnung nach unten rasch in das nächste Labor bringen. Es ist empfehlenswert, vor dem Verschließen etwas Wasser in der Flasche zu belassen.

Probennahme von Naturgasen ohne Wasserbedeckung: einen großen Trichter

über die Austrittsstelle stülpen. Der Trichter ist über einen dicht schließenden Schlauch mit einem gläsernen Gasprobenbehälter (Gasmaus) verbunden. Die Gasmaus besitzt an beiden Enden gut schließende Absperrhähne und ist mit Wasser gefüllt. Beide Hähne öffnen, wobei man die Gasmaus senkrecht hält, das Schlauchstück zum Trichter nach unten. Nun läßt man das Gas einströmen, wobei das Wasser verdrängt wird. Ist das ganze Wasser verdrängt, Schließen des oberen Hahnes, ein bißchen Druck aufbauen lassen, dann Schließen des zweiten Hahnes. Gasprobenbehälter sind in Labor-Ausrüstungsgeschäften erhältlich.

Die Prüfung, ob ein brennbares Gas vorliegt, ist für Laien wegen der Explosionsgefahr zu riskant und sollte daher Fachleuten vorbehalten sein.

Erdöl: Die Art der Überprüfung hängt von der Art des Auftretens von Erdöl ab. Erdöl auf Wasser: dicke, braunschwarze bis dunkelbraune Fladen deuten auf Asphaltöl hin. Ein dünner, schlieriger, in den Regenbogenfarben schillernder Film kann von Paraffinöl herrühren. Allerdings kann auch Eisenhydroxid, das mit Öl nichts zu tun hat, solche dünnen Häutchen bilden. Zur Prüfung zerteilt man diese Häutchen mit einem Stäbchen. Läuft dieses Häutchen wieder zu einem geschlossenen Fleck zusammen, so liegt eine Ölhaut vor, wobei aber nicht zu entscheiden ist, ob es sich um Rohöl oder um ein Destillat (Petroleum, Heizöl, Schmieröl usw.) handelt. Zerfällt das Häutchen nach dem Zerteilen in eckige, rotbraune Teilstücke, die sich nicht mehr vereinen, so liegt Eisenhydroxid vor. Ein weißes Häutchen von Paraffinöl mit sehr hohem Paraffingehalt zerfällt auf sehr kaltem Wasser (knapp über 0°C) ebenfalls in kleine Stückchen, die aber weiß bleiben.

Zur Probennahme von Öl auf Wasser benützt man ein gut verschließbares Gefäß mit großer Öffnung. Man versucht eine möglichst große Ölmenge zu sammeln, wobei es unvermeidlich ist, daß auch etwas Wasser mitgesammelt wird. Nach kurzer Zeit wird eine Entmischung eintreten, da Öl leichter als Wasser ist.

Erdöl aus Gestein: Sickert oder fließt eine ölverdächtige Flüssigkeit aus den Klüften oder Poren eines Gesteins, so macht man zuerst eine Geruchsprobe, da flüssige KW immer nach Benzin oder Petroleum riechen. Ist genügend Flüssigkeit vorhanden wird man versuchen, etwa 1 Liter in einer gut verschließbaren Flasche einzusammeln, da diese Menge für eine komplette chemische Vollanalyse zweckmäßig ist. Für erste orientierende Laboruntersuchungen genügt aber auch schon eine Menge von 1–2 cl. Ist nur sehr wenig Flüssigkeit vorhanden, ist es empfehlenswert, das flüssigkeitsgetränkte Gestein selbst zu sammeln, wobei einige Kilogramm in einem gut verschlossenen Beutel zum Labor gebracht werden sollten.

Salzwasser: Der höhere Kochsalzgehalt von Erdölbegleitwässern ist zumeist durch eine Zungenprobe leicht festzustellen. Andere chemische Bestandteile wie Sulfate, Brom, Jod usw. sind nur durch eine Laboruntersuchung zu ermitteln. Bei allen Probennahmen ist darauf zu achten, daß die Probengefäße vor dem Befüllen trocken und sauber sind.

Ganz allgemein ist zu sagen, daß bei jeder Probennahme (Gas, Öl, Salzwasser) Ort, Zeitpunkt, Fundumstände und sonstige Beobachtungen vom Probennehmer schriftlich festgehalten werden sollen. Die an die Probenahme anschließenden wissenschaftlichen Untersuchungen sind in den Kapiteln II.3.2. und II.3.5. näher erläutert.

II.2.1.5. Bedeutung für die Prospektion

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts waren echte Öl- und Gasanzeichen an der Erdoberfläche die einzigen konkreten Hinweise für das mögliche Vorhandensein tiefer gelegener Lagerstätten. Dies deshalb, weil man zu dieser Zeit kaum wissenschaftlich begründete Vorstellungen über die Bildungs- und Ansammlungsgesetzmäßigkeiten für KW hatte.

Auch heute ist das Auftreten echter KW-Anzeichen an der Erdoberfläche zunächst einmal ein Hinweis dafür, daß es irgendwo in der Tiefe Muttergesteine mit dem entsprechenden Reifegrad sowie Auf-

stiegswege für KW gibt. Keinesfalls ist aus diesen Beobachtungen allein auch der sichere Schluß zu ziehen, daß in der Tiefe abbauwürdige, d. h. unter den gegenwärtigen wirtschaftlichen Verhältnissen ökonomisch nutzbare Öl- oder Gaslagerstätten vorhanden sein müssen. Es muß daher vor einer Überbewertung solcher Anzeichen gewarnt werden. Andererseits sind solche Hinweise für ein bestimmtes Prospektionsgebiet ein Anreiz, spezielle geologische und geophysikalische Arbeiten zu planen, um weitere Anhaltspunkte über den Bau und die Entstehungsgeschichte des Gebietes zu gewinnen. Damit werden Entscheidungshilfen geschaffen, ob weitere und meist kostspielige Investitionen gemacht werden sollen oder nicht.

In mehreren Fällen wurde nämlich durch diese zusätzlichen Prospektionsarbeiten erkannt, daß echte KW-Anzeichen z. B. im Scheitel von Schichtaufwölbungen oder in der Nähe von Ausstrichlinien von Bruchsystemen auftreten. Wo ständig und in unverminderter Menge KW aufsteigen ist die Wahrscheinlichkeit groß, daß sich in der Tiefe noch nutzbare Lagerstätten befinden. Viele große Lagerstätten am Festland und in den Schelfgebieten der Kontinente sind aber ohne irgendwelche Obertagsanzeichen und nur mit Hilfe der heutigen Prospektionsmethoden gefunden worden. Dennoch soll die Rolle der echten KW-Anzeichen auch nicht unterbewertet werden. W. K. LINK (1952) und W. E. SWEET jr. (1974) meinen, daß, weltweit gesehen, mehr als die Hälfte der heutigen, relativ seicht liegenden Welterdölvorräte durch KW-Anzeichen an der Erdoberfläche aufgefunden worden sind. Da aber die Tendenz bei der KW-Prospektion immer mehr dazu hinneigt, sehr tiefe Bereiche der Erdkruste nach KW zu erforschen, ist damit zu rechnen, daß in Zukunft die Bedeutung von KW-Anzeichen an der Erdoberfläche wesentlich abnehmen wird.

Literaturauswahl für das Hauptkapitel II.2.1.:

BLUMER, E. 1922; LINK, W. K. 1952; NORTH, F. K. 1985; STUTZER, O. 1931; SWEET, W. E. jr. 1974.