

Ölimprägnationen im miozänen Mürztal Becken (Norische Senke, Ostalpen)

Oil Shows in the Miocene Mürztal Basin (Noric Depression, Eastern Alps)

Von R. F. SACHSENHOFER, A. BECHTEL, D. REISCHENBACHER, R. GRATZER, M. GOLD, J. GOLDBRUNNER*

Abstract

Oil impregnations were recently detected in Neogene sediments in the Mürztal Basin (Noric Depression; Central Alps). Obviously these impregnations are without any economic significance. However, rich inflow of oil has been noted in a nearby coal exploration well in the early 20th century. Thus, the observed impregnations attest an active oil charge in the Central Alps. The main purpose of the present short note is to characterize the composition of the oil and to speculate on its source.

Biomarker data of the oil indicate a vitrinite reflectance of the source rock in the range of 1.1 to 1.2%*R_r*. To date mature source rocks within or underneath the Mürztal region are unknown. The origin of the oil, therefore, remains enigmatic. Possible source rock candidates include Miocene limnic organic-rich shales of the Noric Depression and deeper (Oligocene?) rocks within or underneath the Alpine nappe stack. However, Miocene rocks can be the source only, if they occur at considerable depth (>2 km), e.g. due to wrenching along the Mur-Mürz fault system, and if very high heat flows in Miocene time caused their maturation. In contrast, the concept of a pre-Miocene source rock, requires the presence of mature rocks in a depth of less than 6 km and a relatively low Miocene heat flow.

Kurzfassung

Ölimprägnationen in der Bohrung Mürztal Th 1 im Bereich zwischen 400 und 510 m Tiefe und der Zufluss größerer Ölmengen in der benachbarten Bohrung Sölsnitz belegen das Vorhandensein reifer Muttergesteine im Bereich der Zentralalpen. Biomarkerdaten indizieren eine Reife des Muttergesteins von ca. 1,1 bis 1,2 % Vitrinitreflexion. Bis heute sind keine reifen Muttergesteine im Bereich des Mürztales bekannt. Der Ursprung des Öls bleibt daher ungewiss. Mögliche Muttergesteine umfassen limni-

sche miozäne Schichten der Norischen Senke, sowie tiefere (oligozäne?) Schichten innerhalb oder unterhalb des alpinen Deckenstapels. Miozäne Schichten können aber nur dann die Quelle für das Öl sein, wenn sie sehr tief (>2 km) versenkt sind (z. B. aufgrund von Einklemmung entlang des Mur-Mürz-Störungssystems) und im Miozän durch sehr hohe Wärmeflüsse gereift wurden. Das Konzept eines vor-miozänen Muttergesteins verlangt die Präsenz reifer Sedimente in einer Tiefe von weniger als 6 km und einen relativ geringen miozänen Wärmefluss.

Einführung

Ölimprägnationen wurden kürzlich in neogenen Sedimenten des Mürztal Beckens (Norische Senke; Ostalpen) entdeckt. Diese Imprägnationen sind zunächst ohne wirtschaftliche Bedeutung. Allerdings be-

richtete Petrascheck in den 1920er Jahren über »bedeutende Ölzufüsse« in einer nahe gelegenen Kohlexplorationsbohrung [1, 2]. Daher belegen die beobachteten Imprägnationen aktive Kohlenwasserstoffbildung in den zentralen Ostalpen. Ziel der vorliegenden Studie ist es, das Auftreten der Ölanzeichen zu beschreiben, ihre chemische Zusammensetzung zu charakterisieren und über ihre Herkunft zu spekulieren.

Geologischer Überblick

Das Mürztal Becken ist Teil der Norischen Senke, die sich im Miozän entlang der sinistralen, nordost-streichenden Mur-Mürz-Störungszone gebildet hat. Das mehr als 2 km tiefe Fohnsdorfer Becken [3, 4], das 1 km tiefe Trofaiacher Becken [5] und die relativ seichten Leobener, Aflenzer und Mürztal Becken [6] befinden sich im zentralen und östlichen Teil der Norischen Senke

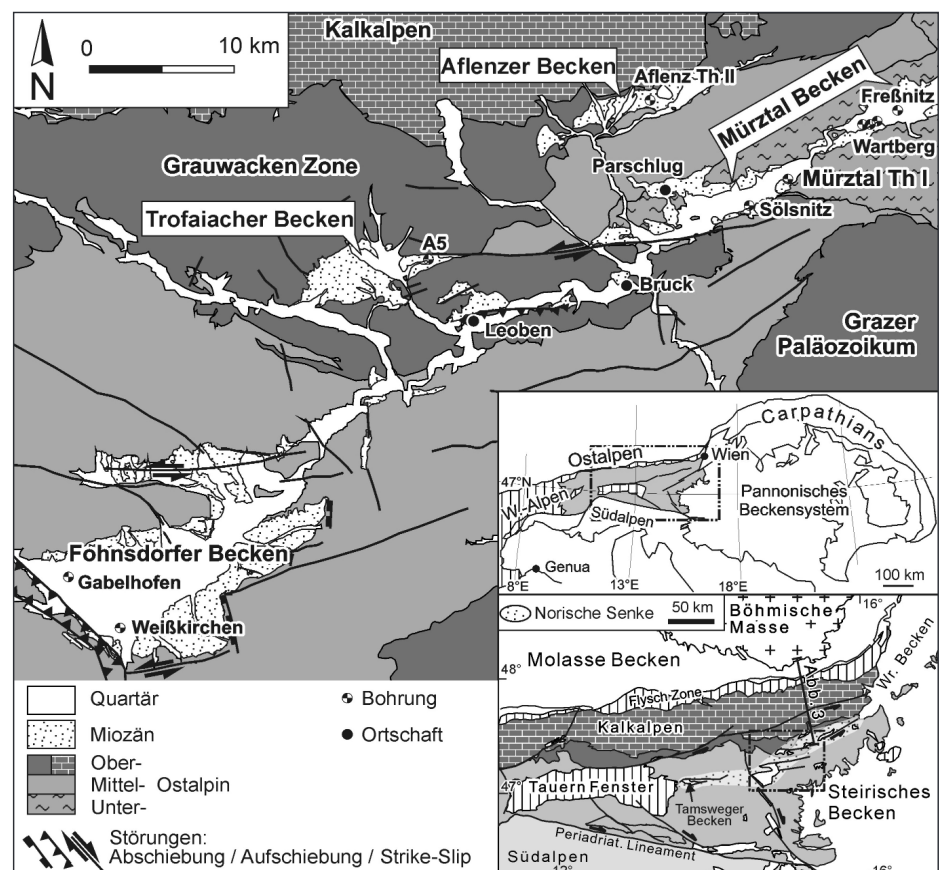


Abb. 1 Geologische Übersichtskarten des Untersuchungsgebietes

*Dr. Reinhard F. Sachsenhofer, Dr. Achim Bechtel, Dipl.-Ing. Doris Reischenbacher, Dr. Reinhard Gratzler, Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich (E-mail: Reinhard.Sachsenhofer@unileoben.ac.at) Mag. Marlies Gold, Dr. Johann Goldbrunner, Geo Team, Gleisdorf, Österreich (E-Mail: goldbrunner@geoteam.at)

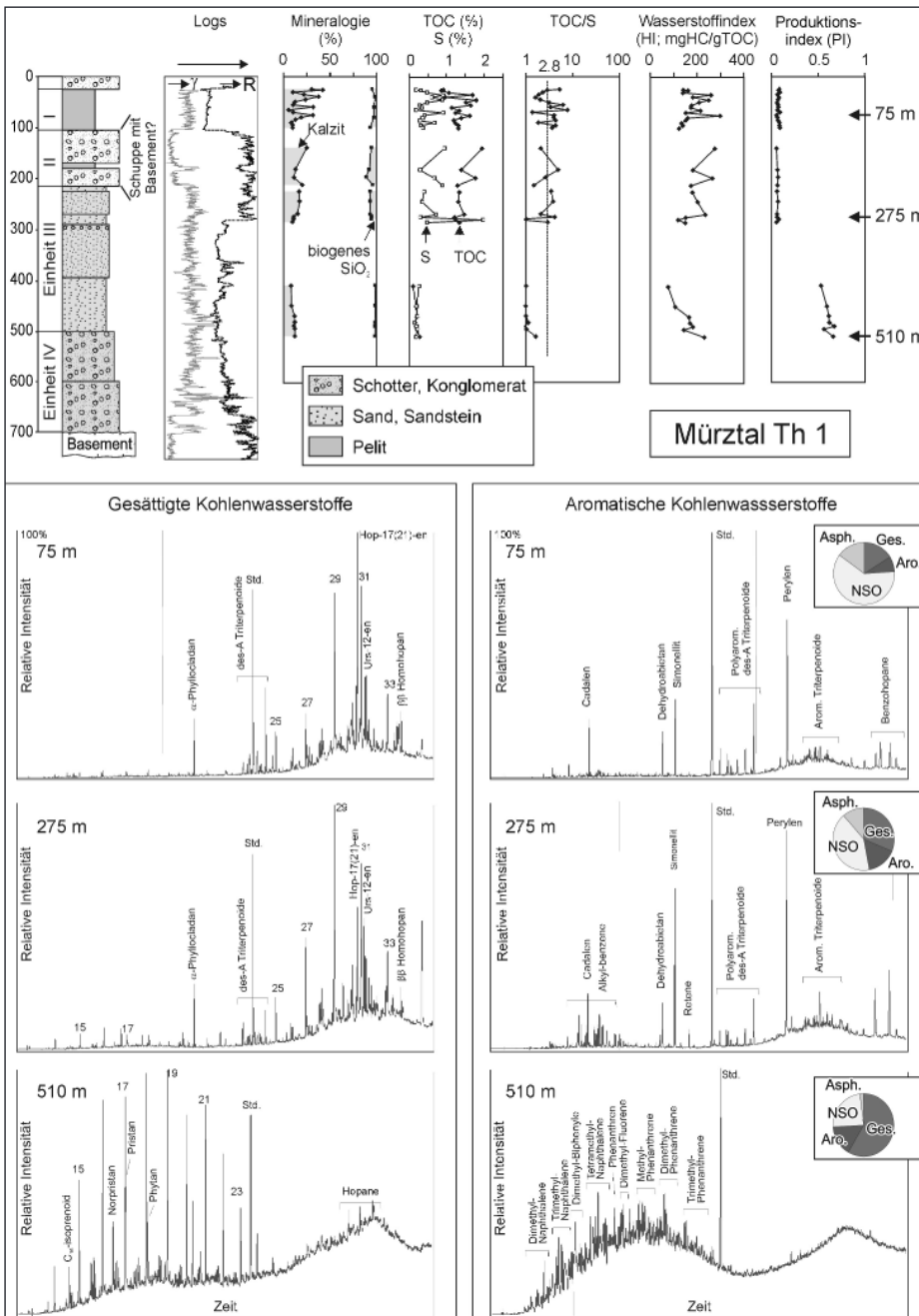


Abb. 2 Lithologie der Bohrung Mürztal Th 1 mit Bohrlochlogs (γ : Gamma-Log, R: Widerstandslog), Mineralogie und einigen geochemischen Parametern (TOC – organischer Kohlenstoff, S – Schwefel). Beachte: Messwerte unterhalb 100 m Bohrtiefe wurden an ausgelesenem Probenmaterial bestimmt und sind nicht für die Gesamtprobe repräsentativ! Chromatogramme der gesättigten und aromatischen Kohlenwasserstoffe sind im unteren Teil der Abbildung dargestellt. Kreisdiagramme repräsentieren die Zusammensetzung der Extrakte (Ges. – gesättigte KW, Aro. – aromatische KW, NSO – NSO-Komponenten, Asph. – Asphaltene)

(Abb. 1). Typischerweise umfasst die Füllung dieser Pull-apart-Becken fluviatile Basisschichten, zum Teil mächtige Kohleflöze und limnische Ablagerungen [7]. Im Bereich des Mürztal Beckens wurde Kohle bei Wartberg und Parschlug bis in die 1950er Jahre abgebaut [8]. Die Explorationsbohrung Sölsnitz traf keine ökonomische Kohle an, erbohrte aber zwei Sandsteinhorizonte (214,9–228,1 m; 344,6–375,4 m) mit bedeutenden Ölzufüssen [1]. Die Geothermiebohrung Mürztal Th 1 wurde 2002/2003 ca. 3 km nordöstlich der Bohrung Sölsnitz bis zu einer Tiefe von 1.620 m abgeteuft (Abb. 1). Das Bohrprofil umfasst

Quartär (0–25 m), Miozän (25–700 m) und unterostalpin Mesozoikum (700 m bis Endteufe). Innerhalb des Miozäns befindet sich zwischen 105 und 215 m eine Schichtfolge unklarer Zugehörigkeit (siehe unten).

Methodik
Das Bohrklein des miozänen Abschnitts der Bohrung Mürztal Th 1 wurde gewaschen und begutachtet. Repräsentative Teile des tonig/mergeligen Bohrkleins des Teufenabschnittes von 25 bis 100 m Tiefe wurde ebenso gepulvert, wie per Hand ausgelesene feinkörnige Gesteinsfrag-

mente aus dem Tiefenintervall von 110 bis 285 m. Feinkörniges Bohrklein aus mehr als 410 m Tiefe zerfällt beim Kontakt mit Wasser. Diese Proben wurden daher nicht gewaschen, sondern mechanisch von der Bohrspülung befreit.

An den gepulverten Proben wurden Rock-Eval-Pyrolyseuntersuchungen durchgeführt und die Gehalte an biogenem SiO₂, Schwefel (S), organischem (TOC) und anorganischem Kohlenstoff bestimmt. Letzterer wurde benutzt, um Kalzitäquivalente zu berechnen. Drei ausgewählte Proben wurden mit Dichlormethan extrahiert. Die Extrakte wurden in einzelne Fraktionen getrennt. Die gesättigten und aromatischen Kohlenwasserstoffe wurden gaschromatographisch analysiert. Detaillierte Angaben zu den verwendeten Geräten und Messverfahren finden sich in [7].

Ergebnisse
Lithologie, Ablagerungsmilieu, geochemische Summenparameter

Die Lithologie der miozänen Sedimente ist gemeinsam mit geophysikalischen Logs und den chemischen Summenparametern in der Abbildung 2 dargestellt. Der miozäne Abschnitt wird in vier Einheiten gegliedert.

- Einheit I (25–104 m) beinhaltet limnische Tone und Mergel. Kieselorganismen (hauptsächlich Schwammnadeln) wurden mikroskopisch zwischen 25 und 55 m Tiefe nachgewiesen. Die Gehalte an biogenem Silizium (3–7 %) indizieren jedoch eine darüber hinaus gehende vertikale Verbreitung. Kalzitgehalte zeigen eine zyklische Variabilität. TOC Gehalte liegen im Bereich von 0,8 bis 1,8 %. Der Wasserstoffindex (HI) schwankt beträchtlich (120–300 mgHC/gTOC) und charakterisiert das organische Material als Kerogen Typ III bis II. Hohe Schwefelgehalte könnten auf den Einfluss brackischer Wasser zurückzuführen sein (vgl. [7]).
- Eine scharfe Grenze trennt die Einheiten I und II. Bohrklein der Einheit II beinhaltet fast ausschließlich Kalkstein- (104–170 m) und Quarzitfragmente (180–214 m). Beide Bereiche werden durch eine Übergangszone getrennt, die basierend auf einigen rötlichen Gesteinsfragmenten als Störungszone interpretiert wurde. Es ist unklar, ob es sich bei Einheit III um eine tektonische Schuppe mit permo-triassischen Basementgesteinen oder um monomikte, sehr grobe Konglomerate handelt. Argumente für eine sedimentäre Entstehung liefern das Auftreten von Konglomeraten in einer ähnlichen Position in benachbarten Bohrungen (Wartberg, Freßnitz; Lage der Bohrungen siehe Abb. 1) und die Beobachtung von tonigem Bohrklein mit hohen biogenen Siliziumgehalten bis 12 % (Diatomeen, Schwammnadeln), relativ hohen TOC-Gehalten (1,3–2,0 %) und HI-Werten (170–275 mgHC/gTOC). Diese Werte sind geringfügig hö-

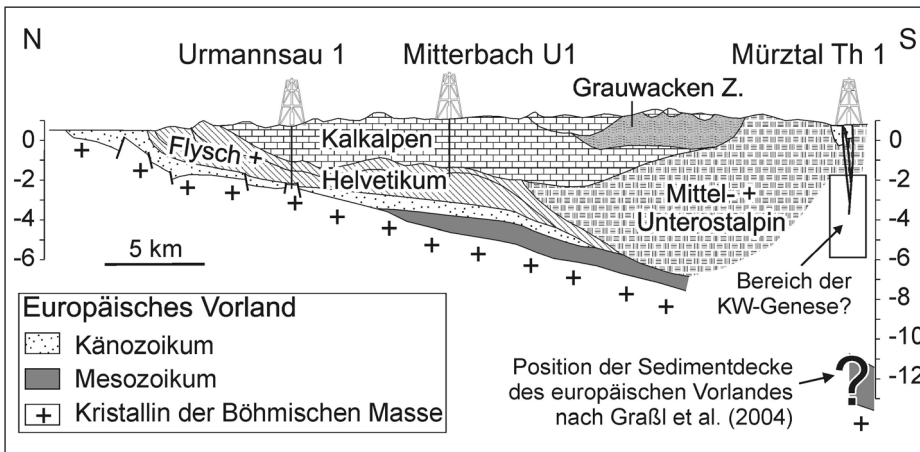


Abb. 3 Profil durch den Nordteil der Alpen (verändert nach [23]). Die Lage des Profils ist in Abb. 1 dargestellt. Das Rechteck unterhalb der Bohrung Mürztal Th 1 bezeichnet das Tiefenintervall, aus dem die beobachteten Ölprägnationen stammen

Diskussion Reife des Muttergesteins und Tiefe der Kohlenwasserstoffbildung

Der MPI-1 weist auf eine thermische Reife des Muttergesteins von ca. 1,15 %Rr. Im Wiener Becken entspricht eine Vitritreflexion von 1,15 % ungefähr einer Tiefe von 5,4 km. Der heutige geothermische Gradient in der Mürztal Bohrung (25 °C/km) ist ähnlich oder etwas geringer als im Wiener Becken (29 ± 3 °C/km). Basierend auf den heutigen thermischen Verhältnissen, sollte das Muttergestein daher in mehr als 5 km Tiefe liegen.

Der miozäne Wärmefluss war jedoch entlang der Norischen Senke zumindest lokal deutlich erhöht und erreichte Werte >200 mW/m² in ihrem westlichsten Abschnitt [11]. Der Wärmefluss entlang der zentralen und östlichen Norischen Senke (z.B. Bohrungen Gabelhofen, Freßnitz) war moderat (65–70 mW/m²; [3, 11]). Relativ hohe Reife von seicht liegenden Kohleflözen (≤0,52 %Rr) im Raum Leoben-Bruck-Parschlug weist aber auf ein lokales Wärmeflussmaximum hin [11, 12]. Dieses wird auch durch den rekonstruierten miozänen Wärmefluss der Bohrung A5 im Trofaiaer Becken (~85 mW/m²; [5]) unterstützt. Es ist unklar, ob das Gebiet der Bohrungen Sölsnitz und Mürztal Th I innerhalb oder außerhalb der miozänen Wärmeflussanomalie liegt. Folglich lässt sich die Tiefe der Kohlenwasserstoffbildung nur sehr ungenau zwischen 2 km (hoher Wärmefluss) und 6 km (geringer Wärmefluss) festlegen. Dieses Tiefenintervall ist in Abbildung 3 in einem schematischen N–S-Profil durch den Nordteil der Alpen eingetragen.

her als jene der Einheit I. Trotzdem kann nicht ausgeschlossen werden, dass die tonigen Fragmente Nachfall aus Einheit I repräsentieren.

- Einheit III (215–515 m) wird von sandigen Sedimenten dominiert. Untergeordnete feinkörnige Lagen treten zwischen 220 und 290 m Tiefe und zwischen 400 und 510 m Tiefe auf. TOC-Gehalte (1,2–1,5 %) und HI-Werte (120–240 mgHC/gTOC) der pelitischen Fragmente aus dem höheren Intervall sind ähnlich wie jene der Einheit II. Die TOC-Gehalte des tieferen Intervalls sind dagegen sehr gering (<0,3 %). Wegen der geringen TOC-Gehalte, sind die gemessenen HI Werte in diesem Intervall von geringem Nutzen. Die Steigung der Korrelationsgeraden zwischen S2 (pyrolysierbare Kohlenwasserstoffe) und TOC ([9]) zeigt, dass der »wahre« HI ca. 290 mgHC/gTOC beträgt. Schwefelgehalte zwischen 0,1 und 0,3 % bewirken sehr geringe TOC/S-Verhältnisse, die für sauerstoffarme Bedingungen sprechen.
- Einheit IV (515–700 m) beinhaltet Konglomerate und Sandsteine mit einem generellen coarsening upward Trend. Sie wird als alluvialer Fächer interpretiert, der mesozoisches Basement überlagert.

Freie Kohlenwasserstoffe

Alle Proben sind unreif (durchschnittlicher Tmax: 421 °C, Vitritreflexion: ~0,4 %). Daher ist ein geringer Produktionsindex (<0,1) zu erwarten. Deutlich höhere Werte zwischen 400 und 510 m Tiefe deuten daher auf migrierte Kohlenwasserstoffe hin. Vermutlich beeinflussen diese Kohlenwasserstoffe auch die Tmax Werte, die in diesem Teil der Bohrung unter 400 °C liegen. Das Gesteinsextrakt der Probe aus 510 m Tiefe wurde untersucht um die Herkunft der freien Kohlenwasserstoffe zu studieren. Proben aus 275 m Tiefe (Einheit III) und 75 m Tiefe (Einheit I) wurden für Vergleichszwecke untersucht.

Eine starke Imprägnierung der Probe 510 mit einem reifen Öl wird durch hohe TOC-normierte Extraktmengen (606 mgHC/

gTOC) und hohe relative Anteile an gesättigten Kohlenwasserstoffen indiziert (Abb. 2). Die Fraktion der gesättigten Kohlenwasserstoffe der imprägnierten Probe wird durch kurzketttige (*n*-C_{15–23}) *n*-Alkane, Pristan und Phytan dominiert. Die Fraktion der aromatischen Kohlenwasserstoffe wird von Naphthalinen und Phenanthrenen dominiert. Basierend auf dem MPI-1 [10] von 1,24, kann auf eine Reife im Bereich einer Vitritreflexion von 1.15 %Rr geschlossen werden.

Die seichten Proben zeigen signifikant unterschiedliche Chromatogramme. Ihre Extrakte werden durch langkettige *n*-Alkane, Di- und Triterpenoide und Hopanoide dominiert. Eine geringfügig größere Menge an kurzketttigen *n*-Alkanen in der Probe aus 275 m Tiefe resultiert vielleicht von einer schwachen Beeinflussung durch migrierte Kohlenwasserstoffe.

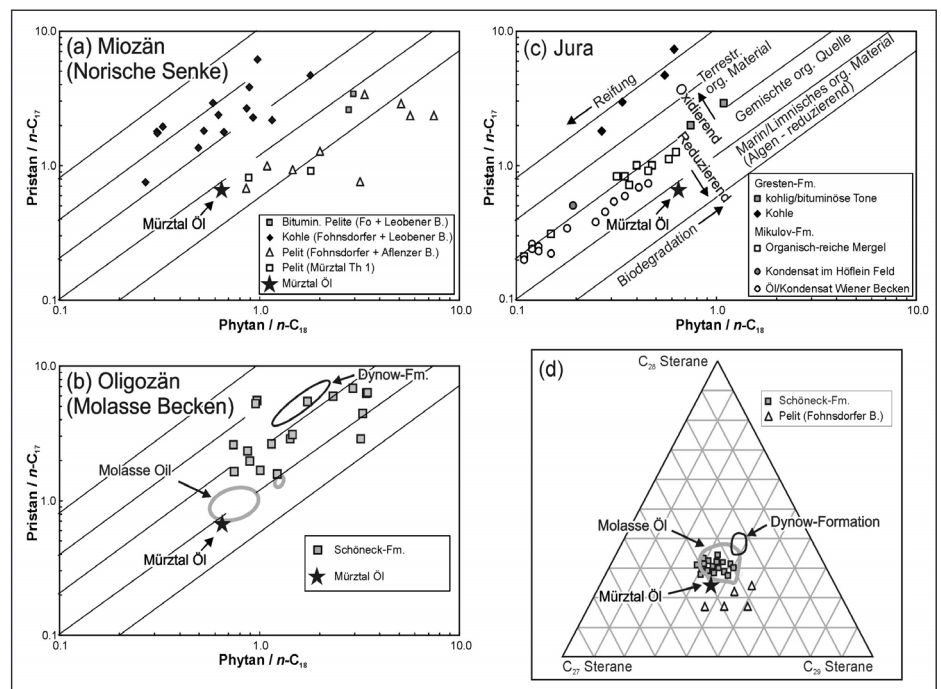


Abb. 4 Korrelationsdiagramme, die Biomarkerverhältnisse unterschiedlicher Muttergesteine und Öle [7, 12, 21, 22] mit jenen der Ölprägnation im Mürztal vergleichen. a–c) Pristan/*n*-C₁₇ gegen Phytan/*n*-C₁₈ [14, 15], d) Dreiecksdiagramm der Steranverteilung

Mögliche Muttergesteine

Miozän: Petrascheck vermutete, dass das Öl »eine Art Tieftemperaturteer aus Braunkohlen oder Brandschieferschichten« sei [1]. Biomarker in Extrakten miozäner Kohlen und organisch-reicher, limnischer Sedimente wurden von [13] und [7] untersucht. Diese Daten werden im Korrelationsdiagramm *Pristan/n-C₁₇* gegen *Phytan/n-C₁₈* gemeinsam mit jenen aus der Bohrung Mürztal Th 1 eingetragen (Abb. 4a). Das Diagramm ist für Öl-Muttergesteinskorrelationen geeignet, weil es Informationen über Biodegradation, Maturität und Ablagerungsmilieu bietet [14, 15]. Nach Abb. 4a könnten die limnischen Pelite bei entsprechender Reife das Muttergestein für das beobachtete Öl darstellen, die Kohlen scheiden hingegen aus. Steran-Verhältnisse wurden nur für Pelit-Proben aus dem Fohnsdorfer Becken quantifiziert. Diese Verhältnisse unterscheiden sich von jenen der Ölprägnation (Abb. 4d). Trotzdem kann eine Herkunft aus reifen miozänen Peliten nicht ausgeschlossen werden. Die thermische Reife der miozänen Schichten ist allerdings viel zu gering. Mit Ausnahme des Tamsweger Beckens ($\leq 0,64$ %Rr) in der westlichsten Norischen Senke (Lage siehe Insert in Abb. 1), schwankt die Vitrinitreflexion der miozänen Schichten zwischen 0,20 %Rr und 0,55 %Rr [11, 12]. Zudem lässt eine seismische Linie, die das Mürztal quert [16], keinen Hinweis auf miozäne Sedimente in größerer Tiefe erkennen.

Gesteine des Zentralalpinen Mesozoikums treten im Untergrund des Mürztal Beckens auf. Diese sind ebenso wie jene des Grazer Paläozoikums und der Grauwacken Zone zumindest anchimetamorph überprägt (e.g. [17–19]) und scheiden daher als Muttergestein für das beobachtete Öl aus.

Autochthones Känozoikum und Mesozoikum ist unter den Alpen Decken zu erwarten (s. Abb. 3). Es ist fraglich, ob unteroligozäne organisch-reiche Gesteine, die das Muttergestein für Öl in der Molassezone sind, im Untergrund der alpinen Decken bis in den Bereich des Mürztales reichen. Jedenfalls zeigen die Abbildungen 4b und 4d Ähnlichkeiten zwischen den Extrakten dieser Gesteine und dem Mürztal-Öl. Überdies bestehen nur geringe Differenzen zwischen den Molasse-Ölen und der Ölprägnation im Mürztal, die mit der unterschiedlichen Reife erklärt werden könnten. Nach Graßl et al. [20] befinden sich die autochthonen Sedimente im Bereich des Mürztales aber in einer Tiefe von mehr als 10 km und sollten daher überreif sein. Das trifft auch für den Jura des autochthonen Mesozoikums zu. Zudem zeigen Biomarker Daten, dass weder organisch-reiche Mergel (Mikulov Formation), die das Muttergestein der Öle im Wiener Becken bilden [21], noch jurassische kohleführende Schichten (Gresten Formation) die Quelle für das Mürztal-Öl sind (Abb. 4c). Diese Abbildung

betont auch den Unterschied zwischen Ölen aus dem Wiener Becken und dem Mürztal.

Schlussfolgerungen

Ölprägnationen in der Bohrung Mürztal Th 1 und der Zufluss größerer Ölmengen in die benachbarte Bohrung Sölsnitz zeigen Kohlenwasserstoffgenese im Bereich der Zentralalpen an. Die Vitrinitreflexion des Muttergesteins beträgt ca. 1,15 %Rr. Bis heute sind keine reifen Muttergesteine im Bereich des Mürztales bekannt. Der Ursprung des Öls bleibt daher unklar. Mögliche Muttergesteine umfassen miozäne Sedimente der Norischen Senke, sowie tiefere (oligozäne?) Schichten innerhalb oder unterhalb des alpinen Deckenstapels. Miozäne Schichten können aber nur dann die Quelle für das Öl sein, wenn sie sehr tief (>2 km) versenkt sind (z. B. aufgrund von Einklemmung entlang des Mur-Mürz-Störungssystems) und im Miozän aufgrund erhöhter Wärmefflüsse aufgeheizt wurden. Das Konzept eines vor-miozänen Muttergesteins, verlangt die Präsenz reifer Sedimente in einer Tiefe von weniger als 6 km (und einen relativ geringen miozänen Wärmeffluss).

Die Autoren bedanken sich bei Prof. Wessely für anregende Diskussionen. Die Untersuchungen wurden vom Land Steiermark im Rahmen des Projektes »Wissenschaftliche Auswertung der geologisch-geophysikalischen Ergebnisse der Bohrung Mürztal Thermal 1« finanziell unterstützt.

Literatur

- [1] Petrascheck, W.: Kohlengeologie der Österreichischen Teilstaaten. I u. II Teil, Kattowitz Buchdruckerei- und Verlags-Sp. Akc., Katowice, 1926/29, 484 S.
- [2] Brix, F.: Kohlenwasserstoffanzeichen in Österreich. In: Brix, F.; Schultz O. (Hrsg.) Erdöl und Erdgas in Österreich Naturhistorisches Museum Wien und F. Berger Horn, 1993, S. 395–403.
- [3] Sachsenhofer, R. F.; Kogler, A.; Polesny, F.; Strauss, P.; Wägrich, M.: The Neogene Fohnsdorfer Basin: Basin formation and basin inversion during lateral extrusion in the Eastern Alps (Austria). *Int. J. Earth Sciences* 89, 2000, S. 415–430.
- [4] Strauss, P. H.; Wägrich, M.; Decker, K.; Sachsenhofer, R. F.: Tectonics and sedimentation in the Fohnsdorfer-Seckau Basin (Miocene, Austria): From a pull-apart basin to a half-graben. *Int. J. Earth Sciences* 90, 2001, S. 549–559.
- [5] Gruber, W.; Sachsenhofer, R. F.; Kofler, N.; Decker, K.: The architecture of the intramontane Trofaiach pull-apart basin inferred from geophysical and structural studies. *Geologica Carpathica* 55, 2004, S. 281–298.
- [6] Sachsenhofer, R. F.; Kuhlmann, J.; Reischenbacher, D. (2001) Das Miozän der östlichen Norischen Senke. In: G. W. Mandl (ed.) *Arbeitstagung 2001, Geol. B.-A.*, S. 135–145.
- [7] Sachsenhofer, R. F.; Bechtel, A.; Reischenbacher, D.; Weiss, A.: Evolution of lacustrine systems along the Miocene Mur-Mürz fault system (Eastern Alps) and implications on source rocks in pull-apart basins. *Mar. Pet. Geol.* 20, 2003, S. 83–110.
- [8] Weber, L.; Weiss, A.: Bergbaugeschichte und Geologie der österreichischen Braunkohlevorkommen. *Arch. Lagerstättenforsch. Geol. B.-A.* 4, 1983, S. 1–317.

- [9] Langford, F. F.; Blanc-Valleron, M.-M.: Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon. *AAPG Bulletin* 74, 1990, S. 799–804.
- [10] Radke, M.; Welte, D. H.: The Methylphenanthrene Index (MPI): A maturity parameter based on aromatic hydrocarbons. In: Bjoroy, M. (Hrsg.) *Advances in Organic Geochemistry*, 1981, Wiley, Chichester, 1983, S. 504–512.
- [11] Sachsenhofer, R. F.: Syn- and post-collisional heat flow in the Tertiary Eastern Alps. *Int. J. Earth Sciences* 90, 2001, S. 579–592.
- [12] Bechtel, A.; Gruber, W.; Sachsenhofer, R. F.; Gratzler, R.; Püttmann, W.: Organic geochemical and stable carbon isotopic investigation of coals formed in low-lying and raised mires within the Eastern Alps (Austria). *Org. Geochem.* 32, 2001, S. 1289–1310.
- [13] Sachsenhofer, R. F.: Das Inkohlungsmodell im Jungtertiär der Norischen Senke (Östliche Zentralalpen, Österreich) und seine paläogeothermische Deutung. *Jb. Geol. B.-A.* 132, 1989, S. 489–505.
- [14] Connan, J.; Cassou, A. M.: Properties of gases and petroleum lipids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44, 1980, S. 1–23.
- [15] Peters, K. E.; Fraser, T. H.; Amris, W.; Rustanto, B.; Hermanto, E.: Geochemistry of crude oils from eastern Indonesia. *AAPG Bulletin* 83, 1999, S. 1927–1942.
- [16] Goldbrunner, J.; Gold, M.; Eisner, M.; Gruber, W.; Heiss, H.; Hubmann, B.; Morawetz, R.; Neubauer, L.; Reischenbacher, D.; Sachsenhofer, R.; Schön, J.; Schreilechner, M.: Wissenschaftliche Auswertung der geologisch-geophysikalischen Ergebnisse der Bohrung Mürztal Th 1. Unveröff. Abschlussbericht, Geoteam Gleisdorf, 2006, 114 S.
- [17] Hoinkes, G.; Koller, F.; Rantitsch, G.; Dachs, E.; Höck, V.; Neubauer, F.; Schuster, R.: Alpine metamorphism of the Eastern Alps. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 79, 1999, S. 155–181.
- [18] Rantitsch, G.; Grogger, W.; Teichert, C.; Ebner, F.; Hofer, C.; Maurer, E.-M.; Schaffer, B.; Toth, M.: Conversion of carbonaceous material to graphite within the Greywacke Zone of the Eastern Alps. *Int. J. Earth Sciences* 93, 2004, S. 959–973.
- [19] Rantitsch, G.; Sachsenhofer, R. F.; Hasenhüttl, C.; Russegger, B.; Rainer, T.: Thermal evolution of an extensional detachment as constrained by organic metamorphic data and thermal modeling: Graz Paleozoic Nappe Complex (Eastern Alps). *Tectonophysics* 411, 2005, S. 57–72.
- [20] Graßl, H.; Neubauer, F.; Millahn, K.; Weber, F.: Seismic image of the deep crust at the eastern margin of the Alps (Austria): indications for crustal extension in a convergent orogen. *Tectonophysics* 380, 2004, S. 105–122.
- [21] Sachsenhofer, R. F.; Bechtel, A.; Kuffner, T.; Rainer, T.; Gratzler, R.; Sauer, R.; Sperl, H.: Depositional environment and source potential of Jurassic coal-bearing sediments (Gresten Formation; Höfleins gas/condensate field; Austria). *Petroleum Geoscience* 12, 2006, S. 99–114.
- [22] Gratzler, R.; Sachsenhofer, R. F.; Bechtel, A.; Schulz, H.-M.; Smuk, A.: Oil-oil and oil-source rock correlation in the Alpine Foreland Basin (Austria). 70th EAGE Conf., Rome, 2008, eingereicht.
- [23] Zimmer, W.; Wessely, G.: Exploration results in thrust and subthrust complexes in the Alps and below the Vienna Basin in Austria. In: Wessely, G.; Liebl W. (Hrsg.) *Oil and Gas in Alpidic Thrustbelts and Basins of Central and Eastern Europe*, EAGE Spec. Publ. 5., 1996, S. 81–107.

