Tektonische Untersuchungen mit der Gasmethode im westlichen Bodenseegebiet und im Tessin bei Lugano (Schweiz)

Autor(en): **Ernst, Werner**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **37 (1970-1971)**

Heft 92

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-197286

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. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., Vol. 37, Nr. 92, April 1971, S. 37–50

Tektonische Untersuchungen mit der Gasmethode im westlichen Bodenseegebiet und im Tessin bei Lugano (Schweiz)

Mit 5 Abbildungen im Text

von WERNER ERNST*

1. Untersuchungsziele
2. Lage der Untersuchungsgebiete
3. Untersuchungsmethoden
4. Untersuchungsergebnisse
5. Bewertung der Ergebnisse

1. Untersuchungsziele

Die Anordnung von Flüssen und Seen in höher gelegenen Gebieten richtet sich häufig nach den tektonischen Verhältnissen im Untergrund. Dafür gibt es viele Beispiele, und aus der eigenen Praxis können Untersuchungsbefunde aus dem mittleren Neckartal zwischen Horb und Tübingen angeführt werden, wonach eine Abhängigkeit der Richtungen von Nebentälern und der Talwindungen des Neckars vom Streichen der Klüfte und Verwerfungen im Muschelkalk und Buntsandstein besteht. (Unveröffentlichte Untersuchungen für die Kohlensäureindustrie.)

Auch für das Bodenseegebiet wurden insbesondere für den nach NW gerichteten Überlinger See solche Randstörungen angenommen. Sie konnten jedoch bisher weder durch Reflexionsseismik (MÜLLER & GEES 1968) noch durch Gasmessungen (ERNST 1969) direkt erkannt werden. Anders erscheint die Situation am Untersee. Die schweizerische Uferlinie verläuft dort in der Fortsetzung der durch die Erdöl- und Erdgasfelder Fronhofen, Mönchsrot und Arlesried markierten Störungslinie zwischen Überlingen und Schwabmünchen südwestlich von Augsburg (nach ELBERSKIRCH & LEMCKE 1955 und VOLZ 1959 Bruchzone Meersburg-Gaisbeuren-Schwabmünchen). Diese Bruchzone hat wiederum eine zur Schwäbischen Alb oder zum nördlichen Molasserand parallele Streichrichtung. Damit besteht ein auffälliger Zusammenhang mit den wichtigsten tektonischen und paläogeographischen Linien des westlichen deutschen Molassebeckens, der es auch möglich erscheinen lässt, an eine mehr tektonische als glaziale Auslegung der Entstehung des Untersees zu denken. Einem direkten Nachweis dieser angenommenen tektonischen Anlage des Untersees als Fortsetzung des Störungszuges Meersburg-Schwabmünchen standen jedoch bisher stets die ungünstigen Aufschlussverhältnisse insbesondere auf der Insel Reichenau und die pleistozäne Überdeckung des Bodanrücks im Wege. Für solche Verhältnisse gibt es eigentlich nur noch geophysikalische Nachweismethoden auf der Basis der Reflexionsseismik oder der Bodengasmessungen. Die Reflexionsseismik scheint aber in einem Gebiet, das 1. Verwerfungsbeträge um 50 m und 2. sehr komplexe Störungsverhältnisse durch sich überlagernde N–S und W–E ge-

* Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Tübingen.

richtete Abschiebungen aufweist, überfordert zu sein. Hinzu kommen noch die dichte Besiedlung und die ufernahe Position der angenommenen Störung, die eine Vielfachüberdeckung erschwert. Aus diesen Gründen und wegen der niedrigen Untersuchungskosten fand die Bodengasmethode Anwendung, die wie die Emanationsgasmessungen im Boden eine Identifizierung von tektonischen Störungen aufgrund maximaler Gaskonzentration erlaubt (MEINHOLD 1959, PRÖHL 1965, ERNST 1968, 1969). In der Regel wirken die tiefreichenden Störungen wie Drainagen für Gase aus angrenzenden Kohlenwasserstoff- oder Kohlenvorkommen oder sogar aus bituminösen Schiefern. Sie haben gegenüber den ungestörten Gesteinskomplexen eine wesentlich höhere Durchlässigkeit für Gase. Dementsprechend liegen die Werte einzelner Kohlenwasserstoffkomponenten im Störungsbereich um den Faktor 4 höher als authigen gebildete Gase der Böden (z. B. Methan oder Kohlendioxid). Auch in quartärüberdeckten Gebieten pausen sich die darunter liegenden Störungen mit Hilfe der Tiefengase durch, wie zahlreiche Eichuntersuchungen an seismisch oder durch Bohrungen nachgewiesenen Störungszonen bewiesen haben. Nach MÜHLFELD 1968 entstehen über den Störungsbahnen der älteren geologischen Phasen Setzungsgefüge, die einen erleichterten Gastransport auch durch die jüngeren geologischen Schichten ermöglichen.

Mit dieser vorwiegend tektonischen Aufgabenstellung im Unterseebereich des Bodensees ist auch die Frage verbunden, ob die auf deutscher Seite erdölführende Lineamentzone eine Fortsetzung in die Schweiz hat.

Eine andere Aufgabenstellung lag im südlichen Tessin vor, wo östlich von Lugano die bereits mesozoisch angelegte Luganer Störung zwei so verschiedene Gesteinskomplexe wie das paläozoische Grundgebirge beziehungsweise die permischen Vulkanite von den mesozoischen lombardischen Kieselkalken im Osten trennt. Diese Störung ist mit Ausnahme der südlichen Fortsetzung im Laveggio-Tal verhältnismässig gut aufgeschlossen. Es kam deshalb in den aufgeschlossenen Abschnitten nicht so sehr auf eine Identifizierung, sondern auf eine Eichung der Bodengasmethode an einer gut zu erkennenden Störung und auf eine Kontrolle der Gaskomponenten in Abhängigkeit von den angrenzenden Gesteinen an. Diese Frage ist von erheblicher Bedeutung für die Störungssuche in kristallinen Gebieten.

2. Lage der Untersuchungsgebiete

Das Untersuchungsgebiet am Bodensee erstreckt sich zwischen den Ortschaften Mammern/Untersee (Schweiz), Weiler am Schienerberg, Birnau am Überlinger See-Arm und Meersburg (Messtischblätter: Öhningen 8319, Radolfzell 8219, Überlingen 8220, Mainau 8221, Reichenau 8321. Es berührt damit die Insel Reichenau und den Bodanrück zwischen Untersee und Überlinger See (Abb. 3). Der schweizerische Uferrand wird etwa 300 m landeinwärts vorwiegend von Sandsteinen der Oberen Süsswassermolasse (Miozän) gebildet, die morphologisch gegenüber der unmittelbaren flachen Uferzone stark hervortreten. Die Untersuchungsgebiete um Weiler, auf der Insel Reichenau, auf dem Bodanrück und zwischen Birnau und Meersburg werden von mächtigen glazialen Ablagerungen eingenommen. Die Gas- und Bitumenführung ist in diesen Gebieten an Kalke der Unteren Süsswassermolasse und hauptsächlich an mesozoische Schichten (Dogger, Lias, Keuper, Muschelkalk) gebunden. Die Tertiärschichten fallen mit 2–3° generell nach SW. Die Toplagen der mesozoischen Schichtenfolge liegen im Untersuchungsgebiet zirka 350–1400 m tief. Bedingt durch die glaziale Schotterüberdeckung konnte auf der deutschen Seite des Untersuchungsgebietes nur eine tektonische Störung auf herkömmlichem Wege nachgewiesen werden. Sie verläuft westlich und südlich von Weiler (Schienerberg-Nordverwerfung nach HAUS 1960).

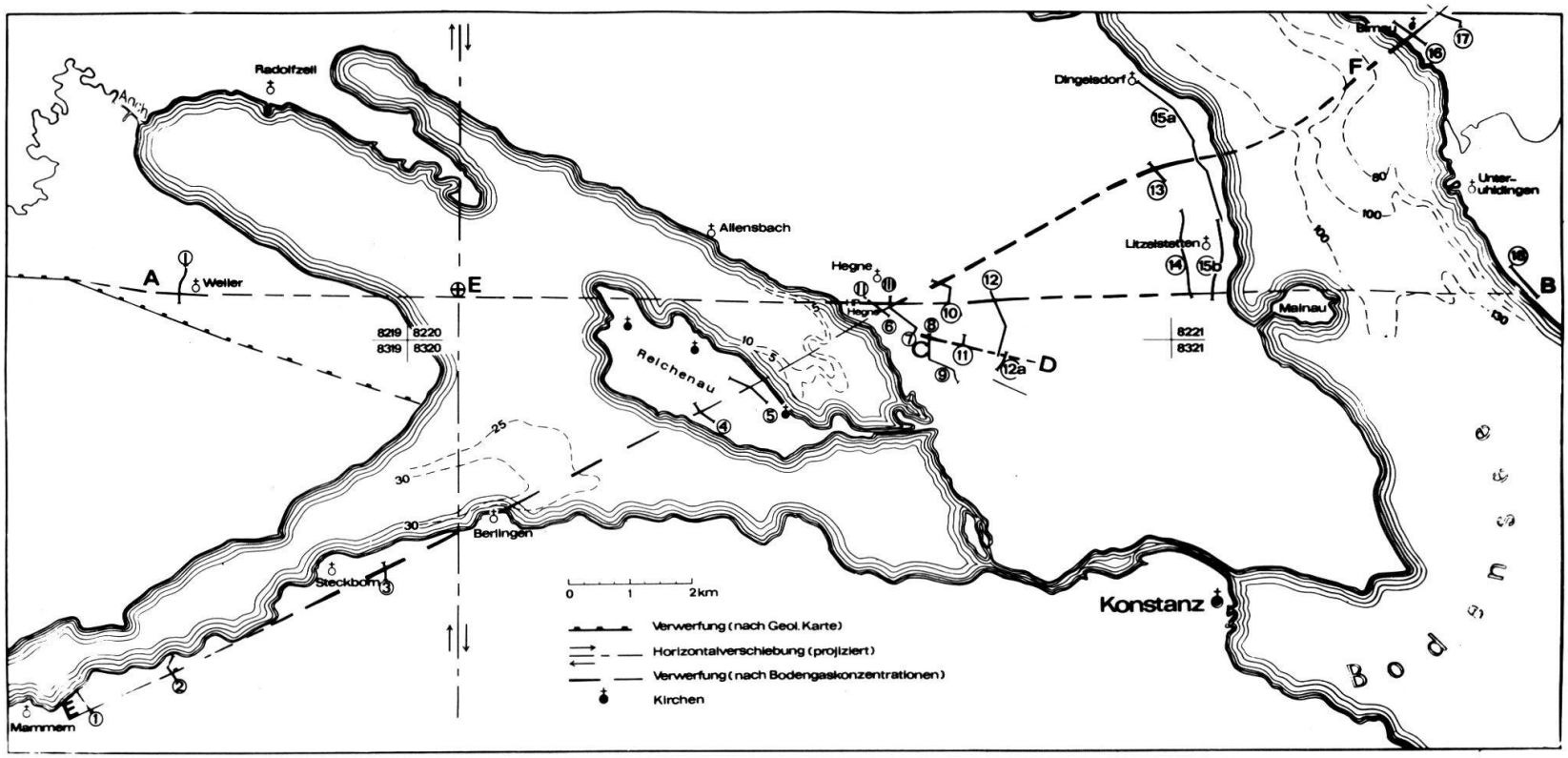

Fig. 3: Lage der Untersee-Randstörung, West-Ost-Störung und Gnadensee-Störung im westlichen Bodensee-Bereich.

Das Tessiner Untersuchungsgebiet liegt im Bereich des mittleren Luganer Sees. (Abb. 5.) Es umfasst im einzelnen die Gebiete um Cureggia (nördlich des M. Bre), Pugerna (östlich der italienischen Enklave Campione), Arogno, Rovio und Mendrisio. Diese Gebiete liegen in der Zone der steil nach E einfallenden Luganer Störung, die östlich des Sees generell N–S oder SE–NW streicht und zwischen Pugerna und Arogno in zwei Teilstörungen aufspaltet. Zwischen diesen beiden Störungen ist eine stark verschuppte triadische Hauptdolomitscholle mit eingelagerten Raibler-Schichten eingeklemmt. Westlich der Störung stehen im Raum Cureggia z. T. steil stehende Bernado-Gneise, Phyllonite und Phyllite des Grundgebirges an. Östlich davon liegen wie auch in den anderen Untersuchungsstrecken mächtige mittelliasische lombardische Kieselkalke des Generoso-Beckens, von denen die mächtigen Bergzüge des La Sighignola und Monte Generoso gebildet werden. Westlich der Luganer Linie erstrecken sich dort bis zum Seeufer permische Porphyrite, die unmittelbar südlich des See-Endes im Laveggiotal von holozänen Ablagerungen überdeckt werden. Die Luganer Störung war nach Bernoulli (1964) bereits im Mesozoikum als Abschiebungszone mit mehr als 1000 m Absenkungsbeträgen ausgebildet. Sie reicht bis in den kristallinen Sockel.

Die übrigen Untersuchungsgebiete im südlichen Tessin der Schweiz haben nichts mit der Luganer Südstörung zu tun. Sie liegen bei Brusino-Arsizio mit holozänen See- und Hanglagerungen, bei Serpiano oberhalb von Brusino mit permischen Quarzporphyren und östlich von Meride mit quartären Ablagerungen über mitteltriadischen Meriden-Kalken, die teilweise sehr bituminös sind (– frühere Ölverschwelung). Ausserdem wurden noch Proben aus der altkristallinen Unterlage der permischen Vulkanite (Biotit-Plagioklas-Gneise) auf der Westseite des Luganer Hauptsees bei Vico-Morcote entnommen.

Sämtliche Untersuchungs- und Probengesteine im Tessin liegen im Bereich der Blätter Malcantone und Chiasso der Carta nazionale della Svizzera (1:50000).

3. Untersuchungsmethoden

Zur Identifizierung tektonischer Störungen unter quartärer Bedeckung verwenden wir die Bodengasmethode (Laubmeyer 1933, Sokolow 1933, Meinhold 1959, Pröhl 1965, Ernst 1968), die es gestattet, unter Einhaltung spezieller Absaug- und Nachweisverfahren die Methan- und Kohlendioxid-Konzentration im Bereich der durchlässigen Störungen zu ermitteln (Ernst 1969, 1970). Nach Mühlfeld (1968) pausen sich praequartäre Störungen bis zur Tagesoberfläche infolge Setzungserscheinungen und Gefügeänderungen der darüber liegenden jüngeren Sedimente durch. Dementsprechend sind die Gasgehalte über den Störungsausbissen in der Regel wesentlich höher als über den ungestörten Schollen. Bei zahlreichen Bodengasuntersuchungen an gut aufgeschlossenen oder sonst durch Reflexionsseismik und Bohrungen genauer bekannten Störungen konnten diese Befunde immer wieder bestätigt werden (Bebenhausener Graben bei Tübingen, Hohenzollern-Graben bei Onstmettingen und Neuweiler/Schwäbische Alb, Breitenerlen-Störung bei Überlingen, Pfullendorfer Hauptverwerfung, östliche Zonen der Meersburg-Schwabmünchener Bruchzone). In der Regel werden die gesuchten Störungen in den dafür prädestinierten Gebieten durch längere Suchprofile ermittelt und schliesslich durch einige kürzere Parallelprofile im Streichen verfolgt. Die Suchprofile können mehrere Kilometer lang sein und bestehen aus Messpunkten in 25 m-Abständen. Bei den Geländearbeiten werden vier solcher Messpunkte hintereinander angelegt. Die Messpunkte bestehen aus ein Meter tiefen Bohrlöchern, die in der oberen Hälfte verrohrt und durch einen Abdichtungskegel nach oben abgeschirmt werden. Diese vier

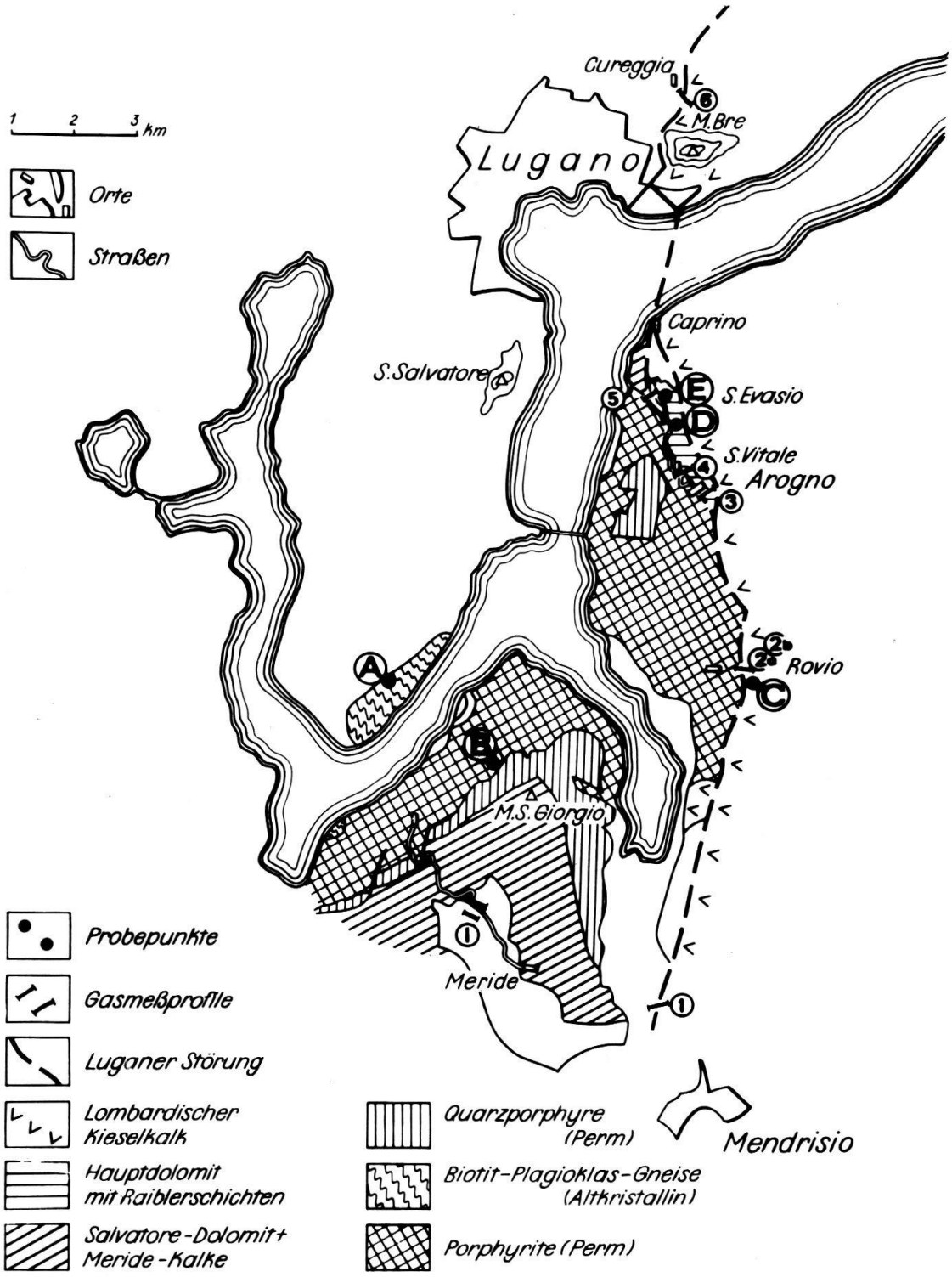

Fig. 5: Lage der Luganer-Störung mit Angaben der Proben-Punkte und Messprofile.

Bohrlöcher eines Meßsatzes werden nacheinander annähernd luftfrei gepumpt und nach einer Gaszuflusszeit von 8 Minuten auf Methan und Kohlendioxid gemessen. Während der Wartezeiten soll ein Gaszufluss in die Depressionszone des unverrohrten Bohrlochteiles erreicht werden.

In Gebieten mit noch unbekannter Bodengasführung oder auch sehr hohen Bodengaskonzentrationen werden auch Gaschromatographen (Fraktometer) eingesetzt, die

eine Messung sämtlicher Kohlenwasserstoff- und Inertgase des Bodens erlauben. Dieses Verfahren fand im Tessin Anwendung, wo an sechs Messpunkten mit unbekannter Bodengaszusammensetzung fraktometrische Gasanalysen gefahren wurden. Im festen Gesteinskörper, wo mit Ausnahme kohliger Partien kein Gas unmittelbar abgesaugt werden kann, findet die Desorptionsmethode Verwendung. Dabei werden die aus Aufschlüssen oder Bohrungen gewonnenen Gesteinsproben gasdicht aufgemahlen und bei knapp 100° C thermisch behandelt, bis alles Probengas desorbiert ist. Nach der volumetrischen Gasbestimmung werden die Probengase in den Gaschromatographen überführt und dort analysiert. Alle Volumen- und Konzentrationsangaben werden dabei auf 1000 g Gesteinseinheit bezogen.

4. Untersuchungsergebnis

In den Abbildungen 1 und 2 sind die Untersuchungsergebnisse vom Bodensee dargestellt worden. Die Lage der einzelnen Messprofile und der Verlauf der ermittelten Störungen geht aus der Abb. 3 hervor. Das erste Suchprofil für die Bodenseerandstörung hat die Bezeichnung 15a (Abb. 1; Längen und Konzentrationsangaben in Abb. 2) und wurde auf der Nordostseite des Bodanrücks zwischen Litzelstetten und Dingelsdorf angelegt. Die Methan- und Kohlendioxidkonzentrationen waren an zahlreichen Stellen dieses Profils recht hoch (Methan bis 2%, Kohlendioxid bis 8%). Der tiefere Untergrund des Messgebietes ist schwach ölimprägniert, Tiefbohrungen im Raum Dingelsdorf erbrachten aber keinen wirtschaftlichen Nachweis. Unter diesen Konzentrationsverhältnissen der Bodengase konnte von der Identifizierung einer Randstörung noch keine Rede sein. Es lag vielmehr ein dort offensichtlich stark zerstückeltes Schollengebiet vor (vgl. Haus 1960, S. 51), dessen Gaspeaks an der Oberfläche kaum voneinander unterschieden werden konnten.

Auf der Südwestseite der Halbinsel brachten erst die Profile Nr. 6, 7, 10 und 13 und auf der Insel Reichenau das Profil 5 eine nähere Lokalisierung der gesuchten Randstörung. Die dick ausgezogenen Methan-Linien stellen in den Diagrammen die vermuteten Störungspeaks dar. Im Idealfall heben sie sich in der Höhe von den benachbarten Peaks deutlich ab, was allerdings nur angenähert für die Profile 6, 10 und 13 gilt. Erst auf der schweizerischen Seite des Untersees sind die Idealverhältnisse der Peakhöhen verwirklicht. Im Profilbereich 2 sind sogar am südlichen Profilende steil zum See einfallende kleine Brüche im Molassesandstein zu erkennen, die dort als nachfolgende Schleppe der eigentlichen Randstörung gelten können. Auf der Überlinger Seite des Bodensees kommen die Gaspeaks der Randstörung am Seeufer unterhalb der Klosterkirche Birnau ebenso wie weiter östlich am Waldrand über dem Hofgut Birnau klar heraus. Durch diese Einengung zu beiden Seiten des Suchprofils konnte auch der dortige Verlauf der gesuchten Störung annähernd ermittelt werden.

Die Suchtätigkeit nach der Untersee-Randstörung an anderen als in der Abb. 1 gezeigten Profilen führte zu tektonischen «Nebenprodukten». Die wichtigste tektonische Nebenlinie ist in den Abb. 2 und 3 mit den Symbolen A-E-B dargestellt worden. Sie verläuft von W nach E. Dort sind an allen Profilen klare, gegenüber der Umgebung sehr hohe Störungspeaks ausgebildet, die eine Identifizierung dieser Störung gestatten. Sie scheint mit der Schienerberg-Nord-Störung identisch zu sein (– nach Haus 1960 mit 170 m Sprunghöhe die wohl bedeutendste Bruchstörung in der deutschen westlichen Molasse). Eine andere kleine, aber in der Gasführung in einem Profil (Nr. 8) sehr ergiebige Störung wurde zwischen den Punkten C und D gefunden. Diese kleinere Störung verläuft in Richtung Allensbach auf den Rand des Gnadensees zu. Im Profil 8 lag eine

Methankonzentration von knapp 6% (mit verschiedenen Messgeräten, Gesellschaft f. Gerätebau; Riken-Keiki übereinstimmend gemessen) und ein CO_2-Gehalt von über 12% vor.

In der Abb. 3 ist der Verlauf der durch Gaspeaks angezeigten Störungen eingetragen worden. Der Verlauf dieser Störung ergibt sich durch eine Verbindung der höchsten, beziehungsweise der nach Peakhöhe und -breite eindeutigen Gasanomalien der einzelnen Proben. Nach dieser Darstellung scheint insbesondere der Verlauf der Untersee-Randstörung gesichert und damit die tektonische Anlage des südlichen Ufers des Untersees in seinen westlichen Teilabschnitten gewährleistet zu sein. Die Hauptgasführung dieser Störung konzentriert sich auf das Gebiet des Bodanrücks, wo offensichtlich eine Staffel nordwestfallender Brüche gemeinsam mit W–E und möglicherweise auch N–S streichenden Störungen den praequartären Untergrund stärker zerstückelte als auf der gegenüberliegenden Überlinger Seite des Sees. Diese tektonische Situation und die hohen Ausgasungsquoten der Störungen seit der frühesten Lagerstättenbildungsmöglichkeit im oberen Miozän dürften auch die Gründe dafür sein, dass nur unwirtschaftliche Koh-

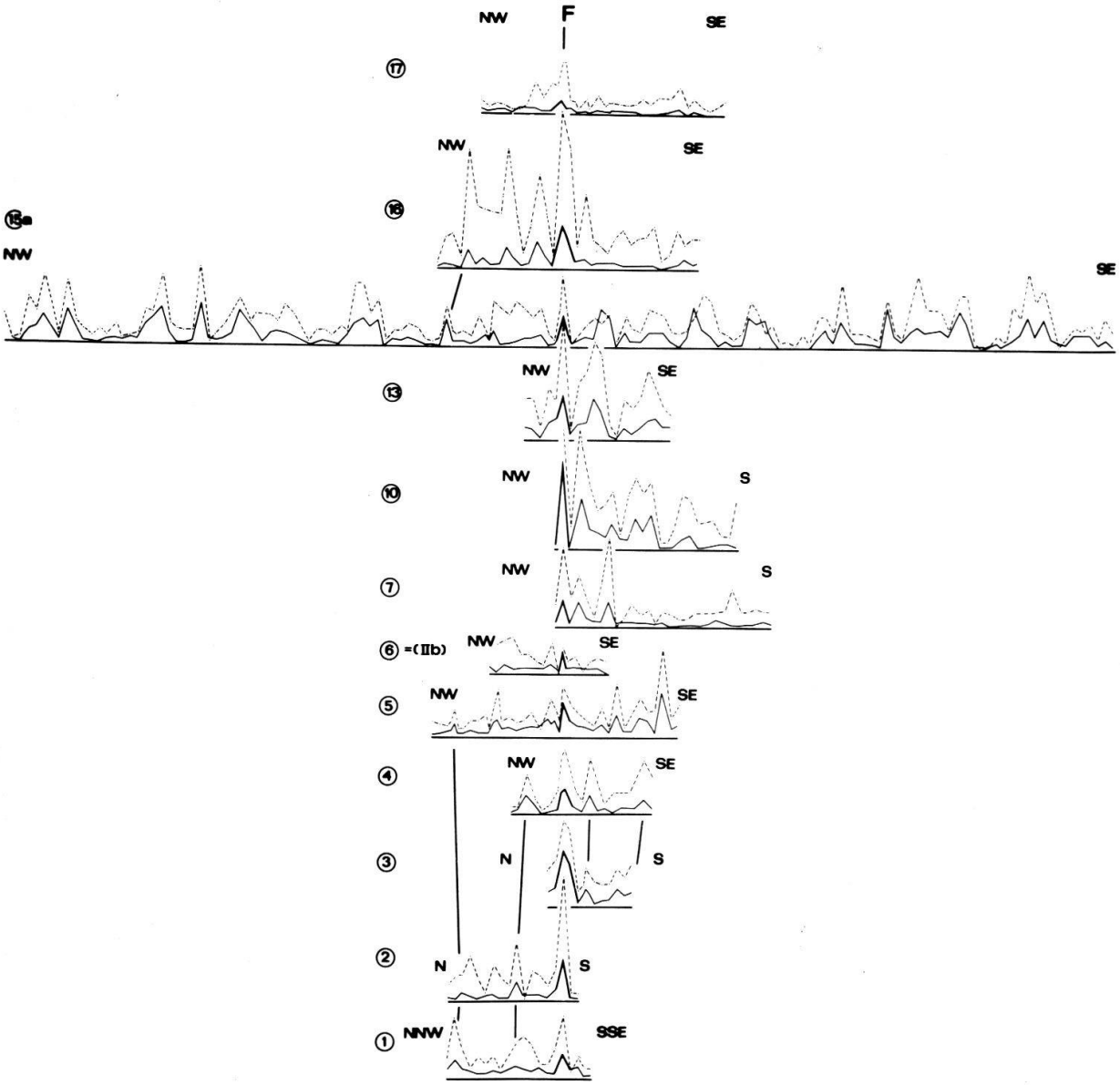

Fig. 1: Verteilung von Methan und Kohlendioxid in den Bodengasen im Bereich der Untersee-Randstörung.

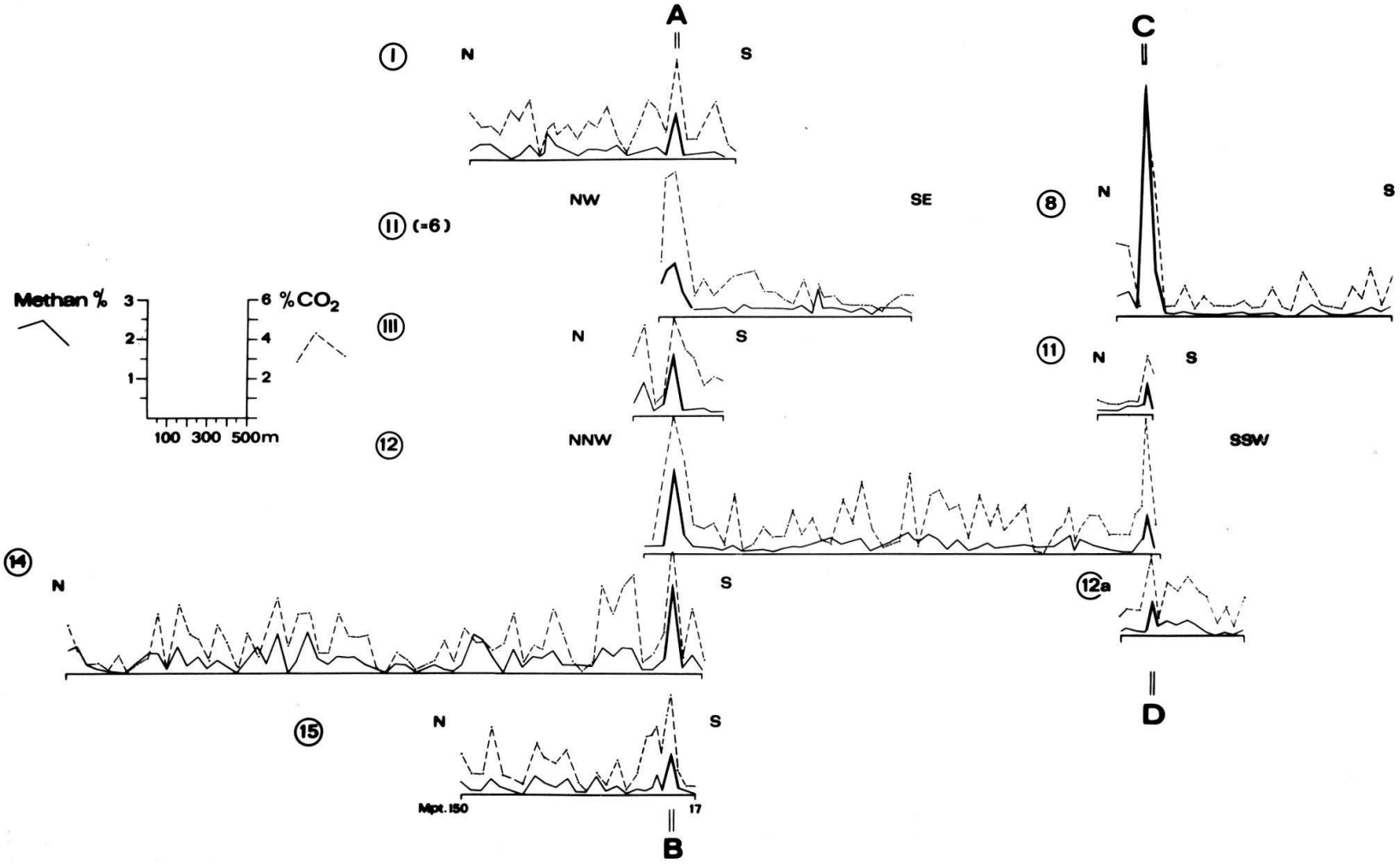

Fig. 2: Methan- und Kohlendioxid-Verteilung in den Bodengas-Messprofilen der West-Ost-Störung (Schienerberg-Nordverwerfung) und der Gnadensee-Randstörung.

lenwasserstoffvorkommen im Mesozoikum vorliegen. Zu einer einheitlichen Lagerstättenbildung grösseren Umfanges konnte es deswegen wahrscheinlich nicht kommen.

Die nach der Gasprospektion ermittelte Untersee-Randstörung findet über die Birnauer Profile Anschluss an ein seismisch erkundetes Gebiet, welches die Fortsetzung des Meersburg (– oder Überlinger)-Fronhofener Teillineamentes der Meersburg-Schwabmünchener Bruchzone darstellt.

Die W–E-Störung kommt nach ihren Gasgehalten noch klarer hervor und findet auch hier wieder ihren Schwerpunkt auf der Halbinsel Bodanrück. Sie kann mit erheblicher Sicherheit mit der Schienerberg-Nordstörung konnektiert werden und läuft offensichtlich im Osten auf der Überlinger Uferzone bei Meersburg aus. Die Insel Mainau im Überlinger See scheint ihre Nordbegrenzung im Gesteinsverband der Oberen Süsswassermolasse durch diese Störung zu ehalten. Ganz besonders stark ist ihre Gasführung im Kreuzungsbereich dieser Störung mit der Untersee-Randstörung. Dort scheint zwischen der W–E-Störung (– im Abschnitt II, III, 10) und der Randstörung eine Hochscholle zu liegen. Darauf geben die zur Mitte der Scholle ansteigenden Gasgehalte (Profil 12) ebenso Hinweise wie die südlich der Randstörung C-D registrierten niedrigen Gasgehalte über einer wahrscheinlich nicht imprägnierten tieferen Scholle.

Luganer Störung

Der Verlauf der Luganer Störung ist durch zahlreiche geologische Aufschlusspunkte relativ gut gesichert. Die Bodengasgehalte reichen in diesen Zonen zwar nicht an die Konzentrationen des Bodenseeraumes heran, doch sind sie eindeutig genug, um den Störungsverlauf auch nach den Bodengasgehalten zu erkennen (Abb. 4). Methan erreicht in dem Gebiet der Hauptdolomitscholle zwischen Arogno und Caprino Werte bis zu 0,2 (Profil 3, 4 und 5). Auch Kohlendioxid konnte in diesem Gebiet zur Identifizierung der Störung verwertet werden. Insbesondere war aber CO_2 in den Störungsbereichen mit östlich angrenzendem Kieselkalk ausgeprägt, während Methan dort nur in Spuren vorkam (Profile 2a und 2b).

Ähnlich waren die Verhältnisse im Gebiet des Meride-Kalkes bei der ehemaligen Ölfabrik zwischen Meride und Serpiano südwestlich des M. Giorgio. Auch dort lagen offensichtlich über einer kleineren Störung Methangehalte bis zu 0,3% vor. Demnach scheinen die Methangehalte im untersuchten Luganer Gebiet überall dort vorzukommen, wo Störungen an bituminöse Kalke oder Dolomite grenzen. Sie finden sich auch über den Kalkschollen östlich der Luganer Störung, doch niemals über den westlich angrenzenden Schollen mit permischen Vulkaniten.

Von einigen dieser Probenpunkte wurden auch fraktometrische Untersuchungen des gesamten Gasbestandes vorgenommen. Zu diesem Zwecke sind die Gasvolumina aus den verrohrten Bohrungen über einen absolut gasdichten Pumpenkopf in Gasproberohre aus Metall (Fa. Ges. für Gerätebau, Dortmund) überführt worden. Die Gasanalysen erfolgten unmittelbar danach mit dem zentral aufgestellten Gaschromatographen vom Typ F 6 der Fa. Perkin-Elmer. Diese Methode der Probenahme ist gegenüber Gassammelgefässen aus Glas mit Schliffhähnen zu bevorzugen, da sich alle von uns überprüften Glasprobenrohre durchlässig für Methan erwiesen haben (Ernst 1970). Die Analysenwerte sind in der Tab. 1 dargestellt worden.

Um überhaupt zu wissen, was die wichtigsten Gesteine des Untersuchungsgebietes an Gasen enthalten, wurden auch mehrere Desorptionsgasanalysen ausgeführt. Die Gesteinsproben wurden direkt oder in der Nähe der Gasabsaugungspunkte entnommen und nach der Rückkehr in Tübingen in unserem Gaslaboratorium untersucht. Auch diese Werte sind in der Tab. 1 enthalten.

Tab. 1

	Desorptionsprobe	*Absaugprobe*
Probe A	Biotit-Plagioklas-Gneis (Altkristallin) Vico Morcote / NE Kirche Desorbiertes Gas 1976 ml/kg Gestein	
Methan	0,27 %	0,08 %
Propan	0,098	–
Stickstoff	96,25	83,36
Sauerstoff	–	15,88
Kohlendioxid	3,45	0,66

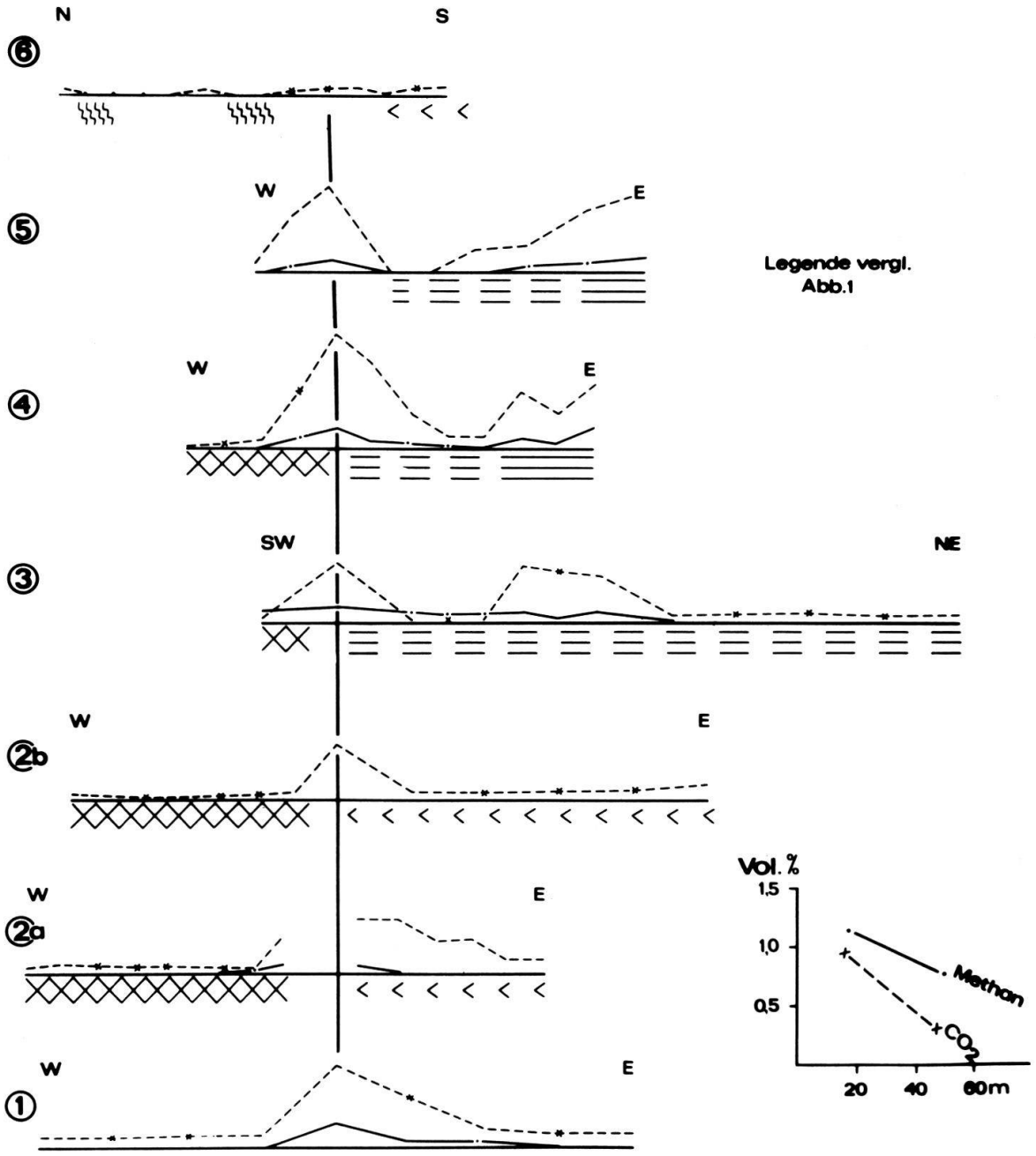

Fig. 4: Methan- und Kohlendioxidgehalte im Bereich der Luganer Störung im Tessin.

Probe B Permischer Porphyrit,
Forstweg östlich der
Seilbahnbergstation Serpiano
Desorbiertes Gas 1219 ml/kg

Methan	1,49	0,079
Propan	Spuren	–
Stickstoff	87,85	83,96
Sauerstoff	–	15,96
Kohlendioxid	10,60	–

Probe C Lombardischer Kieselkalk,
Hohlweg östlich Rovio
unterhalb verlass. Bauernhaus
Profilbereich 2b
Desorptionsanalyse wegen ausserordentlicher
Härte des Probenmaterials nicht möglich

Methan	0,11
Äthan	Spuren
Propan	0,00
Stickstoff	83,47
Sauerstoff	15,90
Kohlendioxid	0,49

Probe 4 nördlich der Kirche S. Vitale
an der Strasse Arogno–S. Evasio
keine Desorptionsanalyse

Methan	0,07
Stickstoff	83,34
Sauerstoff	16,56
Kohlendioxid	–

Probe D Bituminöser Hauptdolomit
Strasse Arogno–S. Evasio
1. Strassenkurve südlich S. Evasio, Osthang
Desorbiertes Gas 708,3 ml/kg Gestein

Methan	2,013	0,05
Äthan	Spuren	geringe Spuren
Propan	0,0157	geringe Spuren
Stickstoff	75,28	85,04
Sauerstoff	–	14,10
Kohlendioxid	22,69	0,58

Probe E Hauptdolomit, bitumenärmere Variation
S. Evasio, Westböschung Strasse
Desorbiertes Gas 930 ml/kg

Methan	1,20	0,21
Äthan	Spuren	Spuren
Propan	0,026	0,037
Stickstoff	90,65	85,63
Sauerstoff	–	13,60
Kohlendioxid	8,19	0,58

Alle Desorptionsgasanalysen sind auf Luftfreiheit ($O_2:N_2 = 1:3{,}72$ Luft) umgerechnet, ebenso sind alle Volumina um den Luftanteil reduziert und auf 0° C und 760 mm Hg berechnet.

Die Ableitung der einzelnen Komponenten der Desorptionsgase ist verhältnismässig schwierig. Grundsätzlich sind Kristallingebiete reicher an Stickstoff, Ergussgesteine höher im CO_2-Gehalt und Glimmerschiefer, Phylite und Gneise in Abhängigkeit von der ursprünglichen organischen Substanz in den sedimentären Ausgangsgesteinen methanführend. Ausserdem enthalten bituminöse Sedimentgesteine neben höheren Methananteilen auch schwerere Kohlenwasserstoffgase. Dieses Erfahrungsbild hat sich auch bei den Tessiner Untersuchungen annähernd bestätigt. Dort haben die Proben aus dem Altkristallin gegenüber den Gesteinen der Erguss- oder Sedimentserie tatsächlich einen höheren Stickstoffgehalt und die Proben aus dem Hauptdolomit etwas mehr Äthan und Propan als die nicht-sedimentären Materialien. Ebenso zeigt die Probe A (Biotit-Plagioklas) noch messbare Methan- und sogar auch noch Propangehalte, die wahrscheinlich bei der Umwandlung der organischen Substanz bei der Gneisbildung entstanden sind. Auffällig und abweichend ist aber der hohe Methangehalt in der permischen Porphyritprobe, dessen Herkunft ungewiss ist. Im Untergrund dieses Probepunktes stehen altkristalline Schichten wie auf der gegenüberliegenden Seite des Sees bei Vico Morcote an, die nach der Analyse des Absauggases auch ungebundenes Methan enthalten. Sonstige bituminöse Sedimente liegen relativ weit weg von diesem Probepunkt. Der gleiche Porphyrit weist zwar auch relativ viel Kohlendioxid auf, wesentlich höhere Gehalte haben aber die Proben aus dem Hauptdolomit, insbesondere die Probe D aus einem bituminösen Teil des Hauptdolomites. Erstaunlich hoch sind teilweise die Anteile des desorbierten Gases. Der Biotit-Plagioklas-Gneis enthielt umgerechnet auf ein Kilogramm Gestein 1926 ml Gas, obwohl es sich äusserlich um ein relativ dicht erscheinendes Gestein mit sehr geringem Porenvolumen handelt. Die Gasmenge des permischen Porphyrites von 1291 ml auf ein kg Gestein ist aufgrund der Gesteinsstruktur dagegen schon verständlicher. Aber auch die Proben aus dem Hauptdolomit ergaben beim Ausmahlen und Ausheizen noch über 700 ml Gas.

Die Gasanalysen der Absaugproben zeigen sehr ähnliche Werte bei Methan, Stickstoff und Luft. Die gleichen Relationen insbesondere zwischen Stickstoff und Sauerstoff sprechen für ein vorwiegend atmosphärisches Gas, das in Übereinstimmung mit den Desorptionsanalysen auch Anteile aus den Gesteinen enthält (höhere Methanwerte bei der Probe E und Spuren von Äthan und Propan). Die fraktometrisch ermittelten Methangehalte in den Absauggasen stimmen weitgehend im Betrag mit den Methangehalten der Riken-Keiki-Messgeräte überein, obwohl einzelne Probengase nicht direkt den gleichen Messpunkten entstammen. Grundsätzlich führen nach diesen Analysen auch Gesteine, die normalerweise weder zur Bildung noch Speicherung von Gasen neigen, eine nennenswerte Menge Gase. Neben diesen Gasen, die erst durch Aufmahlung und Ausheizung der Gesteine frei werden (Desorptionsgase) gibt es auch in den Böden über solchen Gesteinen Bodengase, die teilweise einen Zusammenhang mit dem Spektrum der Desorptionsgase zeigen. Damit ergibt sich eine Ausweitung der Bodengas-Methode auch auf Kristallingebiete, wo sich tektonische Brüche und Hochlagen ebenfalls nach den Bodengasen abzeichnen dürften.

5. Bewertung der Ergebnisse

Durch die beschriebenen Untersuchungen im Bodenseerandbereich und im Tessin liegen weitere sichere Befunde über eine Abgrenzung von tektonischen Störungen,

Hochschollen und Kristallingebieten durch erhöhte Konzentration spezifischer Gase vor. Gegenüber den bisherigen Untersuchungen ergibt sich vor allen Dingen ein Fortschritt bei der Einstufung solcher Störungen. Sie können aufgrund der Konzentration und Verteilung der Bodengase über bestimmte Profilabschnitte nach dem Streichen, Einfallen und Sprunghöhe eingeteilt werden. Im Untersuchungsgebiet Bodensee ist die W–E-streichende Störung nach diesen Unterscheidungsmerkmalen eine Verwerfung mit dem wohl grössten Sprungbetrag (50 m). Dafür sprechen auch die Befunde von HAUS (1960) über die anschliessende Schienerberg-Nord-Verwerfung. Die Untersee-Randverwerfung hat dagegen keine so wesentlichen Verwurfbeträge ($\pm$10–50 m). Sie scheint aber immerhin für die Anlage des Untersees eine Bedeutung zu haben. Das Einfallen ist generell nach NW gerichtet und entspricht damit auch der morphologischen Situation des Untersees. Eine tektonische Hochscholle liegt nach den Gasmessungen im Zwickel dieser beiden Störungen bei Hegne vor. Die für die Herkunft der Gase massgebenden Kohlenwasserstoffvorkommen dieser Scholle liegen relativ hoch zur Erdoberfläche, was sich teilweise aus den sehr hohen Konzentrationen von CH_4 und CO_2 abzeichnet (– die hohen CO_2-Gehalte können nicht vom kaum exhalierenden Vulkangebiet des Hegaus abgeleitet werden; es kann hier möglicherweise eine CO_2-Bildung bei Reaktionen sauerstoffhaltiger Tagwässer mit dem fein verteilten Bitumen der tektonischen Hochscholle vorliegen).

Eine schwierige tektonische Deutung der Gasgehalte liegt bei den Suchprofilen 15a und 15b vor. Dort reihen sich mehr als ein Dutzend sehr ähnlich angelegter Gaspeaks eng aneinander, so dass von einer eindeutigen Identifizierung der gesuchten Untersee-Randstörung nicht die Rede sein konnte. Ihre Identifizierung gelang erst in den Parallelprofilen, wodurch auch die fraglichen Abschnitte im Suchprofil weiter eingeengt werden konnten. Da es sich um ein höher gelegenes Gelände im Abstand von 100 bis 300 m vom Überlinger See handelt, scheiden sekundäre Gasbildungen über Sumpf-Torf – oder ehemaligen Verlandungsgebieten des Bodensees aus. Es handelt sich bei diesem Terrain vielmehr um Bildungen von Grundmoränen und im nördlichen Teil des Profils (– bei Dingelsdorf) auch von obermiozänen Ablagerungen (Obere Süsswassermolasse), die sehr gasdurchlässig sind. Die Gase können deshalb praktisch nur aus dem tieferen Untergrund abgeleitet werden, wofür dort die Süsswasserkalke der Unteren Süsswassermolasse und darunter liegende mesozoische Schichten in Frage kommen. Diese kohlenwasserstoffführenden Zonen scheinen tektonisch durch Brüche verschiedener Richtungen so deformiert worden zu sein, dass an vielen Stellen der Erdoberfläche aufgrund der besseren Migrationsfähigkeiten auch erhöhte Gaskonzentrationen vorliegen.

Einfacher für die Gasprospektion sind die Verhältnisse im kristallinen oder allgemein nicht-sedimentären Bereich, wo die Gasbildung auf wenige Komponenten und die Entgasung auf wesentlich grössere Störungssysteme beschränkt ist. Sobald dort kristalline und sedimentäre Schollen neben- oder untereinander vorkommen, erhöhen sich dort vor allen Dingen die Werte der höheren Kohlenwasserstoff-Gase in den Störungen. Damit ergibt sich auch dort eine Anwendungsmöglichkeit der Bodengasmethode, wo Schuppenbau am Gebirgsrand, z. B. in den Alpen, vorliegt. Hier pausen sich gas- oder ölführende Zonen mit ihren tektonischen Begebenheiten auch durch darüber liegende Kristallin- oder Ergussdecken durch.

Wichtig ist diese Möglichkeit auch in solchen Erdbebengebieten wie in Chile, wo in den mittleren Küstenkordilleren über einem kristallinen Sockel verschieden stark metamorphisierte Sedimentpakete mit Vulkaniten (Porphyre und Tuffe) wechseln. Man kann dort auch bei völligem Gasverlust der metamorph beanspruchten Sedimente auf Tiefengase zurückgreifen, die aus dem Kristallin stammen und durch tektonische Bewegungen und Gebirgsspannungen vor den Erdbeben stärker desorbiert werden.

Eine Bewertung des Charakters, der Mächtigkeit und der räumlichen Verteilung von Kohlenwasserstoffvorkommen ist aber auch in den besprochenen Untersuchungsgebieten nicht möglich. Die Bodengasmethode erlaubt lediglich eine Abgrenzung der einzelnen tektonischen Schollen im tieferen Untergrund, Hinweise auf ihre Tiefenlage und auf den wahrscheinlichen Grad der Imprägnierung. Weiterhin ist eine Identifizierung von ausgasenden Schollen unter kohlenwasserstoffreiem Kristallin, Vulkaniten oder Flyschzonen (z. B. am Rande der Faltenorogene) möglich.

Der technische und zeitliche Aufwand ist für diese Arbeiten sehr gering. Die Untersuchungen im Bodenseeraum und im Tessin wurden lediglich von Herrn Dipl.-Geol. U. Reinkensmeier und von mir ausgeführt und erforderten im Bodenseeraum nur 16 Arbeitstage. Im Tessin beanspruchten diese Arbeiten lediglich 10 Tage. Sämtliche Messgeräte (mit Ausnahme des Fraktometers) können unabhängig von den Weg- und Geländeverhältnissen per Hand transportiert werden, was vor allen Dingen in Gebirgsgegenden und auch in dichter besiedelten Gebieten von erheblichem Vorteil ist. In Zonen starker Gasindikationen können wie zum Beispiel bei unserer Kohlensäureprospektion auf Kluftlagerstätten im mittleren Neckartal auch engmaschige Gittermesspunkte angelegt werden. Die Bodengasmethode scheint deswegen besonders in den Gebieten gut brauchbar zu sein, wo reflexionsseismischen Untersuchungen ihre Anwendungsgrenzen haben.

Der Stiftung Volkswagenwerk danke ich ganz besonders für die Ermöglichung dieser Untersuchung.

Herr Dipl.-Geol. U. Reinkensmeier war mein Begleiter im Gelände und führte dort, wie auch im Labor, die gaschromatographischen Analysen aus. Herr Springer zeichnete die Abbildungen und Herr Wetzel fertigte die Photos an. Ich bin allen genannten Herren für ihre wesentliche Mithilfe sehr dankbar.

Literatur

Bernoulli, D.: Zur Geologie des Monte Generoso (Lombardische Alpen). – Beitr. Geol. Karte Schweiz, N.F., Lfg. 118, XV, 185 S., Bern 1964.

Elberskirch, W. & Lemcke, K.: Zur Tektonik der nordalpinen Molassesenke. – Zeitschr. Deutsche Geol. Ges., 105, 1953, S. 307–323, Hannover, 1955.

Ernst, W.: Verteilung und Herkunft von Bodengasen in einigen süddeutschen Störungszonen. – Erdöl u. Kohle, Erdgas, Petrochemie. – *21*, S. 605–610, 692–697, Hamburg, 1968.

– Störungsabgrenzungen im Umkreis des Überlinger Sees mit Bodengasen. – Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., Nr. 88, S. 1–11, Basel, 1969 .

– Erdbebenvorhersage. – Zusammenhang zwischen Gaskonzentration und Erdbeben. – München (Goldmann-Verlag), 1970.

Haus, M. A.: Mönchsrot als Ölfeld im Westabschnitt der süddeutschen Vorlandmolasse. – Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., *26*, Nr. 71, S. 49–74, Basel, 1960.

Laubmeyer, G.: Eine neue geophysikalische Schürfmethode für Kohlenwasserstoff-Lagerstätten. – Petroleum *29*, 1/4, 1933.

Meinhold, R.: Entwicklungsstand und Probleme der geochemischen Prospektionsmethoden auf Kohlenwasserstoff. Z. angew. Geol., *5*, 10, S. 433/440, Berlin, 1969.

Mühlfeld, R.: Photogeologische Beobachtungen zum Sedimentaufbau und zur Tektonik im ostbayerischen Molassebecken zwischen Landshut und Eggenfelden. – Geol. Jb., *85*, S. 285/298, Hannover, 1968.

Müller, G. & Gees, R. A.: Erste Ergebnisse reflexions-seismischer Untersuchungen des Bodensee-Untergrundes. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., *6*, S. 364/69, Stuttgart, 1968.

Pröhl, S.: Ergebnisse vom Kohlenwasserstoff-Messungen im Gebiet des Schlotheimer Grabens. – Geophys. Geol., *7*, S. 3/7, Leipzig, 1965.

Sokolow, W. A.: Die Gasaufnahme als Prospektionsmethode der Erdöl- und Gas-Lagestätten. – Ref. Bjut. NgRJ 1, 1933 (russisch).

Volz, E.: Geologische Ergebnisse einiger Erdölbohrungen im westlichen Molassebecken. – Erdöl u. Kohle, Jg. 12, S. 209/216, Hamburg, 1959.