

Über ein Erdgasvorkommen im Gebiet Bürg, Spiez (BE)

Autor(en): **Büchi, Ulrich Paul / Freimoser, M. / Weiss, H.-P.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **56 (1990)**

Heft 130

PDF erstellt am: **14.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-213550>

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.

Über ein Erdgasvorkommen im Gebiet Bürg, Spiez (BE)*

mit 3 Figuren und 1 Tabelle im Text

von U.P. BÜCHI †¹⁾, M. FREIMOSER²⁾ und H.-P. WEISS³⁾

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Abstract

1. Einleitung
2. Geologische Situation
3. Gang der Untersuchungen und Massnahmen
 - 3.1 Bodengasmessungen an der Terrainoberfläche
 - 3.2 Gasentlastung durch Schrägbohrungen
 - 3.3 Kernbohrung
 - 3.4 Erdsonden- und Gasentlastungsbohrungen in Bauetappe II
 - 3.5 Untersuchungen zum Gasaufstieg im Explosionshaus
4. Gasanalytik, und Gasherkunft
5. Folgerungen über Gasspeicherung und Gasaufstieg

Verdankungen

Zusammenfassung

Am 8.11.1987 ereignete sich in einem Reihen-Einfamilienhaus in Spiez eine Explosion durch Erdgas, welches in das Kellergeschoss eingedrungen war. Gasmessungen zeigten, dass der Austritt von Erdgas nicht nur im Nahbereich des Schadenhauses, sondern lokal auch in der näheren und weiteren Umgebung erfolgt. Geologisch gesehen liegt das Gebiet in Gipskarst mit unterlagernder Anhydritformation der Trias am Ostrand der Klippendecke der Préalpes. Die weiteren Untersuchungen haben gezeigt, dass beim Aufstieg des Gases neben Karstschloten im Gips auch Bohrlöcher eine Rolle spielen, in denen zur Raumheizung Erdwärmesonden versetzt worden waren. Herkunft und Möglichkeiten der Gasspeicherung werden diskutiert.

Abstract

On November 8th, 1987 an explosion took place in a terraced one-family house in Spiez, caused by natural gas, which had penetrated into the basement. Gas-measuring showed that gas did not only escape in the immediate vicinity, but locally also at a close and wide range of the house in question. Geologically speaking the area is situated in gypsum karst with a substratum of Triassic anhydrite formation at the eastern edge of the Prealps. Further investigations indicated that the rising of the gas had not only been favoured by natural joints in the dolomite-carrying anhydrite and karst chimneys in the gypsum, but also by drill holes which were deepened to use earth-temperature for heating the house. Origin of the gas and possibilities of storage are discussed.

* Nach einem Vortrag, gehalten an der Jahrestagung der VSP am 17. Juni 1989 in Meiringen

1) Dr. U.P. BÜCHI, Expertisen und Forschungen, Bodenacherstrasse 79, 8121 Benglen

2) Dr. M. FREIMOSER, Geotechnisches Büro Dr. von Moos AG, Bachofenstrasse 5, 8037 Zürich

3) Dr. H.-P. WEISS, Geologisches Büro, Thunstrasse 188, 3074 Muri b. Bern

1. Einleitung

Am 8. November 1987 ereignete sich im Untergeschoss eines Reihen-Einfamilienhauses in Spiez eine Gasexplosion, ausgelöst durch den Funken eines Lichtschalters. Durch die Druckwelle wurde eine Person verletzt, das ganze Haus stark beschädigt. Durch das Technische Inspektorat des Schweizerischen Gasfaches, Zürich und die Spiezer Wehrdienste wurden teilweise explosive Gasgemische im Schadenhaus, seinen angebauten Nachbarhäusern sowie in den Vorgärten gemessen. Die betroffenen Gebäude wurden evakuiert und durch die Sicherheitsbehörden mit einem Benutzungsverbot belegt.

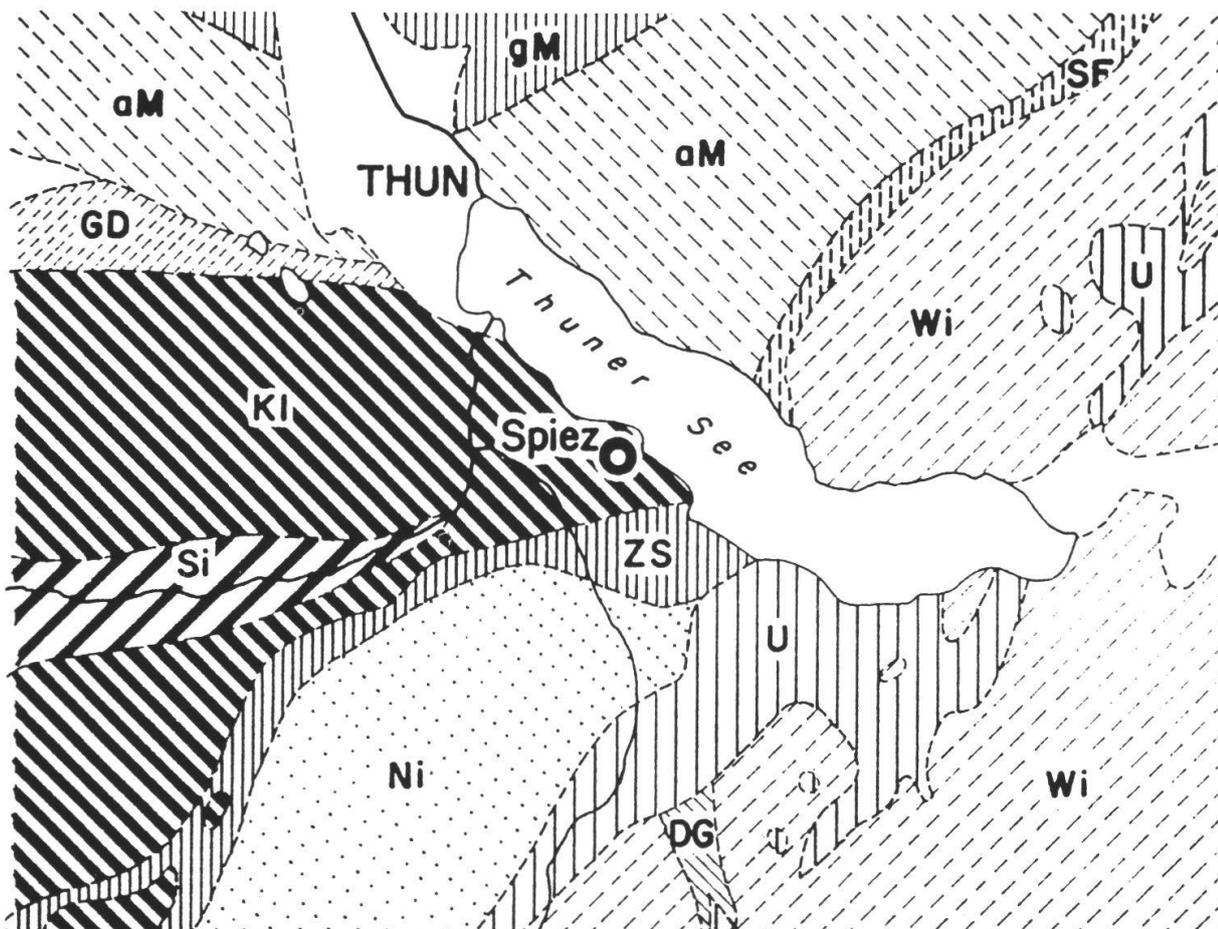
Das Schadenhaus (Nr. 31 auf Figur 2) befindet sich am Nordrand der ersten, 1986 erstellten Bauetappe einer Einfamilienhaussiedlung im Spiezer Bürg-Quartier, auf einer Geländeterrasse ca. 100 m südlich des Thunersees. Zur Raumheizung der Häuser dienen Erdwärmesonden, die in bis zu 125 m tiefen Bohrlöchern installiert sind, welche direkt im Bereich der Kellergeschosse abgetieft worden sind.

Bereits beim Bohren einzelner Erdsondenlöcher im Winter/Frühjahr 1986 war Gas angetroffen worden (Figur 2). Das Gas wurde teils unfreiwillig entzündet, teils gezielt abgefackelt, teils über längere Zeit beobachtet. Genaue Aussagen über die Tiefenlage der Gasaustritte liegen nicht vor. Ein Teil der Gasaustritte soll intensiv nach faulen Eiern (Schwefelwasserstoff) gerochen haben, in einigen Bohrungen soll in 70 bis 80 m Tiefe auch öliges Material erbohrt worden sein (Figur 2). Weder dem Phänomen Gas noch dem «Öl» wurde offensichtlich grössere Bedeutung zugemessen. Möglicherweise hat schon damals die Hypothese, es handle sich um Auswirkungen alter Öl- und Benzinunfälle im Spiezer Raum, eine Rolle gespielt.

2. Geologische Situation

Das Gebiet des Thunersees ist durch mehrere kompliziert gelagerte geologisch-tektonische Einheiten geprägt (Fig. 1). Auf der See-Nordseite werden die Gesteine der helvetischen Randkette durch eine dünne Zone mit Subalpinem Flysch von der aufgeschobenen Molasse getrennt. An der Südseite stossen die penninischen Klippendecken mit mächtig entwickelter Trias aus Dolomiten, dolomitischen Kalksteinen, Rauhacken, Gips und Anhydrit bis in den Raum Spiez-Leissigen vor. Dieses wurzellose Deckenpaket liegt vermutlich über ultrahelvetischen Flyschen und/oder Subalpiner Molasse.

Im Gebiet um Spiez herrschen generell schlechte Aufschlussverhältnisse. Festgesteine des Lias und der Trias werden auf weite Strecken durch Moränenmaterial des Aaregletschers überdeckt. Der Höhenzug Bürgwald-Hondrich im Osten und Süden der Bürg besteht aus dolomitischen Kalken. Im Norden des Untersuchungsgebietes, am Steilabhang zum Seeufer (Figuren 2 und 3), ist in einem aufgelassenen Steinbruch stark verfalteter, von Störungen durchzogener Gipsfels aufgeschlossen. Im weissen und grauen, teils massigen Gips sind Tonsteinlagen und breccierte dolomitische Zonen bis zu 20 cm Mächtigkeit eingeschaltet. Haupttrennflächen bilden teilweise klaffende, steil nach NNW einfallende Klüfte. Die Schichtflächen sind partienweise von schichtparallelen Scherzonen bis zu 1 m Mächtigkeit begleitet und fallen generell mittelsteil nach Süden ein. Die mittlere Lage der Trennflächen wurde auf Figur 3 in einem Lagekugeldiagramm (untere Halbkugel) dargestellt.



Figur 1: Geologisch-tektonischer Überblick (vereinfacht nach tekt. Karte der Schweiz 1:500'000)

DG Helvetikum der Diablerets-Gellihorn-Decke
 Wi Helvetikum der Wildhorn-Decke
 U Ultrahelvetische Decken
 SF Subalpiner Flysch
 Ni Niesendecke
 ZS Zone Submediale

KI Klippen-Decke
 Si Simmen-Decke
 GD Gurnigel-Decke
 aM aufgeschobene
 gM gefaltete Molasse

Der in der Bürg zumeist unter geringmächtiger Moränenbedeckung anzutreffende Gipsfels ist nahe der Oberfläche stark verwittert und verkarstet. Zahlreiche Einsturztrichter prägen sich durch die Moränendecke durch und sind als dolinenartige Depressionen im Gelände gut erkennbar.

3. Gang der Untersuchungen und Massnahmen

Erste qualitative Gasanalysen nach dem Schadenereignis haben ergeben, dass es sich beim aufströmenden Gasmisch um Luft, Methan und höhere Kohlenwasserstoffe, also eindeutig um Erdgas handelt. Solche Erdgasaustritte sind im Spiezer Raum nicht völlig unbekannt. Seit langem wird zum Beispiel von Gasaustritten im Thunersee, als «Schwefelquellen» bezeichnet, ca. 2.5 km nordwestlich der Bürg berichtet. Etwa 100 m vom Seeufer entfernt treten dort in 5-10 m Wassertiefe auf einer Fläche von mindestens 20x30 m zahlreiche Gasblasen geisirartig aus dem sandigen Ufersediment.

Das Gasvorkommen wurde durch Herrn A. GÖTZ (Bundesamt für Wasserwirtschaft) und Frau T. RIESEN (Phys. Institut der Uni Bern) in ihrer Freizeit untersucht, beprobt und analysiert (Tabelle 1). Ohne auf Analysenresultate einzugehen kann doch gesagt werden, dass es sich auch bei den Gasaustritten im Thunersee mit einiger Sicherheit um fossiles Erdgas handelt, welches jedoch durch Spuren von rezentem Methangas verunreinigt ist.

Die weiteren Untersuchungen verfolgten zwei Hauptziele:

- Einmal das aufsteigende Gas zu fassen und abzuleiten, um damit die Gefahr weiterer Explosionen zu bannen und die Häuser reparierbar und wieder bewohnbar zu machen.
- Zum anderen Verbreitung, Herkunft und Aufstiegsmechanismus des Gases zu eruieren.

Diese Ziele wurden folgendermassen in Angriff genommen:

3.1 Bodengasmessungen an der Terrainoberfläche

Im Zeitraum vom November 1987 bis zum Oktober 1989 wurden insgesamt 6 Bodengas-Messkampagnen mit ca. 600 Messpunkten in der näheren und weiteren Umgebung des Explosionsortes, im Bereich der gesamten Überbauung sowie auf dem weiteren Gemeindegebiet von Spiez durchgeführt. Gemessen wurde in vorgerammten Löchern zwischen 0.3 und 1.5 m Tiefe mittels tragbaren Spurengas-Messgeräten.

An sämtlichen gemessenen Standorten wurde Bodengas registriert, wobei sich die Gas-Konzentration zumeist unterhalb von 100 ppm (0.1 Vol%) bewegte. Als Erdgas-Austritte im engeren Sinne wurden nur CH₄-Konzentrationswerte in der Grössenordnung 0.1 Vol% und darüber gewertet, geringere Werte können auch auf biologische Fermentationsprozesse in den oberen, belebten Bodenschichten zurückgeführt werden.

Immerhin ergaben sich im weiteren Gemeindegebiet von Spiez bei ca. 10% der Messungen Bodengas-Konzentrationen mit 0.1 Vol% oder mehr. Die höchsten Gaskonzentrationen in den oberen Bodenschichten wurden südlich des Explosionsgebäudes — teilweise im Bereich der geplanten Bauetappe III, teilweise in seit Jahren bewohnten Gebieten — gemessen (Maximalwert 3.6 Vol%). Aus Figur 2 sind Bodengas-Probeposten mit Konzentrationen > 0.1 Vol% ersichtlich.

3.2 Gasentlastung durch Schrägbohrungen

Kurz nach der Explosion wurde die stark gasführende Ringdrainageleitung, welche die betroffenen Häuser im Fundationsbereich umschliesst, an ein Gas-Absauggebläse angeschlossen und das Gas mit einer Gasfackel zeitweise entzündet. Um das Gas schon tiefer unter dem Fundationsniveau der Häuser fassen zu können wurden als erste grössere technische Massnahme fünf bergwärts geneigte, mit Filterrohren Ø 2'' ausgerüstete Spülbohrungen bis zu 36 m Länge, fächerförmig ca. 10 m unter den Hausfundamenten niedergebracht und an eine Luftabsauganlage angeschlossen (Figuren 2 und 3). Nach 3-4 m lehmiger Moräne wurde stark verwitterter, verkarsteter und teilweise verstützter Gipsfels erbohrt. Hinweise auf grössere offene Hohlräume waren relativ selten, das Karstsystem dürfte also mehrheitlich durch Verwitterungsrückstände und Nachfall von oben verfüllt sein. Das problemlose Absaugen grosser Luftmengen bei schwacher gegenseitiger Kommunikation unter den Bohrungen machte jedoch deutlich, dass für einen Gasaufstieg in der verkarsteten Deckschicht genügend Porenraum vorhanden war.

Diese Massnahme brachte das angestrebte Ziel: Durch permanentes Absaugen von ca. 800 m³/h Luft/Gasgemisch aus dem Untergrund, drang kein Gas mehr in die Häuser ein. Bei einer Konzentration des Gemisches von 0.1-0.2 Vol% konnte auf eine totale Menge aufströmenden reinen Gases von ca. 700 l/h geschlossen werden. Wurde der Saugbetrieb jedoch eingestellt, so drang innert Sekunden bis Minuten Gas in die Häuser ein und akkumulierte sich an kritischen Stellen zu Explosivgemischen.

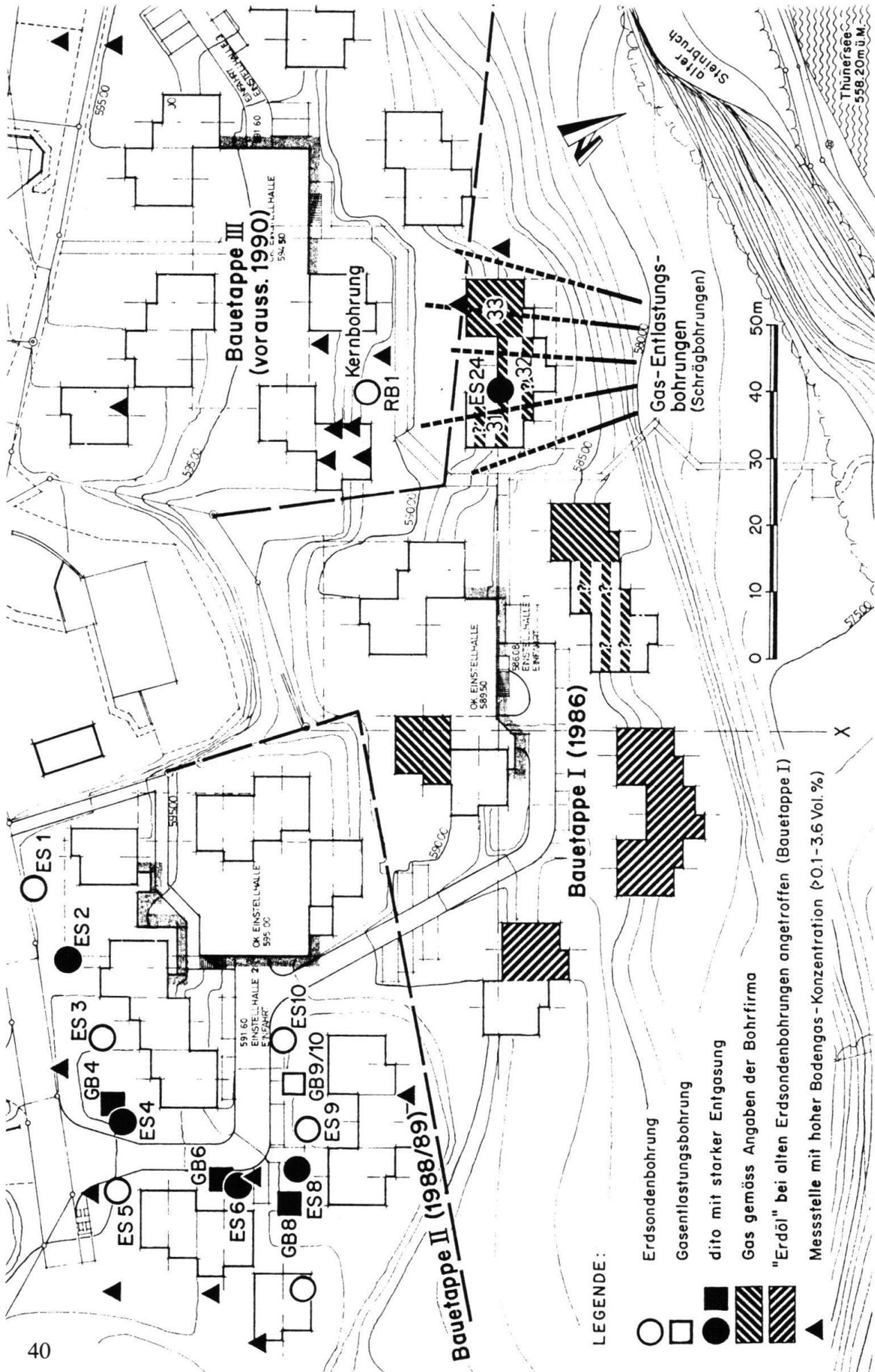
3.3 Kernbohrung

Eine ca. 20 m südlich des Explosionsgebäudes auf 131.2 m abgeteufte, bis zur Tiefe 44 m mit einem Piezometerrohr Ø 4 1/2'' ausgerüstete Kernbohrung zeigte folgenden Gebirgsaufbau:

0. 0 - 2.8 m	lehmige Moräne
2. 8 - 25.4 m	stark verkarsteter und verwitterter Gipsfels, wenige kompakte Gipskerne, verfaltet, mit steilstehender Schichtung, dazwischen mehrheitlich feinkörniger Gipsgrus, tonige Verwitterungsprodukte und Gesteinstrümmer als Füllung verstürzter Kavernen
25.4 - 29.4 m	Kalkstein dunkelgrau, steil einfallend, mit vertikalen, angelösten Spalten (vermutlich tektonisch eingespiesster Malmkalk)
29.4 - 36.0 m	Gips mit Dolomitlagen, meist zerbrochen, Feinanteil ausgewaschen, z.T. noch verkarstet
36.0 - 117.0 m	Anhydrit mit Lagen und Linsen von Tonstein und Dolomit, verfaltet, mehrheitlich steiles bis mittelsteiles Einfallen der Schichten, Dolomithorizonte spröde deformiert, boudiniert, zerrissen, mit z.T. offenen Klüften und Haarrissen Tonsteinlagen z.T. als Ruschelzonen ausgebildet. Ausgesprochen gute Kernqualität
117.0 - 127.5 m	Dolomit und Anhydrit, verfaltet, mit zunehmend mächtigeren Tonsteinlagen
127.5 - 131.2 m	Dolomit mit Anhydritklasten, teils zerschert.

Der über längere Zeit beobachtete Grundwasserspiegel im Bohrlochbereich liegt ca. 32 m unter OK- Gelände, ca. 0.1 bis 1.4 m über dem mittleren Seewasserspiegel (558.2 m ü. M.). Die für die Beurteilung der Gaszirkulation wichtige Gebirgsdurchlässigkeit, ermittelt aus einem Kleinpumpversuch mit Wiederanstieg (Absenkungsbereich -31.5 bis -45 m) ergab einen theoretischen Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 5 \times 10^{-10}$ m/s. Da der sicherlich besser durchlässige Grenzbereich Gips/Anhydrit beim Versuch miterfasst wurde, kann der Anhydritkomplex an dieser Stelle als weitgehend dicht taxiert werden.

Sowohl während des Abteufens des Bohrloches als auch während einer nachfolgenden 4-wöchigen Beobachtungszeit wurde die Luft am Bohrlochkopf laufend abgesaugt und durch fest installierte Gaschromatographen auf Kohlenwasserstoff- und Schwefelwasserstoffgase überwacht und analysiert. Zu keinem Zeitpunkt konnte indessen am Bohrlochkopf Gas nachgewiesen werden. Offensichtlich wurde mit dieser Bohrung weder im verkarsteten Gips, noch im Anhydritkomplex ein gasführendes System angefahren. Nicht auszuschliessen ist jedoch, dass der drainierende Effekt der zum Zeitpunkt der Bohrung laufenden Bodenluftabsaugung (Kap. 3.1) eine mögliche Bohrloch-Entgasung verhindert hat. Zudem wurde das Grundwasser im Bohrloch nie vollständig ausgepumpt, was sich ebenfalls auf die Gasführung ausgewirkt haben mag (Kap. 3.4).



Figur 2: Situation Überbauung Bürg, Spiez, mit Gasindikationen

Als Hauptergebnis der Kernbohrung ist festzuhalten, dass sich lokal die Umwandlung des Anhydrit-Ausgangsgesteins in Gips und dessen starke Verkarstung praktisch ausschliesslich auf den Bereich über dem Thunersee-Spiegel beschränkt. Wie röntgenographische Bestimmungen bestätigt haben, liegen die Sulfatgesteine unterhalb des Bergwasserspiegels nur noch als Anhydrit vor.

3.4 Erdsonden- und Gasentlastungsbohrungen in der Bauetappe II

Zahlreiche neue Resultate über das Gasvorkommen lieferten insgesamt 13 Spülbohrungen, welche im August 1988 im Bereich der Bauetappe II, ausserhalb der dort projektierten Häuser, auf 100-125 m abgeteuft wurden (Fig. 2). Neun Bohrlöcher (ES) wurden mit Mehrkanal-Erdwärmesonden ausgerüstet und mit Ton/Zement-Suspension bis zu Tage ausinjiziert. Wegen der starken Gasführung einiger Bohrlöcher wurden wenige Meter daneben auf gleiche Tiefe 4 Gasentlastungsbohrungen (GB) niedergebracht und durch Installation von 2''-Piezometerrohren der langfristigen Beobachtung zugänglich gemacht.

Während und nach der Bohraktivität wurden Kohlenwasserstoff- und Schwefelwasserstoffgas aus Spülung, offenem Bohrloch und Grundwasser mittels mobiler Gasmessgeräte ständig überwacht. Wie bei der ca. 100 m entfernten Kernbohrung wurde auch hier unterhalb der lokal bis zu 10 m mächtigen Moräne bis auf ca. 30 m Tiefe verkarsteter, toniger Gipsfels, stellenweise mit karbonatischen Beimengungen, angetroffen. Das häufige Durchsacken des Bohrgestänges sowie teilweise hohe Verluste an Injektionsgut (bis zu 7 m³) lassen auf zahlreiche Hohlräume im Grössenbereich von 0.3-1.5 m bis 30 m Tiefe schliessen. Unterhalb dieser verkarsteten Zone besteht das Gebirge aus Anhydrit, mit wechselnden Anteilen von Tonstein, Dolomit und Kalkstein. Wasserzutritte und -abflüsse, sowie Fliessgeräusche während Absenk- und Auffüllversuchen, deuten hier jedoch auf offene, möglicherweise verkarstete Hohlräume (Klüfte, Störungen) auch innerhalb der Anhydritzone hin.

Der Fels-Grundwasserspiegel wurde in ca. 26-32 m Tiefe (ca. 5-8 m über Seeniveau) angetroffen. Das Wasserniveau in den einzelnen Bohrlöchern ist unausgeglichen und variiert auf kurze Horizontaldistanz z.T. beträchtlich. Die Spiegelschwankungen während der Beobachtungszeit von ca. einem Jahr sind mit 0-43 cm gering und uneinheitlich, was wir mit im Karst verbreiteten Überlaufsystemen erklären.

In allen Bohrungen wurde Methan gemessen. Die Gaskonzentrationen bei offenem Bohrloch bewegten sich je nach Bohrung zwischen geringfügigen Gasspuren von weniger als 1 Vol% und praktisch reinem, bis zu 80 Vol% angereichertem Erdgas. Gasdruck und Strömungsgeschwindigkeit am offenen Rohr waren durchwegs sehr gering (Auftriebsdruck) und kaum messbar. Insgesamt zeigten 7 Bohrlöcher starke Entgasung (Fig. 2) mit im Explosivbereich oder darüber liegenden Konzentrationen. Überraschend war der Umstand, dass die Bohrungen nur solange hohe Gaskonzentrationen bzw. -mengen führten, als sie frei von Bergwasser waren. Bedingt durch die Bohrtechnik (Imlochhammer mit Luftdruckspülung, 22 bar), wurde das Grundwasser nämlich während des Abteufens ausgeblasen bzw. in das Gebirge verdrängt. In einigen Bohrungen dauerte es mehrere Tage bis von der Bohrlochsohle her der Wiederanstieg des Wassers begann und oft ebensolange oder länger, um auf Normalniveau aufzuspiegeln. Als Beispiel sei GB 6 erwähnt, wo nach Bohrende 6 Tage verstrichen, bis das verdrängte Bergwasser die Bohrlochsohle bei 125 m u. OKT erreichte und 6 Stunden bis zu Erholung auf Normalniveau, wobei der messbare Wiederanstieg annähernd linear verlief. Der Wassereintritt in das Bohrloch erfolgte streckenweise (60-65 m) mit gut hörbaren, gurgelnden Fliessgeräuschen.

Die Gaskonzentration zeigte bei wasserfreiem Bohrloch Maximalwerte und nahm erst mit dem Wiederanstieg des Grundwassers markant ab. Mit voll aufgespiegeltem Grundwasser führt nur eine einzige Bohrung (GB 6) bis heute bescheidene Mengen Erdgas (ca. 1 Vol%).

Folgende Anzeichen deuteten auf einen Hauptzustrom des Gases aus dem Anhydritbereich unterhalb der stark verkarsteten Gipsmasse:

- Während des Bohrens im verkarsteten Gips wurden weder in der Spülung, noch am offenen Bohrloch wesentliche Gaskonzentrationen gemessen.
- Im wasserfreien Bohrloch gefahrene Tiefenprofile ergaben eine nahezu homogene Verteilung der Gaskonzentration bis auf die Bohrlochsohle auf 125 m.
- Gelöste Kohlenwasserstoffgase (C1-C5) bis zu mehr als 2 Vol% wurden aus Wasserproben aus dem Bereich der Bohrlochsohle nachgewiesen.

Vereinzelt wurde H₂S bis zu max. 20 ppm gemessen, in einem Bohrloch konnte ein deutlicher Erdölgeruch festgestellt werden.

3.5 Untersuchungen zum Gasaufstieg im Explosionshaus

Die Erfahrungen mit den Erdsondenbohrungen in der Bauetappe II gaben dem Verdacht, dass die Sonden beim Explosionshaus mit dem Gasaufstieg zu tun haben könnten, neue Nahrung. Die Auswertung der alten Unterlagen brachte auch Zweifel an der Qualität der Ringraumverfüllungen der älteren Erdsondenlöcher. Überschlägige Kostenberechnungen zeigten zudem, dass ein permanenter Betrieb der Bodenluft-Absauganlage, welcher eine weitgehende Automation erfordert hätte, sehr teuer zu stehen kommen würde. Es wurde deshalb nach einer kostengünstigeren, weniger energieintensiven Methode der Gasableitung gesucht.

Im Umfeld der drei Erdsondendurchführungen im Explosionsgebäude und der beiden Nachbarhäuser war bei unverletzter Fundamentplatte nie Gas gemessen worden. Erste Anzeichen explosiver Gasgemische ergaben sich dagegen nach dem Durchbohren des Heizungsbodens neben der Erdsonde des Hauses Nr. 32 (Figuren 2 und 3). Anschliessend wurde durch einen 5 m tiefen Graben (Gas-Fassungsschacht), welcher von der Südseite unter das Haus vorgetrieben wurde, die gasverdächtige Erdsonde bis zu 2.5 m unter die Bodenplatte vorsichtig freigelegt. Trotz vorhandener Bohrlochverfüllung aus teilweise mit Gips verunreinigter Ton/Zement-Füllmasse führte der Nahbereich der Sonde bis zu 20 Vol% Gas. Die höchsten Gaskonzentrationen traten direkt an der Aussenwandung des Kunststoff-Sondenrohres auf. Der Gasaufstieg im Ringraum der Bohrung lieferte den Beweis, dass die Gasexplosion mit der Erdsonde in einem direkten Zusammenhang stand.

Die Freilegung der Sonde hat bewirkt, dass an keiner anderen Stelle, weder innerhalb noch ausserhalb der Häuser messbare Gasauftösse auftraten. (Zuvor hat sich aufsteigendes Gas unterhalb der Bodenplatte aufgestaut und ist durch Mauerfugen diffus in die Häuser eingedrungen). Durch die Öffnung des Gas-Fassungsschachtes wurde die Bodenluft-Absaugung überflüssig und konnte stillgelegt werden.

Eine Perforation des unteren Abschnittes der doppelwandigen Mehrkanal-Sonde aus Kunststoff (innen Ø 49 mm) des Hauses 32 sollte eine zentrale Kanalisierung (Drainage) des aufsteigenden Gases sowie eine Messung des Grundwasserspiegels ermöglichen. Die heikle Operation wurde mittels Wasser-Injektion aus drei Düsen im Zentralkanal der Sonde durchgeführt (700 bar, 110 l/min, injizierte Wassermenge ca. 6000 l).

Während der Perforation der untersten Strecke im Tiefenbereich 90-75 m stieg das injizierte Wasser sowohl im Ringraum der Sondenbohrung als auch innerhalb der Sonde auf, was zumindest auf eine grosse Porosität des Ringraum-Schüttgutes hinwies. Eine halbe Stunde nach Unterbruch der Wasserzufuhr entwichen grössere Gasmengen (Konz. 30-35 Vol%) unter lebhafter Geräusentwicklung aus dem Ringraum des Bohrloches. Der gesamte Fassungsgraben füllte sich schnell mit Erdgas, so dass die Perforationsarbeiten aus Sicherheitsgründen abgebrochen werden mussten. Der Gasantrieb nahm in der Folge während der nächsten Stunden und Tage allmählich ab, pendelte sich aber auf einer etwas höheren Menge ein als vor der Sondenperforation.

Überraschende Ergebnisse lieferten die Wasserspiegelmessungen in der im Intervall 90-75 m perforierten Erdsonde: Der Pegel sank nach Beendigung der Wasserzufuhr in ca. einem Tag von der Oberfläche auf Seenniveau ab (ca. 28 m unter Schachtsohle). Nach stetiger, aber kontinuierlich verzögerter Absenkrate lag das Wasserniveau in der Sonde im November 1989, ca. 8 Monate nach Beginn der Absenkung, nahezu 61 m unter dem Messpunkt, d.h. 33.2 m unter Seenniveau. Die zuletzt gemessene Absenkrate lag bei ca. 1.2 cm/Tag, ein Beharrungszustand war noch nicht erreicht. Dieses Ergebnis ist umso beeindruckender, als sich der Grundwasserspiegel im 20 m entfernten Piezometer der Kernbohrung nach wie vor leicht über dem Seenniveau, d.h. etwa 35 m höher befand.

Aus nicht feststellbarer Tiefe innerhalb der Sonde ist zudem ein deutlich hörbares Rauschen zu vernehmen. Dabei herrscht jedoch Unsicherheit darüber, ob es sich um im Wasser aufsteigende Gasblasen oder um turbulentes Fliessen von Wasser handelt.

Während mehreren, teils mehrmonatigen Testserien wurde die Konzentration des aufsteigenden Gases mittels mehrerer Messfühler und einer Registriereinheit laufend gemessen und mit meteorologischen Zustandsgrössen in Beziehung zu setzen versucht. Sämtliche Gasmessungen haben immer wieder gezeigt, dass das Gas nicht kontinuierlich aufsteigt, sondern häufig zyklisch, in Intervallen von Minuten bis Stunden in seiner Konzentration ansteigt und wieder abflaut. Signifikant ist die Abhängigkeit vom Luftdruck. So wurden höhere Konzentrationen in der Regel bei sinkendem Luftdruck, fallende Konzentrationen bei steigendem Luftdruck gemessen. Starke Gasschübe wurden insbesondere durch Wärmegewitter im Sommer verursacht. Vermutet, jedoch nicht nachgewiesen ist eine Abhängigkeit des Gasanstiegs von der Windstärke und -richtung. Keines der insgesamt 11, während der Gas-Messperiode in der Schweiz und den umliegenden Ländern registrierten Erdbeben mit Magnituden > 2.5 bis max. 3.8 (nach oben offene Richterskala) zeigten eine erkennbare Wirkung auf den Gasnachschub.

Der Gasanstieg im Bereich des Hauses 32 erfolgt, wie bereits bei den Bohrlöchern der Bauetappe II, unter geringem, nur mit sensiblen Instrumenten messbarem Druck (Auftriebsdruck). Die im Erdsondenbereich ausströmende Menge reinen Gases beträgt 100 bis 300 Liter pro Stunde. Das Erdgas tritt mit einer Konzentration im Bereich von 10-30 Vol% aus, wird somit bereits im Untergrund mit Luft vermischt. Die Gastemperatur beim Austritt beträgt ca. 11°C.

Durch ein dem Gasanstieg und der zukünftigen Gassicherheit angepasstes Fassungs- und Ableitungssystem wurde das Erdgas gefasst, zusätzlich mit Luft vermischt und mit einer verbleibenden Konzentration von zumeist weniger als 1 Vol% über Dach abgeleitet. Das Gas strömt innerhalb einer Rohrleitung mit \varnothing 100 mm durch den ausgebauten und begehbaren Fassungsgraben nach aussen. Zwei Messfühler überwachen die Gaskonzentration und schalten ein Gebläse ein, falls 3 Vol% (70% UEG) überschritten werden. Am 6. November 1989, also knapp zwei Jahre nach dem Explosionsunfall, wurde das Benutzungsverbot für die Häuser aufgehoben.

4. Gasanalytik und Gasherkunft

Vom Erdgas aus dem Bürgquartier in Spiez liegt eine grössere Zahl von Vollanalysen vor. Eine Auswahl davon ist in der Tabelle 1 zusammengestellt, auch die bei der Analyse involvierten Labors sind daraus zu ersehen.

Die Gasproben enthielten entsprechend den Aufstiegsbedingungen im Gipskarst und den gegebenen, oft schwierigen Entnahmebedingungen jeweils einen unterschiedlichen Anteil an Luft, der zwischen mehr als 90% und ca. 30% schwankte. Am höchsten war die Summe der Kohlenwasserstoffe bei den direkt unter der Kellerbodenplatte im Ringraum der Erdwärmesonde des Hauses 32 gewonnenen und in der Pulverfabrik Wimmis gaschromatographisch untersuchten Gasproben mit 66-69%, nur 3-4% dagegen bei den Proben aus der Ringkanalisation der Schadenhäuser. Die Analysen der Tabelle 1 sind deshalb auf luftfreies Gas umgerechnet und auf eine Kommastelle auf- und abgerundet.

Im Bericht der GEMAG AG, Alberswil, zur Probe 4 vom 9.3.1988 wird das Gas-Erdölgeochemisch als ein Nassgas charakterisiert, weil bezüglich Methan die Summe der höheren KW-Gase $\geq 5\%$ beträgt. Die Gaszusammensetzung deutet, wie die in den Bohrungen Entlebuch, Linden und Pfaffnau erbohrten Gase, auf Kondensat-ähnliche Verhältnisse.

Tabelle 1: Zusammenstellung von Gasanalysen aus dem Gebiet Bürg

Probe Kohlenwasserstoffe	1	2	3	4
Methan	92.2%	96.7%	67.1%	91.6%
Ethan	4.3%	2.0%	8.4%	5.5%
Propan	1.7%	0.6%	8.3%	1.6%
iso-Butan	0.4%	0.3%	3.8%	0.9%
n-Butan	0.5%	-	4.5%	
iso-Pentan	0.2%	-	4.1%	0.4%
n-Pentan	0.1%	-	1.9%	
Höhere Kohlenwasserstoffe	0.2%	-	>1.7%	-
CO ₂	0.4%	0.4%	-	<0.1%
H ₂ S	-	-	-	<0.0002%

Probe

1 Probe 1 Ecke Schadenhaus 10.11.87, Gaschromatographisches Labor des SVGW

2 Gasprobe aus dem Thunersee, Februar 1988, Frau T. RIESEN, chem. Analyse GEMAG

3 Gasprobe Bereich Erdwärmesonde Haus 32; Probe 2, 29.9.88, GC/MS-Spektroskopie Pulverfabrik Wimmis,

4 Gasprobe Sickerleitung Häuser 31-33, Bürg; 9.3.1988, GEMAG AG und BGR Hannover/BRD

Von zwei Proben liegen auch Isotopen-Untersuchungen vor, welche zum einen von der Société Nationale Elf Aquitaine, Pau, und zum andern von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover ausgeführt worden sind.

Aus dem Rapport EPIS/EXP.Lab.Pau No 88/80RP, Autor G. LACRAMPE «*Analyses isotopiques d'échantillons de gaz de surface de la région de Spiez*» entnehmen wir folgende Schlüsse:

«L'étude des taux isotopiques du carbone du méthane et de l'éthane de gaz faisant éruption à la surface dans la région de Spiez (Suisse), suggère une origine catagénétique. Il est difficile d'attribuer une origine certaine à ce gaz, cependant, compte tenu du contexte géologique, une origine jurassique ou oligocène dans un état catagénétique avancé (zone à gaz) semble la plus probable.»

Im GEMAG-Bericht vom 28.4.1988 zur Gasanalyse der BGR Hannover ist folgendes Ergebnis festgehalten:

«Die Analyse der stabilen Kohlenstoff- und Wasserstoff-Isotopen ergab für $\delta^{13}\text{C}_{\text{Methan}} - 39.2\text{‰}$, für $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} - 20.6\text{‰}$ (alle PDB-Standard) und für $\delta\text{D}_{\text{Methan}} - 15.6\text{‰}$ (SMOW). Diese Werte charakterisieren ein thermales Gas, wobei eine Beimischung mit biogenen Gasen als gering zu betrachten ist. Eine Entstehung der Gase aus der bakteriellen Reduktion von Kohlendioxid darf ausgeschlossen werden. Die Gase können auf marines Material (Kerogen Typ II/III) zurückgeführt werden. Das Vitrinitreflexions-Vermögen berechnet aus den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten ergibt je nach Kohlenwasserstoff-Komponente R_{mO} -Werte von 1.37, 2.11 und 1.82%. Dadurch wird bestätigt, dass es sich bei den austretenden Gasen um Nassgase und nicht mehr um Erdöl-gase handelt.»

Zur Frage der Herkunft steht im GEMAG-Bericht:

«Die Identifizierung des Erdgas-Muttergesteins kann mit den vorhandenen und uns zur Verfügung stehenden Daten nicht befriedigend vorgenommen werden. Mit grosser Wahrscheinlichkeit ist eine Herkunft der Gase aus dem Paläozoikum auszuschliessen, da die Gase zu nass sind und eine marine Signatur aufweisen. So dürften sich die potentiellen Muttergesteine auf mesozoische und tertiäre marine Ablagerungen beschränken. Solche sind sowohl im Autochthon, in den Helvetischen Decken, in der subalpinen Molasse und im Ultrahelvetikum in ausreichender Menge vorhanden.»

Obwohl das Gas durch eine mächtige Anhydritformation der Trias aufsteigt, führt dieses nur in Ausnahmefällen Schwefelwasserstoff, weshalb eine Generierung in der Trias wohl auszuschliessen ist. Die höchsten gemessenen H_2S -Werte liegen bei 20 ppm (Bohrung ES 9). In der Regel trat Schwefelwasserstoff nur im Bereich des Felsgrundwasserspiegels auf und nie in Bohrungen, die viel Erdgas führten. Es wird deshalb vermutet, dass es sich um eine subrezente Neubildung im Oberflächenbereich des Felsgrundwassers handelt. Aehnliche Verhältnisse konnten seinerzeit beim Bau des Briener Rothorn-Stollens für die Transitgaspipeline bewiesen werden.

5. Folgerungen über Gasspeicherung und Gasaufstieg

Im Verteilungsmuster der Gasnachweise in Bohrungen und Oberflächenmessungen (Figur 2) zeichnen sich Zonen in West-Ost-Richtung ab. Dieselbe bevorzugte Streichrichtung besitzen auch Klüfte und Störungen sowie die Schichtflächen im Steinbruch. Somit kann die naheliegende Folgerung gezogen werden, dass Gas aus der Tiefe bevor-

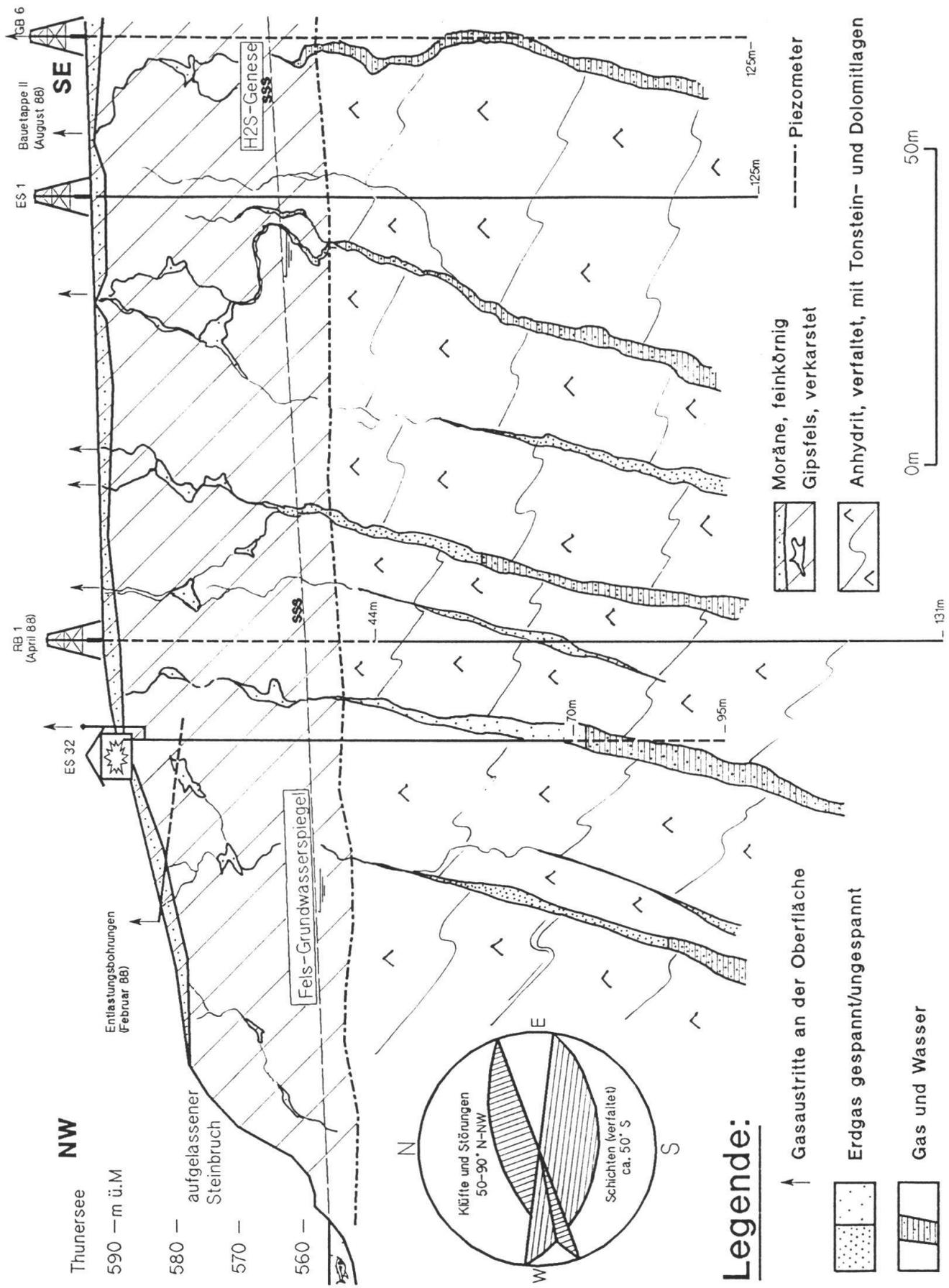


Fig. 3 Geologisches Profil mit hypothetischer Darstellung der Gasspeicherung und -Aufstiegswege

zugt entlang dieser Trennflächen aufsteigt. Dabei mögen die steil nach N bis NNW einfallenden Störungsflächen idealere Fliesswege darstellen als die oft disharmonisch und kleinmassstäblich verfalteten Schichtflächen. Gemäss der, bei den Bohrungen in der Bauetappe II festgestellten, Wasserschwinden und -Zuflussstellen im Anhydrit werden offene Störungssysteme vermutet, welche möglicherweise örtlich zu Gips umgewandelt, verkarstet und zu steil verlaufenden Schloten und Taschen erweitert wurden.

Nach den Erfahrungen in den Bohrungen der Bauetappe II, wo der Erdgasaufstieg an die Abwesenheit des Grundwassers gekoppelt war, sowie basierend auf den Beobachtungen in der Erdsonde des Explosionsortes, wo hydrostatisch ein Unterdruck herrscht und Erdgas seit mehr als zwei Jahren unvermindert aufströmt, postulieren wir zwei verschiedene Mechanismen der Gasspeicherung und des Gastransportes. Figur 3 zeigt eine modellhafte Darstellung der Speicher- und Fliesssysteme, wobei die Öffnungsweite der Störungen, Fliesswege und Gastaschen aus Gründen der besseren Anschauung übertrieben dargestellt wurden.

5.1 Aufstieg von im Wasser gelöster Gase durch Druckentlastung

Wie bereits erwähnt fand in den Bohrungen der Bauetappe II, wenn überhaupt, eine stärkere Entgasung nur aus den trockenen Bohrlöchern statt. Zwischen Bohrloch und damit kommunizierenden, offenen Kluftsystemen und kapillaren Fliesswegen (ev. spröde deformierte Dolomitlagen) entstand ein Druckgefälle von 10 bar und mehr. Dabei wurden die unter Normaldruck vorwiegend im Wasser gelösten Kohlenwasserstoffgase unter Expansion aus dem Wasser ausgetrieben und strömten durch das drainierende Bohrloch nach oben. Mit dem teilweise über mehrere Tage andauernden Wiederanstieg des Grundwasserspiegels baute sich das künstlich verursachte Potential ab, wodurch auch die Entgasung zum Erliegen kam. Eine schwache Entgasung durch Phasenüberang findet nach wie vor unter den normalen, meteorologisch bedingten Druckschwankungen statt. Das flüchtige Gas strömt durch die durchlässige Gipszone, erfährt eine diffuse Verteilung und gelangt, zunehmend vermischt mit Bodenluft, an die Oberfläche.

5.2 Aufstieg gespannter Gase aus Hohlräumen im Gebirge

Ein anderes Speicher- und Aufstiegs-Szenario legen die hydraulischen Anomalien sowie der langanhaltende Gasaufstieg bei der Erdsonde 32, im Explosionsbereich, nahe (Figur 3):

- Aufgerissene Störungszonen wirken als Erdgas-Aufstiegswege
- Dichter Anhydritfels verhindert weitgehend ein Abfliessen des Erdgases zur Oberfläche
- Der Druckaufbau durch die Gasakkumulation verdrängt das Spaltenwasser bzw. presst dieses in das nahezu dichte Gebirge ein. Es besteht ein Gleichgewicht zwischen Gas- und Wasserdruck, Gaszufuhr und -abfluss. Ein Gasdruck von mehr als 3 bar ist wahrscheinlich.
- Durch ein Anbohren der Störung(en) und der damit kommunizierenden Strukturen beginnt der Druckabbau im «Reservoir». Der Wasserspiegel im System steigt trotz des herrschenden hydraulischen Druckgefälles zwischen Gebirge und offener Störung, bedingt durch die schlechte Gebirgsdurchlässigkeit, nur sehr langsam an. Im System herrscht demnach ein «unterhydrostatischer Druck», zur Zeit der letzten Messung im November 1989 von mindestens 33 m Wassersäule.

Der lebhaft Gasaufstrom nach der Sondenperforation kann damit erklärt werden, dass es sich um durch das vom eingepressten Wasser verdrängte Gas handelte, welches im Ringraum nach oben strömte.

Die meisten Beobachtungen können nur durch ein Transientsystem erklärt werden, wobei der frühere «quasi Gleichgewichtszustand» durch folgende Faktoren gestört wurde bzw. noch wird:

- Abteufen der Bohrungen (Druckspülungen, Entgasungen)
- Einpressen von Wasser durch Sondenperforation
- Gasentlastung nach oben durch ständigen, heute (im Bereich der Erdsonde) kontrollierten Gasaufstrom.

Für eine Bilanzierung des Gashaushaltes genügt das vorhandene Datenmaterial bei weitem nicht. Ist unsere Vorstellung richtig, müsste der Wasserspiegel im Sondenrohr erneut ansteigen, es sei denn, der Gasnachschub aus der Tiefe in das System übertreffe den Gasabfluss an die Oberfläche.

Verdankungen

Die Autoren danken sämtlichen Personen und Amtsstellen, welche die Untersuchungen ermöglicht haben und durch ihre aktive Mitarbeit zum Gelingen der Sanierungen beigetragen haben. Insbesondere zu erwähnen sind die Baugesellschaft Bürg-See, Spiez, Gemeindebetriebe und Seepolizei Spiez sowie das Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern.

Unser Mitautor, Dr. U.P. BÜCHI, ist während den Arbeiten zur vorliegenden Publikation unerwartet verstorben. Während den Untersuchungen war er als Fachberater für das kant. Wasser- und Energiewirtschaftsamt tätig. Seine Mitarbeit bedeutete einen grossen Gewinn für alle Belange des Projektes; wir möchten ihm an dieser Stelle dafür danken.

Buchbesprechung

Italienische Vulkangebiete V (1989)

von HANS PICHLER

X + 271 S., 56 Abb., 7 Tab. und 11 Tafeln; DM 54.—
Gebr. Borntraeger, Berlin - Stuttgart

Dieser Band 83 der «Sammlung Geologischer Führer» setzt die 1970 begonnene Reihe in bewährter Weise fort und schliesst sie ab. Die detaillierte Beschreibung der eher selten besuchten Vulkanite: Mte. Vulture, Äolische Inseln II (Salina, Filicudi, Alicudi, Panarea), Mti. Iblei, Capo Pássero, Ústica, Pantelleria und Linosa wird vom erfahrenen Spezialisten präsentiert. Dabei werden auch seltene Gesteinstypen wie z.B. «Hauynit-Laven» des Mte. Vulture oder «Pantellerite» der gleichnamigen Insel in der Strasse von Sizilien vorgestellt.

Die Einteilung erfolgt nach Provinzen: Lukanisch-Apulische, Äolische (mit dem fast unzugänglichen Inselchen Alicudi, Sizilische mit dem ebenso schwierig zu erreichenden Linosa, welches 165 km vor Afrika, 167 km vor Sizilien und 30 km nördlich von Lampedusa liegt.

Aufgrund des Führers lohnt es sich, diese wenig bekannten Perlen im Mittelmeer zu besuchen.

GABRIEL WIENER