Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 113 (1995)

Heft: 24

Artikel: Erdgasindikationen in der Schweiz: Grundlagen zur Charakterisierung des Gasgefahrenpotentials im Untergrund

Autor: Greber, Emil / Leu, Werner / Wyss, Roland

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-78732

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Schlussbemerkungen

Die Planung beziehungsweise Sicherung von Schulwegen ist eine anspruchsvolle Aufgabe für alle, die aktiv daran mitwirken wollen. Dies gilt nicht nur für Eltern, Lehrer und andere interessierte Bürger, sondern in starkem Masse auch für die Fachleute in den Gemeinden, die Polizei und die Verkehrsingenieure. Die Massnahmenplanung zu Verkehrssicherheitsfragen auf Schulwegen erfordert eine interdisziplinäre Denkweise. Verschiedene Interessen - oftmals gegensätzliche - sind in die Problemlösung zu integrieren und zu einer für alle Beteiligten zufriedenstellenden Lösung zu verbinden. Die Sicherheitsansprüche der Kinder haben dabei immer erste Priorität. Eine kindergerechte Gestaltung zur optimalen Sicherung der Schulwege muss stets im Vordergrund stehen.

Adresse des Verfassers:
Roland Haldemann, dipl. Bauing. ETH, Verkehrsingenieur SVI, Weber Angehrn Meyer, Planer und Ingenieure, Florastrasse 2, 4502 Solothurn.

Emil Greber, Werner Leu und Roland Wyss, Winterthur

Erdgasindikationen in der Schweiz

Grundlagen zur Charakterisierung des Gasgefahrenpotentials im Untergrund

Mit hartnäckiger Regelmässigkeit ereignen sich bei Bohrungen oder Untertagebauten durch unerwartete Erdgasaustritte hervorgerufene Unfälle. Ihr Gefahrenpotential lässt sich durch sorgfältige Vorabklärungen, vorsorgliche Gasmessungen und eine erdgasgeologische Charakterisierung angetroffener Gasvorkommen und daraus abgeleiteten technischen Massnahmen auf ein Minimum reduzieren.

▪

Spiez BE, 8. November 1987:
Im Keller eines neu erstellten Reihen-Einfamilienhauses betätigt ein Kind einen Lichtschalter und löst dadurch eine Gasexplosion aus. Das Kind wird durch die Druckwelle verletzt, das ganze Haus stark beschädigt. Das Haus war direkt über einer Erdwärmesonde erstellt worden. Entlang der Ringraumverfüllung konnte das aus der Tiefe stammende Erdgas aufsteigen. Durch eine bei nachträglichen Arbeiten undicht gewordene Fundamentplatte erreichte das Gas das Untergeschoss und mischte sich mit der Luft zu einem explosiven Gemisch. Gasaustritte waren in der Gegend von Spiez keineswegs unbekannt. Bereits beim Bohren der einzelnen Erdsondenlöcher kam es zu unfreiwilligen Gaszündungen, teilweise musste das Gas sogar abgefackelt werden [1]. Trotz diesen klaren Hinweisen wurden die sicherheitstechnischen Konsequenzen nicht gezogen. Heute wird das immer noch aufsteigende Gas durch eine permanente Einrichtung abgeleitet.

▪

Bannwil BE, 9. Februar 1989:
Während den Vortriebsarbeiten im Langeten-Hochwasserentlastungsstollen bei Langenthal (BE) ereignet sich eine folgenschwere Gasexplosion: Ein Arbeiter muss das Leben lassen, zehn seiner Kollegen erleiden zum Teil schwere Verletzungen. Das Unglück erfolgte bei einer Vortriebslänge von 3800 m, ungefähr 80 m unter der Erdoberfläche. Die Ursache der Explosion lag in der Zündung eines Methan-Luftgemisches. Das Methangas wurde durch den Tunnelvortrieb aus sandsteinreichen Lagen der Unteren Süsswassermolasse freigesetzt. Keiner der Beteiligten hatte mit derartigen Gasausbrüchen gerechnet. Durch das Explosionsunglück entstanden Mehrkosten im Umfang von 9,7 Millionen Franken. In einem aufwendigen Gerichtsverfahren musste anschliessend über die Verletzung der Sorgfaltspflicht verhandelt werden.

Solche Unfälle im Untertagebau durch Erdgasexplosionen, bei denen Menschenleben akut gefährdet und massive Sachschäden angerichtet werden können, mögen Einzelfälle darstellen. Doch wären sie bei gebührend vorsichtigem Vorgehen und richtiger Einschätzung der Situation gänzlich zu vermeiden.

Ein im Untertage- und Tiefbau tätiger Geologe ist normalerweise mit den festen und flüssigen Elementen im Untergrund bestens vertraut. Gas hingegen ist für ihn ein eher ungewohntes Medium. Es ist nicht sichtbar, häufig geruchlos und damit nicht richtig «fassbar». Auch wird die Schweiz als wenig «erdgashöffig» eingeschätzt. Dank einer umfassenden Studie sind jedoch bis zum heutigen Zeitpunkt in der Schweiz von über 150 Schweizer Lokalitäten Gasindikationen bekannt (Bild 1). Bemerkenswert ist, dass die Gasaustritte - wenn auch nicht gleichmässig - über das ganze Land verteilt sind und in allen tektonischen Einheiten auftreten. Eine Konzentration von Gasaustritten ist entlang des Alpennordrandes und im Bereich des Molassebeckens (Mittelland) zu beobachten, also in Gebie-

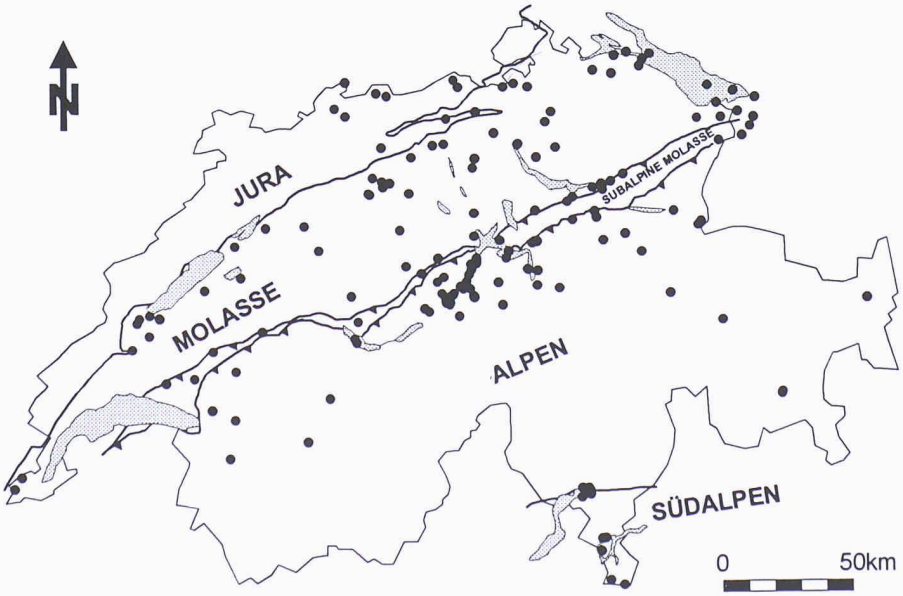

Bild 1.
In der Schweiz sind Gasindikationen von über 150 Lokalitäten, verteilt über alle tektonischen Einheiten, bekannt

ten, wo auch viele Stollen- und Tunnelbauten liegen. Manche dieser Gasaustritte wurden in oberflächennahen Bereichen nachgewiesen, sei es mittels untiefer Bohrungen oder anhand von in Seen aufsteigenden Gasblasen. Auch diese Austritte sind häufig von Wichtigkeit, da es sich dabei um Anzeichen grösserer Gasvorkommen im tieferen Untergrund handeln kann. In Bild 2 wurden sämtliche bekannten Gasaustritte in der Schweiz nach der Art ihres Auftretens dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass etwa die Hälfte der Austritte in untiefen Bereichen, also in Seen, in meist quartären Lockergesteinen und in untiefen Bohrungen, nachgewiesen wurden. Die restlichen Gasaustritte wurden in tieferen Bohrungen, Tunnels oder Stollen festgestellt.

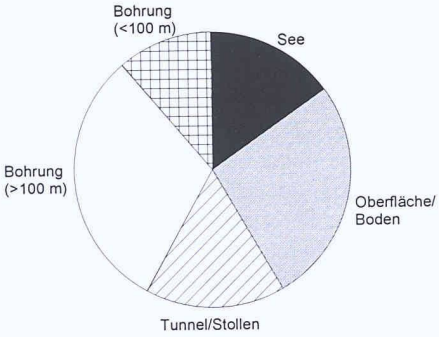

Bild 2.
Aufteilung der in der Schweiz bekannten Gasaustritte nach der Art ihres Auftretens

Herkunft der Gase und ihre Unterscheidung

Bei der Abklärung des Gefahrenpotentials, hervorgerufen durch austretende Gase, nimmt die Abklärung der Gasprovenienz eine zentrale Stellung ein. Solche Informationen ermöglichen eine Charakterisierung des betreffenden Gasvorkommens punkto Verbreitung, zu erwartende Gasmengen und -drucke.

Kohlenwasserstoff-Gase

Grössere, vorwiegend aus Methan (CH_4) bestehende Gasvorkommen, sind in der Regel bakteriellen und/oder thermokatalytischen Ursprungs. Mit Hilfe ihrer Gas- und Isotopenzusammensetzung lassen sie sich unterscheiden und bestimmten Evolutions/ Reifestufen zuordnen (Tabelle 1 und Bild 3).

Bakterielle Gase

Bakterielle Gase, welche zu einem grossen Teil aus Methan bestehen, werden bei der Zersetzung von organischem Material durch anaerobe Mikroorganismen freigesetzt. Ihre Produktion wird durch mehrere kritische Faktoren kontrolliert [6]:

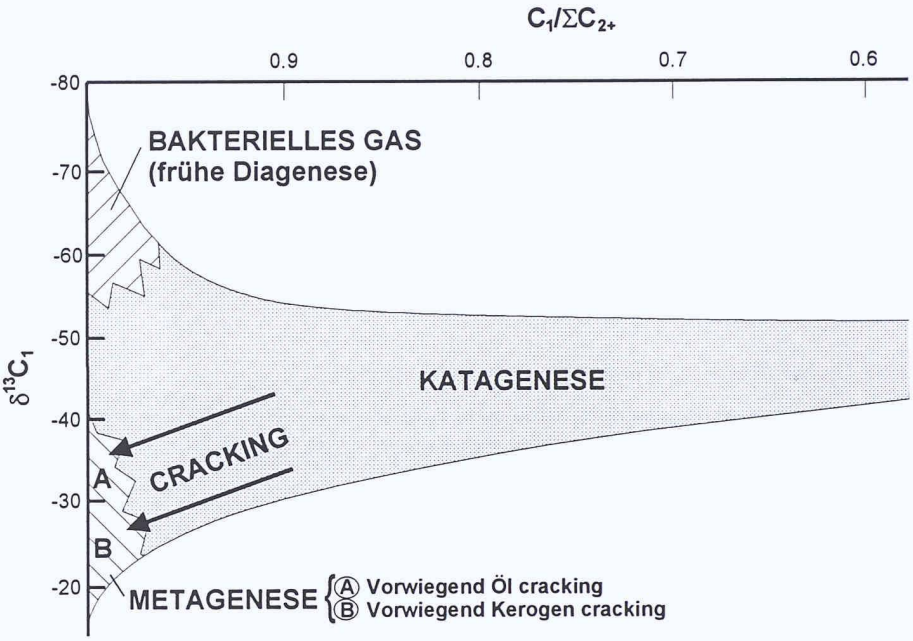

Bild 3.
Relative Häufigkeit und isotopische Zusammensetzung von Methan (C_1 = Methan; ΣC_{2+} = Summe der höheren Kohlenwasserstoffe) bei unterschiedlichen Evolutionsstufen. Die Abfolge Diagenese-Katagenese-Metagenese widerspiegelt generell eine zunehmende Gesteinsüberdeckung und damit verbunden höhere Temperaturen

- Anoxisches Milieu - Methanproduzierende Mikroorganismen tolerieren keinen Sauerstoff.
- Sulfatarmes Milieu - Während die Methan-Produktion in sulfatarmen Milieus wie Brack- oder Süsswasser kurz nach der Sauerstoffaufzehrung einsetzt, muss in marinem Milieu zuerst das im Wasser gelöste Sulfat reduziert werden.
- Temperatur - Die Bildungstemperatur darf 75°C nicht überschreiten.
- Vorhandensein von organischem Material - Im Sediment muss eine Mindestmenge an organischem Material vorhanden sein.
- Porenraum - Zum Funktionieren brauchen die Bakterien genügend Porenraum, was geringe Kompaktion der abgelagerten Gesteine voraussetzt.

Insbesondere aufgrund der Temperatur und der Kompaktion entstehen bakterielle Gase ausschliesslich bei untiefen Diagenese-Bedingungen, also nur bei geringer Gesteinsüberdeckung (Tabelle 1). In der Schweiz sind solche Gase häufig (Bild 4), was insbesondere auf die starke Überprägung der Morphologie durch die eiszeitlichen Gletscher zurückzuführen ist. Die von den Gletschern tief in den Felsuntergrund eingeschnittenen Täler füllten sich nach und nach mit eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Lockergesteinen, einige davon reich an organischem Material. Neben Gasvorkommen in bis zu 1000 m mächtigen quartären Talfüllungen, wie beispielsweise im St. Galler Rheintal oder in der Magadino-Ebene, sind Gasblasen bakteriellen Ursprungs vor allem auch in Seen, wie beispielsweise im oberen Zürichsee, Lauerzersee, Ägerisee oder Lago Maggiore (siehe auch [7]), oder im Bereich von Deponien häufig anzutreffen.

Thermokatalytische Gase

Im Gegensatz zu bakteriellen Gasen entstehen thermokatalytische Gase nicht

Wichtigste Evolutionsstufen		$C_1/\Sigma C_{2+}$	$\delta^{13}C_1$ [‰ vs. PDB]	δD_{C1} [‰ vs. SMOW]
Diagenese	Trockengas	≥ 0,97	−90 bis −55	< −180
Katagenese	Mit Öl assoziiertes Gas	< 0,98	−55 bis −30	< −140
	Nassgas			
Metagenese	Trockengas	≥ 0,97	−40 bis −20	−150 bis −130

Tabelle 1.
Wichtigste Charakteristika von Kohlenwasserstoffgasen während fortschreitender Kerogenentwicklung (aus [2], nach [3], [4], [5] und [6]).
C_1 = Methan, C_{2+} = Höhere Kohlenwasserstoffe (wie beispielsweise Ethan oder Propan)

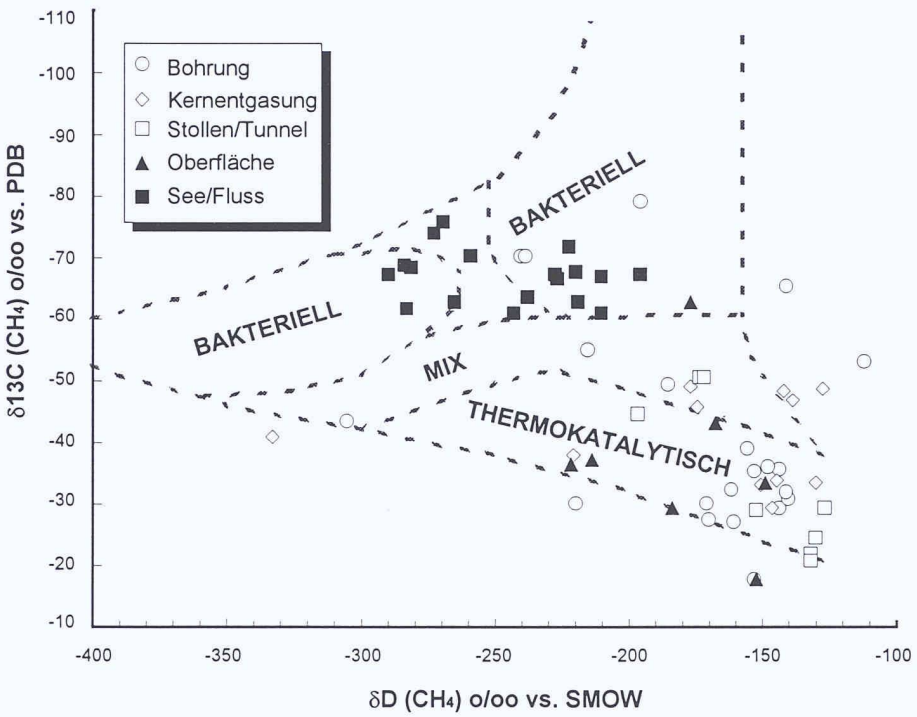

Bild 4.
Aufteilung der in der Schweiz angetroffenen Erdgase in bakterielle und thermokatalytische Gase mit Hilfe der Kohlenstoff- und Wasserstoff-Isotope des Methans

durch mikrobiologische, sondern durch chemische Prozesse: Bei erhöhten Temperatur- und Druckbedingungen, welche meist direkt von der Sedimentüberlast abhängen, wird Kerogen (die unlöslichen organischen Bestandteile in Sedimentgesteinen und Endprodukte des Diagenese-Prozesses) sowie neu gebildetes Öl thermisch zersetzt.

Beim Katagenese-Stadium (Tabelle 1) werden Erdöl und Nassgase, welche aus Methan und höheren Kohlenwasserstoffen bestehen, produziert. Bei fortschreitenden katagenetischen Bedingungen gewinnt das sogenannte «cracking» an Bedeutung: Zunehmend werden auch C-C-Bindungen komplizierterer Verbindungen nicht nur des noch übrig gebliebenen Kerogens, sondern auch des neu entstandenen Öls aufgebrochen. Dabei nimmt die Produktion flüssiger Kohlenwasserstoffe allmählich ab, jene von Gas jedoch markant zu [2].

Bei fortschreitender Reife, welche im wesentlichen eine Funktion der Temperatur darstellt, kann das metagenetische Stadium (Tabelle 1) erreicht werden. Dabei werden noch die letzten Öl- und Kerogen-Reste «gecrackt», wobei methanreiche, an höheren Kohlenwasserstoffen arme Gase produziert werden. Metagenetische Trockengase sind insbesondere auch beim Vorliegen von Kerogen aus terrestrischem Milieu (zu Kohle umgewandelte Pflanzen- und Holzreste) von Bedeutung, da dieser Kerogentyp in der Katagenese im Vergleich zu marinem organischem Material deutlich weniger Öl, dafür in diesem späteren Stadium der Metagenese um so mehr Gas liefert.

Sedimente, welche dank ihrer heutigen Tiefenlage, ihrer Maturität und ihrem Gehalt an organischen Bestandteilen als gute «Muttergesteine» bezeichnet werden können, finden sich in der Schweiz vor allem im tieferen Untergrund des Mittellandes (Molassebecken) und des nördlichen Alpenraumes. Dass thermokatalytische Gase heute nahe oder sogar an der Erdoberfläche nachgewiesen werden können (Bild 4), ist dadurch zu erklären, dass die Gase ihre Muttergesteine verlassen und entlang von Kluft- und Bruchstrukturen oder durchlässigen Gesteinen aufsteigen. Beim Aufstieg oder der «Migration» der Gase können sekundäre Veränderungen der Gaszusammensetzung stattfinden. So wird zum Beispiel die Verminderung oder gar der Verlust an höheren Kohlenwasserstoffen bei migrierten thermokatalytischen Gasen festgestellt [8]. Weit verbreiteter ist jedoch das Phänomen, dass migriertes CH_4 (thermokatalytischen oder bakteriellen Ursprungs) beim Erreichen oxidierender Redoxzonen bakteriell oxidiert und teilweise zu CO_2 umgewandelt wird. Dabei reichern sich die schwereren Kohlenstoff- und Wasserstoff-Isotope im zurückbleibenden CH_4 an [9]. Häufig ist natürlich auch zu beobachten, wie sich aus der Tiefe aufsteigendes thermokatalytisches Gas nahe der Erdoberfläche mit jungem bakteriellem Gas vermischt.

Auf die abiogene Bildung von Kohlenwasserstoffen wird an dieser Stelle nicht eingegangen, da diese extreme und damit selten erfüllte Bildungsbedingungen voraussetzt.

Nicht-Kohlenwasserstoff-Naturgase

Gleichzeitig mit der oben beschriebenen Produktion von Kohlenwasserstoffen entstehen bei allen Evolutionsstufen (Diagenese bis Metagenese) auch Nicht-Kohlenwasserstoff-Gase. All diese Gase müssen aber nicht unbedingt im Zusammenhang mit der Produktion von Kohlenwasserstoffen stehen, sondern können auch abiogener Herkunft sein. Auch diese Gase sind bei der Abklärung von Gasvorkommen wichtig, da sie häufig Hinweise auf Herkunft oder sekundäre Prozesse wie Mischungen oder Migrationseffekte liefern.

Stickstoff (N_2)

Stickstoff ist bei Diagenese-Bedingungen meist auf Luftüberbleibsel (N_2-Anteil von Luft: 78,09 Vol.%) im Porenwasser der Sedimente bzw. der Lockergesteine zurückzuführen. Dies ist häufig an atmosphärischen Stickstoff/Argon-Verhältnissen erkennbar. Auch die Oxidation von diagenetisch gebildetem Ammonium kann in Frage kommen [2]. Zunehmende Mengen an N_2 werden aber auch bei fortschreitender Metagenese von Kohlen freigesetzt [2].

Kohlendioxid (CO_2)

Kohlendioxid wird sowohl durch bakterielle Aktivität in geringer Tiefe (Zersetzung von organischem Material, Respiration in der Wurzelzone) als auch bei der thermokatalytischen Zersetzung von Kerogen in grösserer Tiefe freigesetzt. Bei Übertritt in ein oxidierenderes Milieu kann auch CH_4 zu CO_2 oxidiert werden. In Magmakammern gehört CO_2 zu den häufigsten flüchtigen Phasen. Aber auch in vulkanisch nicht mehr aktiven Gebieten kann solches CO_2 entlang von Bruchzonen aufsteigen. In der Schweiz ist dies etwa am Ostrand des Oberrheingrabens im Raum Basel zu beobachten. In der Bohrung Riehen-1 wurde Thermalwasser zusammen mit CO_2 magmatischen Ursprungs angetroffen [10].

Eine weitere mögliche CO_2-Herkunft liegt in der Thermometamorphose von Karbonaten oder anderen Gesteinen. Als Schweizer Beispiele mögen die bedeutenden CO_2-Austritte in St. Moritz und im Raum Scuol-Tarasp, beide im Zusammenhang mit Thermalwässern, erwähnt werden. An beiden Orten steigt das CO_2 entlang der Bruchstrukturen der Engadiner Linie auf. Als CO_2-Ursprung wird die thermische Zersetzung von marinen Karbonaten, vermutlich in Verbindung mit Gesteinen einer Ophiolit-Sequenz, vermutet [11].

Schwefelwasserstoff (H_2S)

In Oberflächennähe kann Schwefelwasserstoff nur selten nachgewiesen werden, da sich der durch sulfatreduzierende Bakterien produzierte H_2S durch atmosphärische Beeinflussung relativ rasch entweder mit Sulfat zu freiem Schwefel, mit Eisen zu Sulfiden oder mit organischem Material verbindet. Ausnahmen bilden H_2S-Auftreten in Sumpfgasen zusammen mit CH_4 und CO_2 oder in ausgesprochen sauerstoffarmen Grundwässern.

H_2S wird aber auch bei erhöhten Temperaturbedingungen durch «cracking» von Kerogen und Schwefelverbindungen im Rohöl gebildet. Ferner wird H_2S bei Reaktionen von freiem Schwefel oder Sulfat mit Kohlenwasserstoffen im Metagenese-Stadium produziert.

In der Schweiz werden erhöhte H_2S-Werte oft in Zusammenhang mit evaporitischen Sedimenten (Anhydrit $CaSO_4$, Gips $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$) beobachtet, zum Beispiel bei den Thermalwässern von Baden oder Schinznach. In kristallinen Gebieten, wie beispielsweise im Aar/Gotthard-Massiv oder in kristallinem Untergrund des Molassebeckens, wird auch H_2S aus der Oxidation von Metallsulfiden beobachtet.

Die Gefährdung des Menschen durch die Gase CH_4, H_2S und CO_2 wird im Kasten kurz umrissen.

Charakterisierung des Gefahrenpotentials von austretenden Gasen mit Hilfe erdgasgeologischer Methoden

In der Schweiz wurden bis heute über 150 Gasindikationen festgestellt (Bild 1), sei dies oberirdisch in Seen oder an der festen Oberfläche, sei dies unterirdisch in Tunnel, Stollen oder Bohrungen [12] und [13]. Fast die Hälfte dieser Austritte fällt in den Bereich des Schweizerischen Molassebeckens: 33% in die mehr oder weniger flachliegende Mittelländische Molasse und 14% in die Subalpine Molasse des Voralpengebietes. Die mit 41% häufigsten Gasindikationen wurden im alpinen Raum beobachtet. Auf die tektonischen Einheiten des Jura und der Südalpen entfallen lediglich 7% beziehungsweise 5%. Dieses Verteilungsmuster ist jedoch teilweise anthropogen bedingt. Im Mittelland mit der höchsten Bevölkerungsdichte sind zwangsweise auch die Tiefbauaktivitäten und damit die Chance, auf Gasaustritte zu stossen, höher als anderswo. Kommt dazu, dass sich die Schweizerische Erdölexplorationstätigkeit im Hinblick auf Lagerstätten in bestimmten Tiefenlagen auf das Mittelland und angrenzende Gebiete konzentrierte.

In der Schweiz sind rund 40 Tiefbohrungen mit Gasindikationen bekannt. Bei den meisten handelt es sich dabei um Erdölexplorationsbohrungen [12]. Bild 5 zeigt die Anzahl der (zum grossen Teil thermokatalytischen) Gasindikationen pro Reservoirformation. Allerdings ist diese Häufigkeitsverteilung keineswegs representativ und darf nicht überinterpretiert werden, da sie stark von den Bohrstandorten abhängt. Dass in der Unteren Süsswassermolasse (USM) die zahlreichsten Gasindikationen

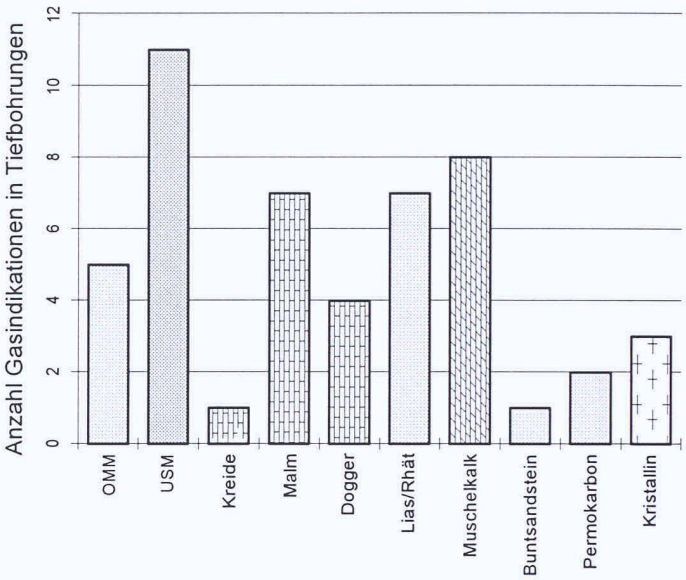

Bild 5. Aufteilung der in der Schweiz in Tiefbohrungen angetroffenen Gase nach Reservoirformationen, in denen sie angetroffen wurden. Bakterielle Gase werden in der Regel nur in der Oberen Meeresmolasse (OMM) oder Unteren Süsswassermolasse (USM) angetroffen. In den übrigen Formationen werden praktisch ausschliesslich thermokatalytische Gase angetroffen

Gefährdung des Menschen durch Methan, Schwefelwasserstoff und Kohlendioxid

Methan (CH_4) und höhere Kohlenwasserstoffe (C_{2+}):

CH_4 ist ein an sich ungiftiges, farb- und geruchloses Gas. Seine Gefährlichkeit liegt vor allem darin, dass es mit Luft ein explosives Gemisch bilden kann (sogenannte «Schlagwetter» oder «schlagende Wetter»). Unter atmosphärischen Druckbedingungen besteht dann akute Explosionsgefahr, wenn der CH_4-Anteil in der Luft zwischen 5 und 14 Vol.% liegt. Bei der Zündung des explosivsten Gemisches, welches aus 10,5 Vol.% CH_4 und 89,5 Vol.% Luft besteht, muss mit einem Explosionsdruck von 7 bar gerechnet werden [15]. Die Gemische können gezündet werden durch offene Feuer (Zigaretten, Feuerzeug) oder Funkensprung (Elektro- oder Verbrennungsmotoren, elektrische Entladungen). Für die Folgen einer Zündung ist entscheidend, wie schnell die bei der Verbrennung entstehenden Gase entweichen können. Wird die Ausbreitung der Gase nämlich behindert, kann die Explosionsgeschwindigkeit - auch nach einer anfänglich nur schwachen Explosion - infolge des Druckanstiegs in den neu erfassten CH_4/Luft-Gemischen plötzlich markant ansteigen [16].

Beträgt der CH_4-Anteil in der Luft weniger als 5 Vol.% oder mehr als 14 Vol.%, so ist das Gemisch nicht mehr explosiv, aber immer noch brennbar. Es besteht somit die Gefahr der Abflammung. Durch Beimengungen von höheren Kohlenwasserstoffen wird die untere Explosionsgrenze auf rund 4 Vol.% Gas in Luft oder tiefer hinabgesetzt. Da CH_4 spezifisch leichter als Luft ist, sammelt es sich bei fehlender Luftzirkulation in den höheren Bereichen von Stollen oder anderen Hohlräumen an.

Durch CH_4-Ansammlungen kann ferner der Sauerstoff-Anteil in der Luft so stark erniedrigt werden, dass für Lebewesen aufgrund von Sauerstoffmangel Erstickungsgefahr entsteht.

Schwefelwasserstoff (H_2S):

Schwefelwasserstoff ist ein äusserst giftiges Gas. Bereits bei der sehr geringen Konzentration von 1 ppm (ppm = Millionstel Teile; 1 ppm = 1 ccm Gas/m³ Luft) ist es durch den Geruch nach faulen Eiern wahrnehmbar. Schon geringe Konzentrationen können zu Gesundheitsstörungen führen. Sehr gefährlich wird es, wenn die Konzentrationen 100 ppm übersteigen, da dann der Geruchssinn bereits nach wenigen Minuten abstumpft und das Gas deshalb nicht mehr direkt wahrgenommen werden kann. Bei Konzentrationen über 1500 ppm tritt schon nach wenigen Minuten der Tod ein.

Schwefelwasserstoff ist zudem brennbar und setzt bei Mischung mit Kohlenwasserstoff-Gasen dessen Zündtemperatur herab [17].

Kohlendioxid (CO_2)

Kohlendioxid, ein geruch- und farbloses Gas, ist an sich ein ungiftiges Gas. Ähnlich wie beim CH_4 kann aber bei erhöhten CO_2-Konzentrationen in der Luft für Lebewesen Erstickungsgefahr entstehen. Seine Gefährlichkeit ist vor allem in seinem im Vergleich zu Luft erhöhten spezifischen Gewicht begründet. Somit kann sich bei ungenügender Ventilation CO_2 in den tieferen Lagen eines Untertagebaus ansammeln. Es kommt immer wieder vor, dass sich Leute durch Hinabsteigen zum Beispiel in eine mit CO_2 angereicherte Brunnenstube in Lebensgefahr bringen, weil sie wegen Sauerstoffmangel ihre Kräfte verlieren.

Im Vergleich zu explosiven CH_4/Luft-Gemischen oder giftigen H_2S-Konzentrationen werden gefährliche CO_2-Ansammlungen relativ selten angetroffen. Besondere Vorsicht ist jedoch an einigen Orten im Kanton Graubünden, insbesondere entlang der Engadiner Linie, sowie im Raum Basel, im Einflussgebiet des Oberrheingrabens, geboten.

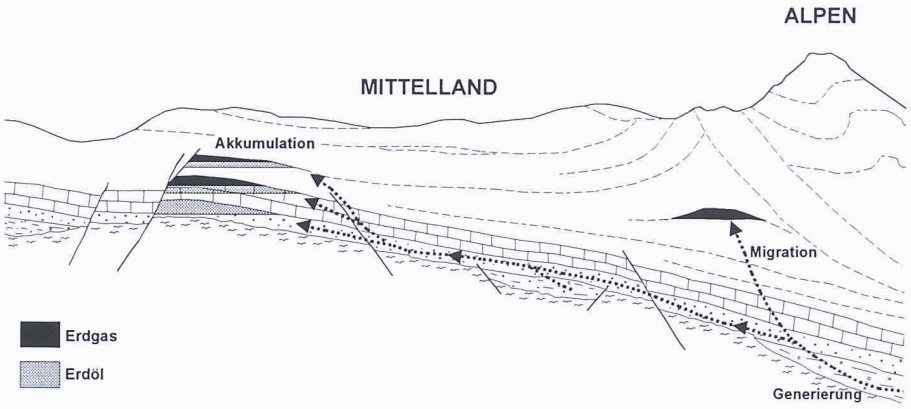

Bild 6.
Kohlenwasserstoffe, also Erdöl und Erdgas, verlassen ihre Muttergesteine, den Ort ihrer Entstehung, und migrieren entlang von gut durchlässigen Gesteinen oder Bruchstrukturen, bis schliesslich ein Teil davon in Erdöl/Erdgas-Fallen akkumuliert wird. Der weit grössere Teil geht an die Atmospäre verloren

festgestellt wurden, hat weniger damit zu tun, dass in der USM im Vergleich zu den übrigen Formationen deutlich bessere Reservoirgesteine mit höherer Gassättigung vorliegen würden, sondern viel eher damit, dass die USM die am meisten durchbohrte Formation darstellt. Trotzdem kann aus Bild 5 eine sehr wichtige Aussage abgeleitet werden. Erdgase können in den verschiedensten Reservoirformationen angetroffen werden. Dabei ist zu beachten, dass die Muttergesteine, in denen die Gase produziert werden, und die Reservoirgesteine, in welche die Gase migrieren und «gefangen» werden, häufig weit auseinander liegen. Wegen zu geringer Überdeckung sind zum Beispiel die Molassesedimente des Mittellandes heute nicht als primäre produzierende Muttergesteine einzustufen; ihre Gasführung ist deshalb auf aus tieferen, erdgasproduzierenden Formationen aufsteigende Gase zurückzuführen. Auch in der kristallinen Unterlage des Molassebeckens findet wegen des Fehlens an organischem Material keine nennenswerte Gasproduktion statt; weil aber der obere Teil des Kristallins häufig geklüftet und/oder verwittert ist, gilt er als relativ gutes Reservoirgestein für Gas oder Wasser.

In vielen Fällen verlassen also die produzierten Gase ihre Muttergesteine und migrieren tendenziell gegen oben, wobei sie auch grosse horizontale Distanzen zurücklegen können (Bild 6). Als hochmobile Phasen können sie dabei komplexe, verzweigte Zirkulationswege benutzen. Die Migration findet vorwiegend entlang von offenen Bruchstrukturen, Klüften und gut durchlässigen Gesteinsformationen wie zum Beispiel porösen Sandsteinen oder verkarsteten Kalken statt. Das migrierende Gas kann in einem primärporösen oder geklüfteten Speichergestein, welches gegen oben durch schlecht durchlässige Schichten abgedichtet ist, «gefangen» werden. Dadurch kann sich eine ausbeutbare Lagerstätte bilden. Wird das aufsteigende Gas in keiner Struktur (sogenannte «Erdöl/Erdgasfalle») gefangen oder wird eine Struktur von mehr Gas erreicht als sie aufnehmen kann, so steigt das Gas weiter auf, bis es schliesslich in die Atmosphäre gelangt. Solche Prozesse laufen über geologische Zeiträume (Millionen von Jahren) oder - zum Beispiel im Zusammenhang mit Erdbeben - auch kurzfristig ab.

Im Vergleich zur oben geschilderten Problematik der thermokatalytischen Gase («Erdölgase») ist das Auftreten von bakteriellen Gasen leichter prognostizierbar. Diese treten nämlich nur oberflächlich auf, und zwar praktisch ausschliesslich in quartären Lockergesteinen.

Aus den obigen Betrachtungen zu den ausgesprochen vielfältigen Auftretensformen von Gasvorkommen insbesondere thermokatalytischer Gase lassen sich folgende Folgerungen und vorsorgliche Sicherheitsmassnahmen ableiten:

- Bei Untertagebauten in Sedimenten und Lockergesteinen des Mittellandes und der Alpen muss eigentlich immer mit Gasaustritten gerechnet werden [14].

- Es ist durchaus sinnvoll, ja sogar vonnöten, die erdgasgeologische Situation eines Untertage- oder Tiefbauprojekts vor Baubeginn abzuklären. Dies beinhaltet das Sam-

Literatur

[1]
Büchi, U.P., Freimoser, M., Weiss, H.-P.: «Über ein Erdgasvorkommen im Gebiet Bürg, Spiez (BE)». Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure, Vol 56, Nr. 130, pp 35-48, 1990.

[2]
Tissot, B.P., Welte, D.H.: «Petroleum Formation and Occurence». Second Revised and Enlarged Edition, Springer Verlag, pp 699, 1984.

[3]
Stahl, W.: «Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse von Erdgasen. Reifekennzeichen ihrer Muttersubstanzen». Erdöl und Kohle, Vol 28, pp 188-191, 1975.

[4]
Galimov, E.M.: «13C/12C in Kerogen». In: Kerogen. Durand, B. (ed.), Paris, Technip. pp 271-299, 1980.

[5]
Schoell, M.: «The Hydrogen and Carbon Isotopic Composition of Methane from Natural Gases of Various Regions». Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol 44, pp 649-661, 1980.

[6]
Rice, D.D., Claypool, G.E.: «Generation, Accumulation, and Resource Potential of Biogenic Gas». American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol 65, No 1, pp 5-25, 1981.

[7]
Bossard, P.: «Der Sauerstoff- und Methanhaushalt im Lungernsee». Disseration ETHZ, No 6794, pp 71, 1981.

[8]
Barker, J.F., Fritz, P.: «The Occurence and Origin of Methane in Some Groundwater Flow Systems». Canadian Journal of Earth Science, Vol 18, pp 1802-1816, 1981.

[9]
Coleman, D.D., Risatti, J.B., Schoell, M.: «Fractionation of Carbon and Hydrogen Isotopes by Methane-Oxidizing Bacteria». Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol 45, pp 1033-1037, 1981.

[10]
Hauber, L.: «Ergebnisse der Geothermiebohrungen Riehen-1 und -2 sowie Reinach-1 im Südosten des Rheingrabens». Geologisches Jahrbuch, Band 48, pp 167-184, 1991.

[11]
Wexsteen, P., Jaffé, F.Z., Mazor, E.: «Geochemistry of Cold CO_2-Rich Springs of the Scuol-Tarasp Region, Lower Engadine, Swiss Alps». Journal of Hydrology, Vol 104, pp 77-92, 1988.

[12]
Leu, W., Wyss, R.: «Erdgasindikationen in der Schweiz». Bericht zu Handen Swisspetrol AG, pp 31, + 24 Fig + 7 Tab + 2 Beil + 2 Anh, 1992.

[13]
Büchi, U.P., Amberg, R.: «Erdgasindikationen des schweizerischen Alpenrandes». Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure, Vol 37, Nr. 92, pp 37-50.

[14]
Wyss, R.: «Erdgasvorkommen im geologischen Gutachten». Vortrag Technische Akademie Esslingen, Sargans, pp 6, 1990.

[15]
Vatopek, E.: «Unerwünschte Gasentzündungen». Vortrag SVGW-Fachtagung, Andelfingen, pp 18, 1990.

[16]
SUVA: «Grubengas und andere explosive Gase bei unterirdischen Arbeiten im Tiefbau». Schweizerische Blätter für Arbeitssicherheit SBA-Nr. 84, pp 12, 1967 (3. Auflage 1987).

[17]
SUVA: «Vergiftungen und Erstickungen bei unterirdischen Arbeiten im Tiefbau». Schweizerische Blätter für Arbeitssicherheit SBA-Nr. 78/79, pp 42, 1967 (6. Auflage 1987).

meln aller verfügbarer Informationen über oberflächennahe Gasindikationen der weiteren Umgebung. Bei erdgasgeologischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass Oberflächengasaustritte im Bereich der flachliegenden Molasse auf oder in der Nähe von grösseren Fotolineamenten liegen [12]. Da Lineamente häufig Kluft- oder Bruchzonen darstellen, muss bei der Projektierung auf solche sekundäre Migrationswege besonders geachtet werden.

▪

In der Bauphase, oder allenfalls schon in Sondierbohrungen der Vorphase, sind stichprobenartige Gasmessungen mit geeigneten Messgeräten durchzuführen. Weil sich CH_4- und CO_2-Gase aufgrund ihrer Dichte in oberen beziehungsweise unteren Lagen des Stollenprofils einschichten können, müssen die Messungen auf alle Höhenlagen verteilt werden.

▪

Werden austretende Gase angetroffen, müssen die erdgasgeologischen Faktoren abgeklärt werden: Porosität und Permeabilität der durchfahrenen Gesteine, Gasdrucke, tektonisch/strukturgeologische Situation, potentielle Muttergesteine und Zirkulationswege. Falls möglich sollte auch unbedingt eine Gasprobe genommen werden. Eine Gasanalyse, welche neben der Gaszusammensetzung unbedingt auch die Isotope umfassen sollte, gibt zusammen mit den oben erwähnten Kriterien wertvolle Hinweise auf Herkunft, mögliche Verbreitung und zu erwartende Mengen der angefahrenen Gasvorkommen.

▪

Die beim Fortgang der Bauarbeiten angewandten Untertagebau-Techniken (Vortriebs- und Förderungsmethoden, Ausbau-Verkleidung, Belüftung) sollten dem mit erdgasgeologischen Methoden charakterisierten Gefahrenpotential Rechnung tragen.

Schlussfolgerungen

In der Schweiz wurden bis heute über 150 Gasaustrittsstellen, über alle tektonischen Einheiten verteilt, festgestellt. Die geologischen Verhältnisse dieser Gasindikationen sind ausgesprochen vielfältig. Bei Untertagebauten, aber auch bei Sondierbohrungen ist es deshalb wichtig zu akzeptieren, dass austretende Gase niemals zum vorneherein ausgeschlossen werden können. Erdgasgeologische Vorabklärungen helfen mit, angemessene vorsorgliche Sicherheitsmassnahmen zu treffen. Auch während des Bauvorgangs, selbst wenn laut Prognose keine Gasaustritte erwartet werden, ist Vorsicht geboten. Periodische, stichprobenartige Gasmessungen erhöhen die Sicherheit der Belegschaft beträchtlich. Sie verursachen praktisch keine zusätzlichen Kosten. Wären im Langeten-Stollen solche Messungen durchgeführt worden, wäre ein Menschenleben gerettet und 9,7 Millionen Franken eingespart worden.

Während des Bauvorgangs angetroffene Gasaustritte sollten auf jeden Fall ernst genommen werden, was in Spiez leider nicht geschehen ist. Um ihr Gefahrenpotential abschätzen zu können, müssen moderne erdgasgeologische Methoden eingesetzt werden. Dabei sind vollständige Gasanalysen (Gaszusammensetzung und Isotope) von zentraler Bedeutung. Sie sind relativ kostengünstig und liefern Schlüsselinformationen, wie sie durch keine andere Methode gewonnen werden können.

Verdankung

Die Autoren danken Herrn Dr. *P. Lahusen*, Swisspetrol Holding AG, für die bereitwillige Zustimmung zur Veröffentlichung dieses Artikels.

Adresse der Verfasser:
Dr. *E. Greber*, Dr. *W. Leu* und Dr. *R. Wyss*, Geoform, Geologische Beratungen und Studien AG, Anton Graff-Strasse 6, CH-8401 Winterthur

Peter von Däniken, Ulrich Blatter, Solothurn

Kanton Solothurn setzt auf zukunftsgerichtete amtliche Vermessung

Das Projekt RADAV – Rasche Aufnahme von Daten der amtlichen Vermessung

Die amtliche Vermessung hat heute einen enormen Informationsbedarf der öffentlichen Hand, von Betreibern von Leitungsnetzen, von Planungsbüros und Privaten zu befriedigen. Der Einsatz von Informatikmitteln ist absolut zwingend geworden. Dem hat der Bund mit den neuen Rechtsgrundlagen zur amtlichen Vermessung, welche am 1.1.1993 in Kraft getreten sind, Rechnung getragen. Wie diese neuen Anforderungen in die Tat umgesetzt werden, soll am Beispiel des Kantons Solothurn illustriert werden.

Die Pläne der amtlichen Vermessung bilden die Grundlage für die Garantie des Eigentums an Grund und Boden und ermöglichen somit den Handel mit Grundstücken. Neben dieser Hauptaufgabe liefert die amtliche Vermessung auch andere wichtige Daten für Verwaltung, Wirtschaft und Private. Der Bedarf nach Informationen über unsere Umwelt hat in den letzten Jahren massiv zugenommen. Eine Entwicklung, die sich in der Zukunft fortsetzen wird und die Schaffung eines schnell verfügbaren Landinformationssystems nötig macht (Bild).

Ausgangslage

Grundsätzlich ist der Kanton Solothurn bei der Reform der amtlichen Vermessung mit den gleichen Problemen konfrontiert wie der Bund. Die Situation wird allerdings dadurch verschärft, dass von rund der Hälfte des Kantonsgebietes nur alte, vom Bund nicht als Grundbuchvermessung anerkannte Grundlagen aus dem letzten Jahrhundert zur Verfügung stehen. Die Aufnahme einer grossen Menge aktueller Daten ist deshalb dringend. Aus diesem Grund wurde das Mehrjahresprogramm RADAV zur raschen Aufnahme von Daten der amtlichen Vermessung geschaffen, das die dringend benötigten Grundlagendaten für das ganze Kantonsgebiet innerhalb von 16 Jahren zur Verfügung stellen wird. Für die Realisierung wird der Kanton in vier Teilgebiete aufgeteilt, die zeitlich gestaffelt von RADAV erfasst werden.

Aufbau

Das Projekt RADAV strukturiert die verschiedenen Daten auf vorerst acht Ebenen, die miteinander verbunden und in einem zentralen Rechner gespeichert sind:

- Fixpunkte
- Bodenbedeckung
- Einzelobjekte, Linienelemente
- Grundeigentum