

Erfahrungen bei einer Grundwasserverunreinigung durch Benzin

Autor(en): **Blau, René V. / Schlunegger, Urs P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **63 (1970)**

Heft 2

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-163853>

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.

Erfahrungen bei einer Grundwasserverunreinigung durch Benzin

VON RENÉ V. BLAU UND URS P. SCHLUNEGGER

ZUSAMMENFASSUNG

Dämpfe von Benzin, das zu einem frühen Zeitpunkt in die alluvialen Schotter versickerte und mit dem rasch extrem hoch ansteigenden Grundwasserspiegel in Kellerräumlichkeiten einer Fabrik im bernischen Mittelland gelangte, verursachten eine Explosion. Die durchgeführten geologischen, gaschromatographischen und infrarotspektroskopischen Untersuchungen haben erlaubt, den Hergang des Unfalls zu ermitteln, die Ausbreitung des Benzins im Untergrund genau zu erfassen und diese Mineralölkontamination gegen andere benachbarte abzugrenzen. Die zum Schutze in der Nähe liegender Fassungen getroffenen Sanierungsmassnahmen werden kurz gestreift.

1. Einleitung

Ende September 1968 hat eine Explosion in einer Fabrik im bernischen Mittelland ein Menschenleben und zwei Schwerverletzte gefordert sowie grossen Sachschaden verursacht. Die ersten Abklärungen haben folgendes gezeigt:

- Durch die ergiebigen Niederschläge unmittelbar vor dem Unfall stieg der Grundwasserspiegel an bis ca. 20 cm über die Oberfläche der kiesigen Naturböden der Keller, in denen sich die Explosion ereignet hat.
- Durch das Ansteigen des Wasserspiegels ist Mineralöl, das von einer unbekanntem Quelle zu einem unbekanntem Zeitpunkt in den kiesigen Grundwasserleiter versickert ist, aus dem Boden verdrängt worden (vgl. DRACOS 1968); es bildete Schlieren auf dem Grundwasserspiegel in den Kellerräumen.
- In den Kellern entstand ein Kohlenwasserstoff/Luftgemisch, das explodiert ist, gezündet durch die offene Flamme einer Azetylenlampe.

Zwei Aufgaben haben sich gestellt:

- a) Das Gericht¹⁾ hat uns beauftragt abzuklären, wie es zu diesem Unfall gekommen ist.
- b) Die nötigen Sanierungsmassnahmen waren anzuordnen, damit die benachbarten Grundwasserfassungen nicht beeinträchtigt werden.

Adressen der Autoren: Dr. René V. Blau, Geologe, Kant. Wasser- und Energiewirtschaftsamt, Rathausplatz 1, 3011 Bern; PD Dr. Urs P. Schlunegger, Chemiker, Gerichtlich-medizinisches Institut der Universität Bern, Bühlstrasse 20, 3012 Bern.

¹⁾ Wir danken dem zuständigen Gerichtspräsidenten und der Anklagekammer des Obergerichts, dass sie erlaubt haben, über unsere Untersuchungen zu berichten in einer Form, die die Geheimhaltungspflicht nicht verletzt.

Die Resultate und der Gang der Untersuchungen dürften einen weitem Kreis von Fachleuten interessieren. Die Folgen des Unfalls zeigen deutlich, dass die Gefahren, entstanden durch das Eindringen von Mineralöl in den Untergrund, nicht bagatellisiert werden dürfen, wie dies in letzter Zeit leider auch von Fachleuten getan worden ist.

2. Ausgangslage

2.1. Wir befinden uns in einer Grundwasser führenden, von alluvialen fluviatilen Sedimenten aufgebauten Talsohle. In der näheren Umgebung des Unfallortes zeigen sich folgende Verhältnisse:

Lithologie (vom Hangenden zum Liegenden):

- 0 bis im Mittel 1,2 m unter OK Terrain:
Kies mit Steinen bis max. 20 cm \varnothing ; sandig, stellenweise silthaltig; unterlagert von
- 0 bis 1,0 m mächtigem Feinsand-Silt.
- bis 8,0 + x m unter OK Terrain:
Kies mit Steinen bis max. 20 cm \varnothing ; sandig, stellenweise etwas silthaltig.

Die natürliche Abfolge wird bis ca. 2,5 m unter OK Terrain durch zahlreiche Bauwerke durchbrochen.

Hydrologie:

Das Grundwasser fliesst mit einem mittleren Gefälle von 4⁰/₀₀ in nordwestlicher Richtung, seine Oberfläche liegt im Mittel ungefähr 2,8 m unter OK Terrain; 1967/68 schwankten die Spiegellagen zwischen $\pm 1,06$ m um diesen Wert, wobei der Maximalstand, wie er zur Zeit der Explosion herrschte, seit 1961, als die periodischen Messungen aufgenommen worden sind, nie beobachtet werden konnte. Die Grössenordnung des Durchlässigkeitsbeiwertes ist bekannt.

2.2. Das Grundwasservorkommen wird intensiv genutzt. In nordöstlicher Richtung befinden sich, 150 bis 500 m von der Unfallstelle entfernt, drei bedeutende Fassungen einer Wasserversorgung, 400 bis 500 m stromabwärts in Fliessrichtung des Grundwassers eine Reihe kleinerer Hauswasserversorgungen.

2.3. Die Kohlenwasserstoffe, die zur Explosion führten, hätten aus folgenden Quellen stammen können (vgl. Fig. 1):

- a) Verluste durch Lecken oder Überfüllen der Treibstoff- und Heizölversorgungsanlage der Fabrik. Bei einer ersten Überprüfung konnten bei der unmittelbar neben der Explosionsstelle liegenden Benzinanlage mehrere Defekte nachgewiesen werden, die grundsätzlich Verluste erlaubt hätten.
- b) Eindringen in den Grundwasserleiter durch Sickerschächte, an die vorschriftswidrig Vorplatzentwässerungen der Fabrik angeschlossen worden waren.
- c) Tropfverluste aus oder Unfall mit einer Bahnzisterne auf dem unmittelbar nordöstlich der Unfallstelle liegenden Abstellgeleise der Bahn.
- d) Ein Heranfliessen im Bereich des Grundwasserspiegels aus südöstlich bis südlicher Richtung. Seit mehreren Jahren ist bekannt, dass aus verschiedenen Gefahrenherden oberhalb der Unfallstelle Mineralöl (vor allem Dieselöl, untergeordnet Benzin) in den Untergrund gelangt ist. Eine Gerichtsexpertise, ausgeführt 1967/68

durch die Herren Prof. Dracos, Versuchsanstalt für Wasser- und Erdbau der ETH, und Dr. Nänny, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz der ETH, hat auf die komplexen Verhältnisse hingewiesen. Unsere infrarotspektroskopischen Untersuchungen der im August und September 1968 in bestehenden Beobachtungsrohren vom ruhenden Grundwasserspiegel abgeschöpften Proben hatten folgendes gezeigt:

- 3 Proben, 20 bis 130 m südsüdöstlich der Unfallstelle entnommen, zeigen Kohlenwasserstoff-Konzentrationen zwischen 16 und 27 ppm.
- 3 Proben, von 40 bis 130 m entfernten, im Quadrant West-Nord liegenden Rohren, weisen Werte zwischen 4 und 6 ppm auf.
- Die bei andern, nahe der Unfallstelle entnommenen Proben festgestellten Gehalte, meist unter 1 ppm liegend, sagen nichts aus: Sie können von den bei diesen Untersuchungen nicht vollständig abgetrennten polareren Beimengungen organischen Ursprungs (back-ground-Werte) herrühren, wie HELLMANN 1969 gezeigt hat.

3. Untersuchungen

Um die Herkunft der kohlenwasserstoffhaltigen, die Explosion verursachenden Verbindungen im Boden abklären zu können und um die Sanierung zu fördern, sind 5 Filterbrunnen (Durchmesser 400 mm), 3 Rotationskernbohrungen (Durchmesser 145 mm) und 13 Schlitzte abgeteuft worden.

Aus diesen Bohrungen und Schlitzten sind insgesamt 209 Erdproben und 23 Wasserproben infrarotspektroskopisch, davon 67 mit höheren Kohlenwasserstoffgehalten auch gaschromatographisch untersucht worden.

Methodik

IR Spektrophotometrie:

Extraktion: 20 g Erde (oder 0,5 bis 1 Liter Wasser) werden mit 20 ml Tetrachlorkohlenstoff 5 Minuten kräftig geschüttelt. Nach Abfiltrieren des Rückstandes wird die klare Tetrachlorkohlenstofflösung im Infrarotgebiet im Bereich von 3 bis 3,5 μ in Infrasil, 1-cm-Küvetten gemessen.

Auswertung: Von den Kohlenwasserstoffbanden CH, CH₂ und CH₃ wird die Durchschnittsabsorption berechnet, in Extinktionen umgerechnet und unter Berücksichtigung der Verdünnungsfaktoren entsprechend einer Eichkurve die Kohlenwasserstoffkonzentration ermittelt. Die polaren Verbindungen sind nicht abgetrennt worden.

Gaschromatographie:

Extraktion: 10 g Erde werden mit 10 ml Tetrahydronaphtalin 5 Minuten kräftig geschüttelt. Nach Abfiltrieren der Feststoffe werden die klaren Testlösungen gaschromatographisch untersucht.

Gaschromatographie-Bedingungen: Beckmann GC-4, Doppelkolonnensystem mit Doppelflammenionisations-Detektor. *Trennsäule:* 6 Fuss \times 1/8 Zoll, Stahl, gefüllt mit 2% OV 17 auf Gaschrom P 100/120 mesh. Säulentemperatur: programmiert, 5 Minuten isotherm bei 70°, dann in 5 Minuten auf 270° aufgeheizt und 9 Minuten belassen.

Die Gaschromatogramme werden mit Aufnahmen von Benzin oder Öl in Tetralin verglichen. Das Verfahren gestattet, die extrem flüchtigen Bestandteile von Benzin und die schwer flüchtigen Bestandteile von Öl in einem Analysengang zu erkennen und voneinander zu differenzieren.

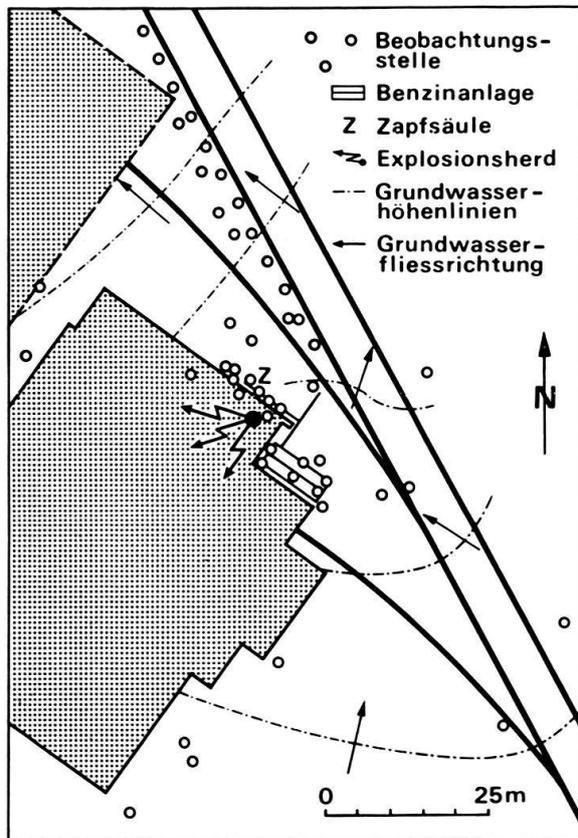


Fig. 1. Situation; mittlerer hydraulischer Gradient 4‰ .

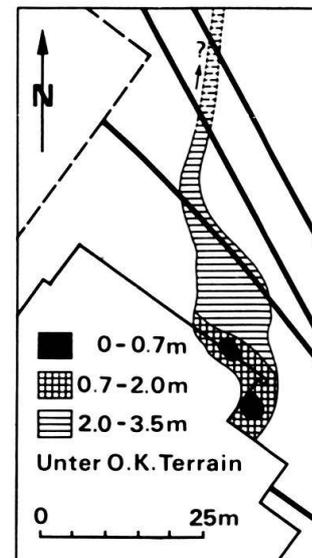


Fig. 2. Ausbreitung des Benzins im Untergrund vom September 1968 bis Dezember 1969. Beobachtungsstellen vgl. Fig. 1.

4. Resultate

Die verschiedenen Untersuchungen zeigen zusammengefasst folgende Resultate:

- a) Beim Ausheben der Sondierschlitze im Bereich der Benzinanlage erwies es sich, dass durch eine Fehlmanipulation oder einen früheren Defekt Benzin in einen Mannlochschaft gelangt war. Da dieser gegen unten nur ungenügend abgedichtet war, floss das Benzin über den nordöstlichen der beiden Doppelmanteltanks in den Untergrund (vgl. Fig. 1). Ferner musste festgestellt werden, dass auch bei der Zapfsäule Verluste aufgetreten sind.
- b) Die aus den neu geschaffenen Beobachtungsstellen im Bereich 0 bis 0,7 m unter OK Terrain entnommenen Erdproben zeigten folgendes Bild:
 - Einzig beim erwähnten Mannlochschaft und bei der Zapfsäule finden sich hohe Benzinkonzentrationen (von 10–400 ppm); vgl. Fig. 2.

- Beim Bahnabstellgeleise lässt nichts auf namhafte Verluste aus einer Zisterne schliessen. Die beobachteten Verunreinigungen müssen von Tropfverlusten stammen: festgestellte maximale Werte, Konzentrationen örtlich eng begrenzt, zwischen 100 und 1250 ppm; gaschromatographisch kein Benzin nachweisbar.
- c) Die Resultate der untersuchten Erdproben im Bereich 0,7 bis 2,0 m unter OK Terrain können wie folgt dargestellt werden:
- Ein zusammenhängendes Feld hoher Benzinkonzentrationen (Werte zwischen 220 und, unter dem Tank, 36000 ppm) erstreckt sich von den nordwestlichen Tankenden bis nordwestlich der Zapfsäule; vgl. Fig. 1 und 2.
 - Beim Abstellgeleise sind mit einer Ausnahme (500 ppm) nur noch Kohlenwasserstoffgehalte von max. 100 ppm festgestellt worden. Benzin konnte nicht nachgewiesen werden. Hinweise für ein früheres Eindringen von grösseren Mengen von Mineralöl aus einer Bahnzisterne in tiefere Bereiche des Untergrundes fehlen.
 - Südöstlich des zerstörten Fabrikteils fanden sich Gehalte von 10–220 ppm; Benzin konnte nicht nachgewiesen werden.
- d) Im Bereich 2,0 bis 3,5 m unter OK Terrain, in dem der Grundwasserspiegel schwankt, abgesehen von extremen Lagen, lassen die Analysen der Erd- und Wasserproben²⁾ folgende Schlüsse zu:
- Ein ausgedehntes Feld hoher Benzinkonzentrationen im Untergrund erstreckt sich vom nordwestlichen Ende der Benzintanks unter den Mannlöchern ca. 40 m weit in nordnordwestlicher Richtung. Die 1969 vom Kant. Gewässerschutzlaboratorium zur Überwachung der verschiedenen Mineralölkontaminationen im ganzen Gebiet durchgeführten gaschromatographischen und infrarotspektroskopischen Untersuchungen haben gezeigt, dass das Grundwasser in einem bestehenden Beobachtungsrohr 125 m nordnordwestlich der Unfallstelle ebenfalls wechselnde Mengen (0,5–1,1 ppm; Benzin in einer Bestimmung nachgewiesen; Proben ohne vorheriges Pumpen abgeschöpft) von Mineralöl aufweist. Diese Verunreinigung hängt wahrscheinlich mit der oben beschriebenen zusammen; vgl. Fig. 2.
 - Südöstlich des Fabrikgeländes und der Tankanlagen sind bei den verfügbaren Beobachtungsstellen (vgl. Fig. 1) Gehalte an Kohlenwasserstoffen zwischen 0,4 und 1,6 ppm in Wasserproben, zwischen 12 und 63 ppm in Erdproben nachgewiesen worden. Benzin konnte nicht festgestellt werden. Unter dem südöstlichen Teil der Benzintanks sind wohl Konzentrationen bis zu 2500 ppm gefunden worden; es handelt sich aber nicht um Benzin, sondern wahrscheinlich um Rückstände der gelösten bituminösen Tankisolation (nicht näher untersucht).
Ein Heranfliessen des Benzins aus südöstlicher oder südlicher Richtung kann daher ausgeschlossen werden.

²⁾ Wasserproben erhoben in bereits früher bestehenden Beobachtungsrohren nach 10minütigem Abpumpen mit einer Förderleistung von 20 bis 100 l/min, entsprechend der Ergiebigkeit der Entnahmestelle.

Wenn wir die von DRACOS 1966 veröffentlichten Grundlagen über das Verhalten und die Bewegung von nichtmischbaren Flüssigkeiten in homogenen Böden berücksichtigen, können wir über das Entstehen der Benzinverunreinigung folgendes sagen:

- Aus der Treibstoffversorgungsanlage der Fabrik ist Benzin in grösseren Mengen ins Erdreich gelangt. Entsprechend den Durchlässigkeitsverhältnissen und dem hydraulischen Gefälle – die neuen Beobachtungspunkte haben gezeigt, dass neben dem nordwestlich gerichteten Gradienten auch nordöstlich weisende Komponenten auftreten – ist dieses teilweise in nördlicher bis nordwestlicher Richtung abgeflossen (vgl. Fig. 1 und 2). Ein Teil des Benzins blieb nahe den Versickerungsstellen im Boden haften. Mit der als Folge der Niederschläge vor der Explosion rasch ansteigenden, extrem hohen Grundwasseroberfläche ist dieses Benzin, soweit es ausgeschwemmt werden konnte, in die Keller eingedrungen.
- Die Menge des ausgeflossenen Lagergutes ist nicht bekannt. Eine überschlagsmässige Berechnung bei Berücksichtigung des verunreinigten Volumens des Untergrundes, des erfahrungsgemäss in derartigen Sedimenten vorhandenen Porenvolumens, des Ölgehaltes der Sedimente, der in zentralen Partien weit über der Residualsättigung lag, zeigt, dass mindestens mehrere Hundert Liter ausgeflossen sein müssen.
- Über den Zeitpunkt der Benzinversickerung können keine genauen Angaben gemacht werden. Das Benzin ist aber seit längerer Zeit im Boden. Die Lage der ange troffenen tiefsten massiven Verunreinigung, 1250 ppm in 3,9 m Tiefe unter OK Terrain, 40 m nordnordwestlich der Unfallstelle, zeigt, dass das Benzin bei sehr tiefen Grundwasserständen, wie sie zum letzten Male im Dezember 1967 beobachtet worden sind, dem hydraulischen Gefälle folgend, in tiefere Partien des Grundwasserleiters geflossen sein muss; das Vorhandensein eines Überdruckes senkrecht zur Grundwasseroberfläche kann ausgeschlossen werden. Annähernd so tiefe Spiegelstände sind erst wieder im Februar 1964 beobachtet worden, bevor die Tankanlage bestanden hat.

5. Sanierungsmassnahmen

Im Bereich der Benzintankanlage und des nordöstlichen Vorplatzes (vgl. Fig. 1) ist bis 1 m unter den Grundwasserspiegel das stark verschmutzte Erdreich ausgehoben worden. Leider war ein Ausbaggern des ganzen Platzes zwischen Fabrik und Bahn nicht möglich, da eine Reihe wichtiger Leitungen den Platz queren.

Der Versuch, in den erstellten Filterbrunnen ein Benzin-Wasser-Gemisch abzupumpen, misslang. Die Konzentration des in der Umgebung der Brunnen noch frei beweglichen Benzins (vgl. DRACOS 1966) war offenbar zu klein. Auf den Bau eines ausreichend dimensionierten Sanierungsbrunnens, der erlauben würde, mit einer der sehr guten Durchlässigkeit und der grossen Mächtigkeit der Schotter entsprechenden, hohen Entnahmemenge einen genügend grossen hydraulischen Gradienten zu erzeugen, um das noch frei bewegliche Benzin zum Brunnen abfliessen zu lassen, ist vorläufig verzichtet worden. Die im Boden noch vorhandene Benzinmenge ist unter Umständen nicht mehr so gross, dass sich der Einsatz derart kostspieliger Massnahmen rechtfertigt.

Das Grundwasser wird periodisch weiterhin analytisch auf seinen Kohlenwasserstoffgehalt hin untersucht.

Im Zusammenhang mit Grosspumpversuchen, die der Erweiterung der erwähnten Fassungsanlagen der Wasserversorgung dienen, wird bei den wasserchemischen Analysen, die auch von Proben aus dem Bereich der beschriebenen Kontamination ausgeführt werden, auf allfällige Reduktionserscheinungen geachtet, die durch den Abbau von Mineralöl verursacht werden könnten (vgl. ZIMMERMANN et al. 1956: 328; SCHWILLE und VORREYER 1969). Diese chemische Überwachung soll anschliessend weitergeführt werden.

LITERATUR

- DRACOS, TH. (1966): *Physikalische Grundlagen und Modellversuche über das Verhalten und die Bewegung von nichtmischbaren Flüssigkeiten in homogenen Böden (erste Resultate)*. Mitt. VAWE ETH 72.
- (1968): *Überblick und Ergebnisse von Modellversuchen über Schutz- und Sanierungsmassnahmen bei Ölfällen*. Plan 3.
- HELLMANN, H. (1969): *Möglichkeiten und Grenzen der IR Spektroskopie bei der Bestimmung von Mineralölen und Treibstoffen in Oberflächengewässern*. Deutsche Gewässerkundliche Mitt. 13/1, 19.
- SCHWILLE, F., und VORREYER, CHR. (1969): *Durch Mineralöl «reduzierte» Grundwässer*. Gas- und Wasserfach 110/44, 1225.
- ZIMMERMANN, W., LEHMANN, G., SCHWILLE, F., und SCHMEIDLER, E. (1956): *Beeinflussung von Trinkwasser durch Erdölprodukte*. Zeitschr. Hygiene 142, 322.

Manuskript eingegangen am 12. Januar 1970.

