

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 116 (1998)  
**Heft:** 33/34

**Artikel:** Sanierung von Altlasten: mikrobiologische Sanierung von ölverunreinigten Industriestandorten  
**Autor:** Birkle, Michael / Nieth, Klaus / Tropf, Volker  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-79556>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

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

punkte auf dem vorhergehenden Segment gegebenen Referenzlinie. Dies erlaubte es, bei jeder Tageszeit die Voreinstellung des Gerüsts mit den berechneten Voreinstellwerten aufgrund der an diesem Tage frühmorgens bestimmten Kontrolllinie auszuführen.

### Schlussbemerkung

Der Bau einer Schrägseilbrücke im Freivorbau stellt hohe Anforderungen an Ingenieure und Unternehmer, da die Bean-

spruchungen im Bauzustand weit kritischer sind als im Endzustand. Die Bestimmung der Baumethode, die statische Überprüfung der zahlreichen Bauzustände, die Bestimmung der Kabelkräfte und die Berechnung der Überhöhungskurven erfordern umfangreiche Studien vor dem eigentlichen Bau. Die Ausführung benötigt intensive Begleitung, Überwachung und Unterstützung von Ingenieuren.

Das Beispiel der Batam-Tontonschrägseilbrücke zeigt, dass Schweizer Ingenieurwissen auch heute international gefragt und durchaus konkurrenzfähig ist

und soll Schweizer Ingenieure ermutigen, vermehrt auch ausserhalb unserer Landesgrenzen zu arbeiten.

Adresse der Verfasser:

Jean-Marc Voumard, dipl. Bauing. ETH SIA, VSL-Technical Centre Europe, Bernstrasse 9, 3421 Lyssach, Roy Lengweiler, dipl. Bauing. ETH SIA, Batam-Island, VSL-Indonesia, Franco Lurati, dipl. Bauing. ETH SIA, VSL-Technical Centre Europe, Bernstrasse 9, 3421 Lyssach (jetzige Adresse: Grignoli Muttoni Partner, Via Somaini 9, 6900 Lugano)

Michael Birkle, Klaus Nieth, Volker Tropf, Karlsruhe

## Sanierung von Altlasten

### Mikrobiologische Sanierung von ölverunreinigten Industriestandorten

**Durch eine mikrobiologische In-situ-Sanierung konnte ölverunreinigter Boden unter einer Produktionshalle ohne Produktionsausfall saniert werden.**

Mit Hilfe von kombinierten Belüftungs- und Infiltrationssonden wurden die natürlich im Boden vorkommenden ölabbauenden Organismen mit Sauerstoff und Nährstoffsalzen versorgt und zum Schadstoffabbau angeregt. Das kontaminierte Grundwasser wurde über ein Skimmersystem, Ölabscheider und Nassaktivkohlefilter gereinigt.

#### Schadensfallbeschreibung

Unter einer Produktionshalle eines metallverarbeitenden Betriebes, der Präzisionsteile für den Fahrzeugbau produziert, wurden bis ungefähr 3,5 m Tiefe starke Verunreinigungen mit Schmierölen festgestellt. Die horizontale Ausdehnung der Verunreinigung betrug rund 800 m<sup>2</sup>. Die Konzentrationen schwankten von 530 bis 35 000 mg Mineralölkohlenwasserstoffe pro kg. Insgesamt ergab sich damit eine zu beseitigende Schadstoffmenge von etwa 15 bis 25 t Mineralölen. Der Standort liegt innerhalb einer Talaue, der Untergrund besteht bis etwa 6 m Tiefe aus sandigen und kiesigen Flussablagerungen mit mehr oder weniger hohem Anteil an Schluff. Im ersten Tiefenmeter wurde unterhalb des Betonbodens der Produktionshalle zum Teil Bauschutt angetroffen. Ab etwa 6 m Tiefe

folgt Festgestein (Buntsandstein). Der Flurabstand des Grundwassers lag bei etwa 3,2 m. Der Durchlässigkeitsbeiwert des Lockergesteinsgrundwasserleiters betrug  $3 \times 10^{-4}$  m/s.

Die Ölverunreinigung war bereits ins Grundwasser vorgedrungen. Die Breite der Ausbreitungsfahne des Öls im Grundwasser quer zur Fliessrichtung erreichte etwa 14 m. Bei Mittel- und Niedrigwasser des benachbarten Flusses trat an dessen Uferböschung zeitweise Öl in Phase aus (Bild 1).

Herkömmliche Bodensanierungsverfahren, die mit einer grossflächigen Öffnung des Hallenbodens bzw. Auskoffierung des kontaminierten Untergrundmaterials verbunden sind, wären für das betroffene mittelständische Unternehmen aufgrund des langen Produktionsausfalls nicht tragbar gewesen. Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber und der Fachbehörde wurde daher ein mikrobiologisches In-situ-Verfahren eingesetzt, durch das der ölverunreinigte Untergrund ohne Erdbewegung gereinigt werden kann.

Die natürlich im Boden vorkommenden Mikroorganismen (Bakterien, Pilze) sollten dazu angeregt werden, das im Boden vorhandene Öl verstärkt als kohlenstoffhaltige Nahrungsquelle zu nutzen und dadurch die Kontamination zu beseitigen.

#### Mikrobiologische Voruntersuchungen

In vorab durchgeführten Laborversuchen konnte bestätigt werden, dass die

relativ hochmolekularen Schmieröle (langkettige Kohlenwasserstoffe;  $>C_{20}$ ) durch die natürliche Mikroorganismenpopulation zu Wasser und Kohlendioxid abgebaut werden. In weiterführenden Versuchen an Bodensäulen aus dem Schadensbereich wurde untersucht, welche Sauerstoff- und Nährstoffmengen und welcher pH-Wert erforderlich sind, um die ölabbauenden Organismen zur schnelleren Vermehrung und höherer Abbauleistung anzuregen.

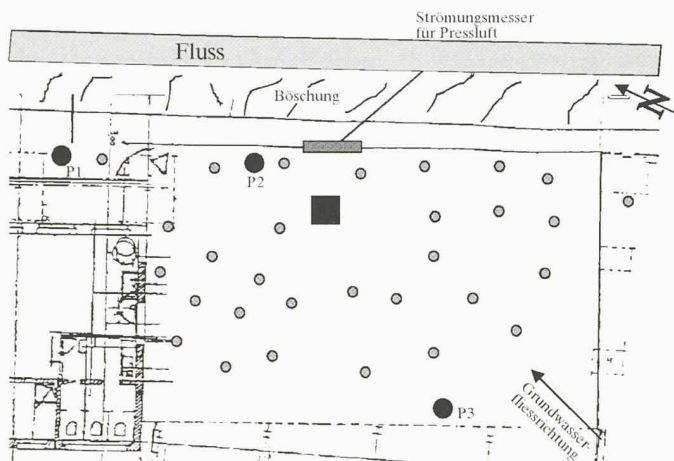
Nach Beendigung der Vorversuche war ein Erfolg der geplanten Sanierungsmassnahme abzusehen. Der Sanierungsvorschlag wurde daraufhin sowohl vom Auftraggeber als auch von der zuständigen Fachbehörde akzeptiert.

Dem Auftraggeber war bekannt, dass die In-situ-Sanierung zwar insgesamt niedrigere Kosten, dafür aber einen Zeitaufwand von mehreren Jahren erfordern würde.

#### Mikrobiologische In-situ-Sanierung ohne Produktionsstopp

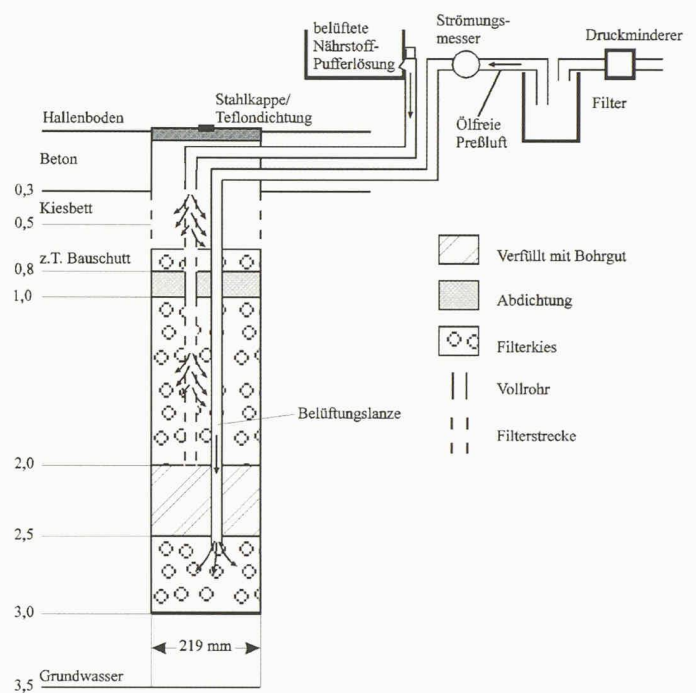
Mit Hilfe von 30 kombinierten Belüftungs-Infiltrationssonden wurden kontinuierlich Sauerstoff sowie im monatlichen Abstand eine belüftete Nährstoff-Pufferlösung in den Untergrund eingebracht. Durch die Kombination von Belüftungs- und Infiltrationssonden konnte der Eingriff in den bestehenden Hallenboden auf ein Minimum reduziert werden (Bild 2).

Die Verbindungsleitungen von den Vorratsbehältern mit der Nährstoff-Pufferlösung und die luftführenden PE-Schläuche zu den Belüftungs-Infiltrationssonden wurden im Betonboden in aufgefästen und wieder verschlossenen Schlitzen verlegt. Die zur Belüftung erforderliche ölfreie Pressluft wurde mit Hilfe



- Lage der Grundwasser-Kontrollpegel P1 – P3
- Lage des Boden-Kontrollmessschachtes
- Lage der Belüftungs- und Infiltrationsbrunnen

1  
Übersicht über das Sanierungsgelände



2  
Kombinierte Belüftungs- und Infiltrationssonde

eines betriebseigenen Kompressors erzeugt und über regulierbare Strömungsmesser verteilt.

### Überwachung

Zur Überwachung des Sanierungsfortschritts wurde im Schadenszentrum eine 1 m<sup>2</sup> grosse Kontrollstelle zur Entnahme von Bodenproben installiert. Während der mikrobiologischen Sanierung wurden Feuchte, pH-Wert, Nährstoffgehalte, Entwicklung der Mikroorganismenpopulation und Schadstoffgehalte im Boden überwacht.

Eine Umstellung der Produktionsmaschinen und damit ein Produktionsstopp war für die Installation der mikrobiologischen Sanierungsanlage nicht erforderlich.

Da die Produktion weiterlaufen konnte, war der Faktor Sanierungsdauer von geringer Bedeutung. Zur Verkürzung der bei biologischen Sanierungen häufig auftretenden langen Anlaufphase wurden als einmalige Startgabe rund 1000 l Mikroorganismensuspension in den Untergrund eingebracht. Die Suspension für die Startgabe war durch Vermehrung der am Standort vorhandenen, natürlichen, ölabbauenden Mikroorganismenpopulation in einem Bioreaktor hergestellt worden.

### Sanierungsdauer und Überwachung

Innerhalb von 3,5 Jahren Sanierungsdauer wurden etwa 1,1 Mio. m<sup>3</sup> Luft bzw. 327 t Luftsauerstoff aktiv in den Untergrund eingebracht. Weiterhin wurden über die Infiltrationsbrunnen insgesamt

etwa 280 m<sup>3</sup> Wasser, 90 kg Stickstoff sowie 15 kg Phosphor infiltriert. Die Injektion der Nährstoffpufferlösung erfolgte stossweise in monatlichem Abstand, um die durchlüftungsfördernde Wirkung wechselnder Befeuchtungs- und Austrocknungsphasen nutzen zu können (Die Diffusion von Sauerstoff ist in der Gasphase in der Grössenordnung von 10<sup>5</sup> mal grösser als in wässriger Phase). Die Befeuchtung erfolgte jeweils bis auf etwa 70% der Wasserhaltekapazität des Bodens.

Die messtechnische Überwachung der Mikroorganismendichte (Lebendkeimzahl), der Milieubedingungen (z.B. pH, Feuchte) und Nährstoffversorgung im Boden und Grundwasser sowie des Rückgangs der Mineralölkohlenwasserstoffkonzentration im Boden erfolgte in dreimonatigen Abständen, im ersten halben Jahr auch monatlich. Die Entwicklung der Mikroorganismendichte und der Ölgehalte sind in Bild 3 dargestellt.

Mit Hilfe des beschriebenen Sanierungsverfahrens sanken in einem Zeitraum von 2,5 Jahren die Gehalte an Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) im Schadenszentrum von anfangs etwa 15 000 mg/kg auf etwa 400 mg/kg. Im Wasser-Eluat (DEVS4 bzw. Eluattest TVA, Test 2) konnten keine MKW mehr nachgewiesen werden. Das Sanierungsziel war damit für die nicht wassergesättigte Zone nach etwa 2,5 Jahren erreicht. Im gleichen Zeitraum ging die Mikroorganismendichte um etwa zwei Zehnerpotenzen zurück. Infolge der zunehmenden Schadstoffabnahme ging auch die Zahl der schadstoff-

abbauenden Organismen zurück. Insgesamt wurden etwa 4000 t kontaminierter Boden ohne Erdbewegung bei weiter laufender Produktion gereinigt. Ausgehend von einem Schadstoffgehalt von durchschnittlich 5 g/kg wurden schätzungsweise 20 t Mineralölkohlenwasserstoffe mikrobiologisch abgebaut.

Die Kosten für die In-situ-Sanierung des Bodens betragen rund 375 000 Fr., dies entspricht etwa 90 Fr. pro Tonne kontaminiertem Erdreich.

### Hydraulische Sicherung und Sanierung

Vor Beginn der mikrobiologischen Sanierung wurde eine Ausbreitung der bereits ins Grundwasser gelangten Ölverunreinigungen bzw. ein Austrag von Öl in das Oberflächengewässer durch hydraulische Sicherungsmassnahmen verhindert.

Zur hydraulischen Sicherung nach und zur Kontrolle möglicher Stoffausträge während der In-situ-Bodensanierung wurden zwei Abwehrbrunnen (P1 und P2, siehe Bild 1) bis etwa 6 m Tiefe niedergebracht (Basis des Lockergesteingrundwasserleiters).

Nach Abschluss der mikrobiologischen Sanierung der nicht wassergesättigten Zone ergab eine Kosten-Nutzen-Rechnung, dass das Absaugen der auf dem Grundwasser aufschwimmenden Ölschicht kostengünstiger als eine mikrobiologische Sanierung des Grundwassers ist. Das mit Hilfe einer Saugpumpe aus P1 und einer Tauchmotorpumpe aus P2 geförderte Wasser wurde in ein relativ gross dimen-

sioniertes Pufferbecken geleitet, in dem sich Schwebstoffe absetzen konnten. Über ein installiertes Skimmersystem wurde die aufschwimmende Ölphase von der Wasserphase getrennt. Die im Wasser dispergierten Öltröpfchen wurden im nachgeschalteten Ölabscheider mit Koaleszenzabscheider entfernt. Die gelösten Öle wurden im darauffolgenden Nassaktivkohlebehälter soweit entfernt, dass im Reinwasser kein Öl mehr nachweisbar war (< 0,05 mg/l; DEV H18 bzw. EDI 48). Das Reinwasser wurde direkt in den nahe gelegenen Fluss abgeleitet (Bild 4).

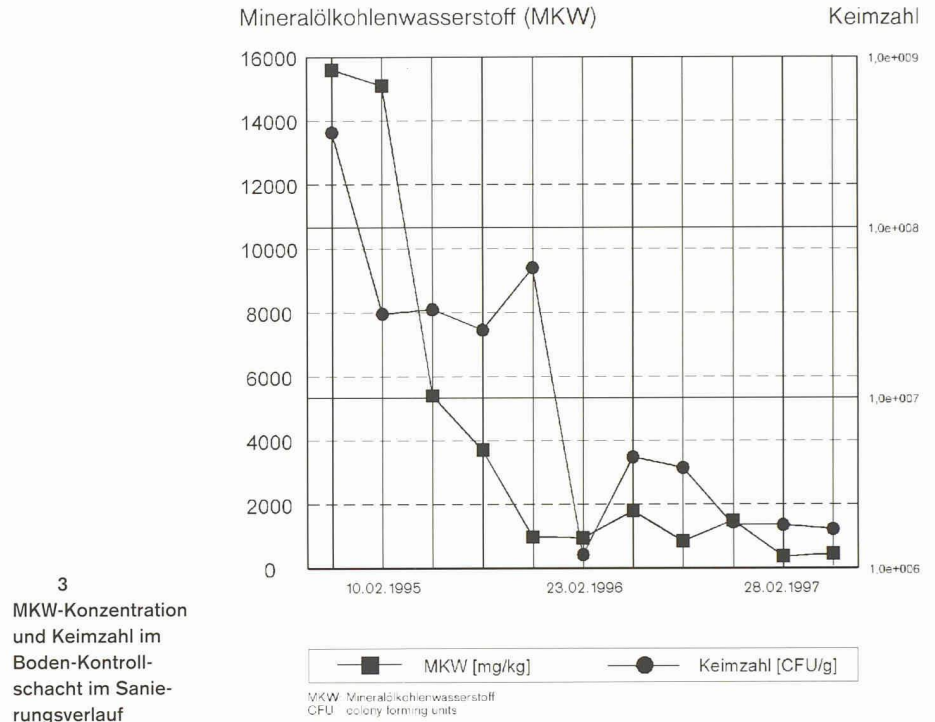
Mit dem genannten Abwehr- und Sanierungsverfahren wurden innerhalb von etwa 6 Monaten insgesamt etwa 4000 m<sup>3</sup> kontaminiertes Grundwasser abgepumpt und 25 kg Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW nach DEVH18 bzw. EDI 48) ausgetragen. Um den Spüleffekt im Grundwasserschwankungsbereich zu verbessern, wurde danach über drei Monate intermittierend abgepumpt. Dabei wurden 800 m<sup>3</sup> Wasser abgepumpt und ein zusätzlicher Austrag von etwa 1,5 kg erzielt.

Die vor Beginn der Massnahmen festgestellte Schadstoffkonzentration von anfangs 14 mg/l MKW konnte auf unter 0,05 mg/l MKW gesenkt werden. Die hydraulische Sanierung konnte nach insgesamt 15 Monaten Dauer beendet werden, der Schadstoffrückgang im ungesättigten Bereich infolge der aktivierten Bodenbiologie verhinderte weitere Ölausträge in das Grundwasser.

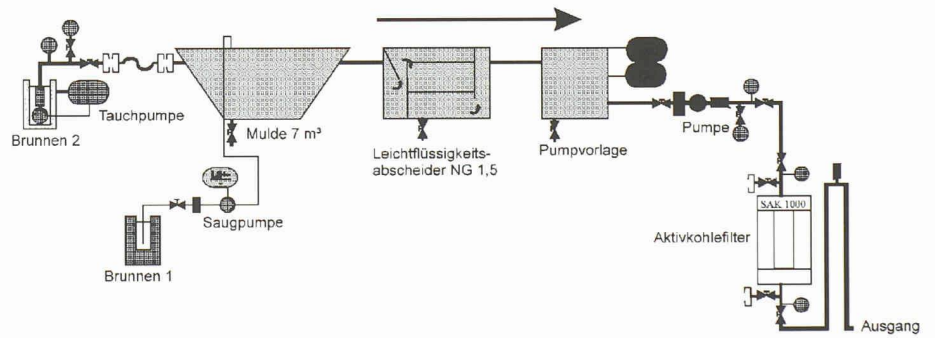
**Kosten**

Die Kosten für die hydraulische Sicherungs-Sanierungsanlage inklusive Erstellung der Förderbrunnen, der messtechnischen und gutachterlichen Überwachung und Entsorgung der beladenen Nassaktivkohle betragen rund 45 000 Fr.

Adresse der Verfasser:  
 Michael Birkle, Prof. Dr., G.U.B., Gesellschaft für Umweltschutz und Bodennutzung mbH, Ernst-Müller-Str. 4, 8207 Schaffhausen, Ansprechpartner: Holger Andris, Dipl. Geoökologe



3 MKW-Konzentration und Keimzahl im Boden-Kontrollschicht im Sanierungsverlauf



4 Verfahrensbild der Grundwasserreinigungsanlage