

Biologische in situ Sanierung durch Belüftung (Bioventing)

Key-Words: *Belüftung, Stoffumsetzung, Bilanzierung*

K. Finsterwalder
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG
Bernau a. Ch./ Hittenkirchen, Deutschland

H. Kraiger
GWU Geologie-Wasser-Umwelt, Salzburg,
Österreich

KURZFASSUNG: Im Bereich des Bahnhofs Gmunden in Oberösterreich versickerten bei einem Rangierunfall 2007 60.000 kg Diesel im Untergrund. Auf Grundlage von Emissionsgrenzwertanalysen wurde ermittelt, dass 7 Jahre nach dem Unfall erste Dieselbestandteile durch vertikalen Stofftransport den Grundwasserleiter erreichen werden. Um dies abzuwenden, wurde die Wirksamkeit einer biologischen in situ Sanierung durch Belüftung (Bioventing) mittels einer Emissionsgrenzwertanalyse mit positivem Ergebnis untersucht. Im Zentrum des Schadens ist eine Bodenluftmessstelle eingerichtet, über die täglich automatisch die Bodenlufttemperatur, sowie die Bodenluftbestandteile gemessen werden. Aus der Zusammensetzung der Bodenluft wird die biologisch abgebaute Menge an Diesel in insgesamt drei horizontalen Reaktionsbereichen bilanziert. Die Auswertungen der seit September 2010 in Betrieb genommenen Belüftung zeigen, dass das Sanierungsziel im Herbst 2016 erreicht sein wird. Im Bereich des Schadens wurden aus Bohrkernen Feststoffproben genommen und Analysen als Kontrolle dieser Aussage durchgeführt. Die daraus abgeleitete Restbelastung ergab eine sehr gute Übereinstimmung im Vergleich zur Massenbilanz auf Basis der Bodenluftmessungen. Auch im Grundwasserleiter sind keine Belastungen aus dem Dieselunfall nachweisbar, was die Ergebnisse der Emissionsgrenzwertanalysen zum Zeitpunkt der Planung bestätigt.

1 EINLEITUNG

Im Bereich des Bahnhofs Gmunden in Oberösterreich versickerten bei einem Rangierunfall 2007 rd. 60.000 kg Diesel im Untergrund (Abb. 1). Davon wurden ca. 5.000 kg unmittelbar nach dem Unfall beseitigt. Die in Abstimmung mit der Behörde durchgeführten Untersuchungen ergaben eine belastete Fläche von etwa 1.400 m². Die Belastung des Untergrundes (ungesättigte Bodenzone) mit Diesel reichte bis zu einer Tiefe von 25 m. Eine Sanierung mit Bodenaustausch hätte zu einer Schließung des betroffenen Gleisbereiches über eine längere Zeit erfordert. Deshalb wurde der Planer beauftragt, nach alternativen Sanierungsmethoden ohne Bodenaustausch zu suchen. Auf Grund der günstigen Geologie, Flurabstand des Grundwasserleiters 60 m, war zum Untersuchungszeitpunkt nicht einmal die Hälfte des ungesättigten Bodenkörpers betroffen. Auf Grundlage von Emissionsgrenzwertanalysen (Finsterwalder & Sager 2015) wurde ermittelt, dass 7 Jahre nach dem Unfall erste Dieselbestandteile durch vertikalen Stofftransport den Grundwasserleiter erreichen werden. Die maximale tolerierbare Belastung des Grundwassers (Schwellenwert) mit Diesel wurde von der Behörde mit 100 µg/l festgelegt. Die Wirkung einer biologischen in situ Sanierung durch Belüftung (Bioventing) auf die Stoffumsetzung zur Reduktion des Dieselemissionspotentials wurde unter diesen Vorgaben untersucht. Die Ergebnisse der Emissionsgrenzwertanalysen zeigten, dass eine Belüftung, wenn diese aus mehreren horizontalen Reaktionsbereichen besteht, eine unzulässige Belastung des Grundwassers mit Diesel zuverlässig verhindern kann.



Abb. 1: Unfallstelle mit Schadfläche (Google Maps 2009)

2 NACHWEIS DER WIRKSAMKEIT VON MASSNAHMEN DURCH EMISSIONSGREZWERTANALYSEN ZUM ZEITPUNKT DER PLANUNG

2.1 Belastungsgrenzwerte der Grundwasserleiter ohne Maßnahmen

Aus den Bodenuntersuchungen war bekannt, dass der Diesel bis auf eine Tiefe von 25 m in den Boden eingedrungen war. Für die Bewertung war es erforderlich, die Entwicklung des Schadens mit und ohne Sanierung zu kennen. Hierzu wurde eine Emissionsgrenzwertanalyse für den Ist-Stand nach dem Unfall (ohne Sanierung) durchgeführt (Abb. 2). Daraus ist ersichtlich, dass Dieselbestandteile nach etwa 7 Jahren den Grundwasserleiter erreichen können. Die maximal mögliche Belastung tritt nach 30 Jahren auf, wobei der zulässige Schwellenwert um das 6,7 fache überschritten wird. Für die Sanierung, ungeachtet der gewählten Maßnahme, bleibt etwa ein Zeitfenster von 8 Jahren, um die Grundwasserbelastung dauerhaft unter den zulässigen Schwellenwert zu halten. Als mögliche Sanierungsmaßnahmen kamen die Beseitigung des Schadens durch Bodenaustausch infrage mit nachfolgender thermischer Behandlung oder eine in situ Belüftung, um den Bahnhofsbetrieb nicht einzuschränken. Man entschied sich für letztere Maßnahme, wenn sichergestellt wird, dass der zulässige Schwellenwert des Grundwassers von 100 µg/l (Kohlenwasserstoff-Index) eingehalten wird.

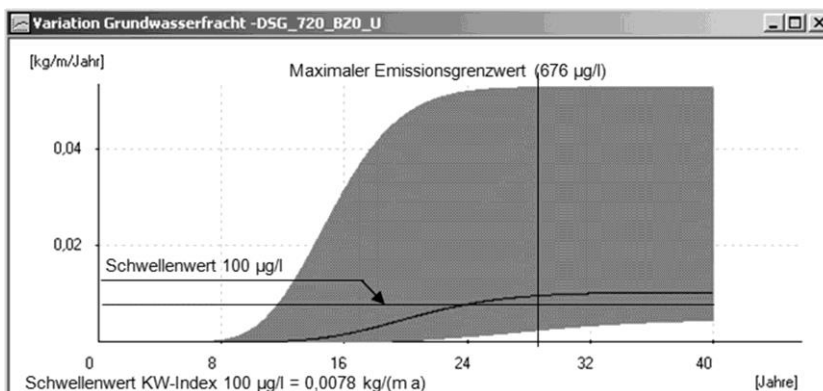


Abb. 2: Emissionsgrenzwertanalyse für den Ist-Stand nach dem Unfall (ohne Sanierung) für den Parameter Kohlenwasserstoff-Index.

Die Ermittlung von Konzentrationen in Frachten und umgekehrt erfolgt standardspezifisch. Für Gmunden gilt: 100 µg/l im Grundwasserleiter entsprechen 0,0078 kg/(m a).

2.2 Grundlagen

Der Schaden wurde vom Büro „Geologie – Wasser – Umwelt“ (GWU 2007) ausführlich in seiner Ausdehnung untersucht und speziell die Geologie und Hydrogeologie des Umfeldes beschrieben. Untersuchungen zum biologischen Abbaupotential der Dieselbestandteile wurden von „ARC (Austrian Research Centers GmbH 2009) mit und ohne Zuführung von Nährstoffen durchgeführt. Beide Berichte bilden die Grundlage der Planung zur in situ Sanierung durch Belüftung des betroffenen Bodenkörpers. Als Ergebnis der Vorplanung haben sich für die Entwurfsplanung folgende Kriterien als besonders wichtig in Bezug auf die Vermeidung einer möglichen zukünftigen Grundwasserbelastung herausgestellt:

- Halbwertszeit des biologischen Abbaus mit und ohne Nährstoffe aus den Versuchsdaten von ARC;
- Nährstoffversorgung des mit Diesel belasteten Bodenkörpers;
- Grenzzustand der Grundwasserbelastung durch Dieselbestandteile;
- Mögliche Belastung des Grundwassers durch die Nährstoffzugabe;
- Entwicklung des Konzeptes der Belüftung und Auslegung der Belüftung;
- Festlegung der wahrscheinlichen Belüftungszeit;
- Überwachung der biologischen Umsetzung;

Mittels der Belüftung soll das Risikopotential an Kohlenwasserstoffen im Untergrund durch Oxidation mit Luftsauerstoff verringert werden. Die abbaubaren Kohlenwasserstoffe werden neben Wasser zu Kohlendioxid oxidiert, welches zusammen mit dem Luftstickstoff gasförmig ausgetragen wird. Die Dauer der Belüftungszeit orientiert sich an den Zielvorgaben der tolerierbaren Grundwasserbelastung. Aus den Versuchen von ARC (Austrian Research Centers 2009) kann die Größe der Umsatzrate ermittelt werden und daraus die Zeitdauer des Belüftungsbetriebes ermittelt werden. Die Emissionsgrenzwertanalysen werden mit dem Programm „DESi Variation“ (Finsterwalder & Natterer 1998) durchgeführt. Der Betrachtungszeitraum beträgt 40 Jahre vom Zeitpunkt des Schadens an gerechnet. Die Erfolgskontrolle der Maßnahme während der Belüftung erfolgt über die Analyse der Bodenluftparameter, die online überwacht werden. Daraus wird der Massenumsatz im Bereich des Schadens bestimmt.

2.3 Entwicklung des Konzeptes der Belüftung

Die wesentlichen Parameter für eine erfolgreiche Umsetzung sind die Zuführung von Sauerstoff und von Nährstoffen, um für die Biologie im Boden möglichst optimale Bedingungen zu schaffen. Die Biologie im Boden funktioniert auch ohne Zufuhr von Nährstoffen, aber die Abbaurate beträgt dann lediglich ein Drittel der möglichen. Da in diesem Fall die Abbauprate sehr wichtig war, wurde untersucht, wie man die Nährstoffe zu den Bodenbakterien transportiert. Als Lösung stellte sich die Düngung des Gleiskörpers im Bereich der Schadensstelle im Abstand von 3 Monaten heraus. Der eigentliche Transport der Nährstoffe erfolgt mit den Niederschlägen. Die Verteilung der Nährstoffe im Bodenkörper unter Berücksichtigung der Standortbedingungen als Funktion der Zeit zeigt Abb. 3. Die in Abb. 3 dargestellte Verteilung der Nährstoffe im Boden reicht aus, um die im Belüftungsversuch ermittelten Abbauraten mit einer biologischen Halbwertszeit von ca. 2 Jahren bei einer Bodentemperatur von 11° C sicherzustellen. Die festgestellte Temperaturerhöhung im Boden resultiert aus der Energiefreisetzung durch die biochemische Oxidation. Um die gewünschten hohen Umsatzraten von Diesel zu erreichen, wurde eine spezielle Belüftungsmethode entwickelt, die sicherstellt, dass der Luftsauerstoff sich auch wie vorgesehen im Porenraum des Bodens verteilt und nicht die limitierende Größe darstellt. Die Lösung besteht aus zwei Maßnahmen:

- a) das Einblasen der Luft in den Boden in 3 horizontale Reaktionsbereiche (Belüftungshorizonte) und
- b) in der Steuerung der Luftmengen, abgestimmt auf die Einpressstellen.

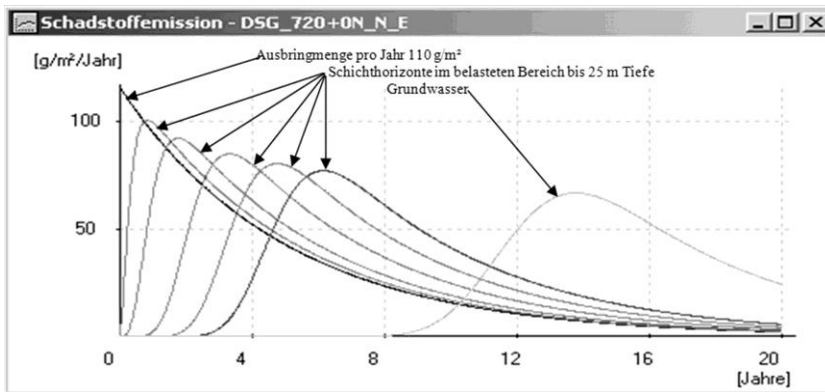


Abb. 3: Emission des Nährstoffes Stickstoff (N) durch die Schichten

Die Anordnung der Belüftungshorizonte ist schematisch aus der Abb. 4 ersichtlich. Es bilden sich drei Belüftungshorizonte aus, wobei der unterste so angeordnet ist, dass die Luft sich auch unter den Schadensherd ausbreiten kann. Dadurch wird sichergestellt, dass die durch Niederschlagswasser in tiefere Zonen verfrachteten Dieselbestandteile weitgehend oxidiert werden. Die untere Grenze des belüfteten Porenraums bildet der Grundwasserleiter.

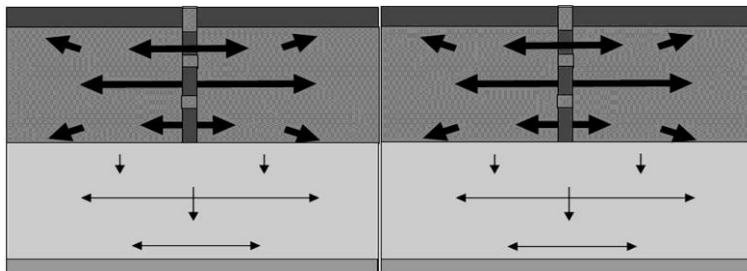


Abb. 4: Belüftungsbrunnen und Luftausbreitung schematisch

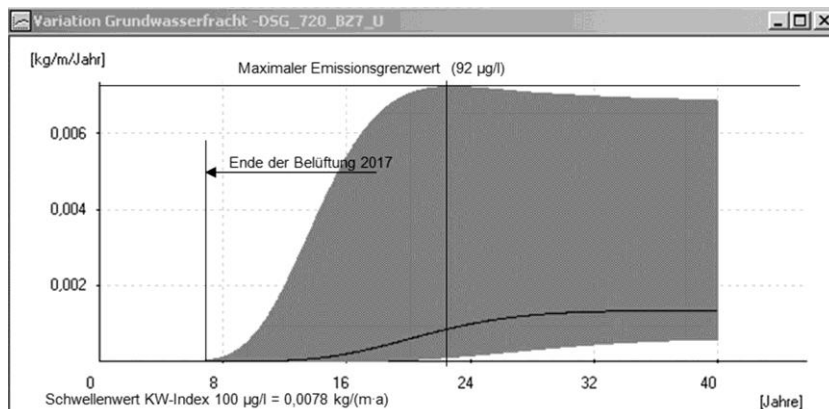


Abb. 5: Emissionsgrenzwertanalyse bei einer Belüftungszeit von 7 Jahren

Nachdem die Daten aus dem Bereich „biologische Umsetzung“ durch die Planung als gesichert durchführbar festgelegt waren, wurden mit diesen Daten Emissionsgrenzwertanalysen mit unterschiedlichen Belüftungszeiten durchgeführt. Die Abb. 5 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer Belüftungszeit von 7 Jahren. Als Ergebnis kann man festhalten, dass der zulässige Schwellenwert von $100 \mu\text{g/l}$, entsprechend einer standortspezifischen Fracht von $7,8 \text{ g}/(\text{m a})$, eingehalten wird. Der Emissionsgrenzwert von $92 \mu\text{g/l}$ wird 23 Jahre nach dem Unfall erwartet. Zum Zeitpunkt der Belüftungsabschaltung können im Grundwasser keine Verunreinigungen festgestellt werden, da die Belastungswerte erheblich unter der Nachweisgrenze von $50 \mu\text{g/l}$ (Fracht $3,9 \text{ g}/(\text{m a})$) liegt.

Auf dieser Basis wurde die behördliche Genehmigung zur in situ Sanierung durch Belüftung (Bioventing) erteilt.

2.4 Ergebnisse

Die Belüftung wurde Ende 2009 gestartet. Wie sich in der Zeit bis 2016 der Dieselabbau entwickelte, zeigt Abb. 6. Aus dem Verlauf des Dieselabbaus in den verschiedenen Horizonten erkennt man, dass im oberen Horizont ca. 34.000 kg, im mittleren Horizont ca. 14.000 kg und im unteren Horizont ca. 4.000 kg oxidiert wurden. Zusammen ergibt dies eine Menge von 52.000 kg oder 95 % des im Boden versickerten Diesels. Dieses Ergebnis wurde selbstverständlich durch Bodenanalysen überprüft und nur mit einer sehr geringen Abweichung bestätigt.

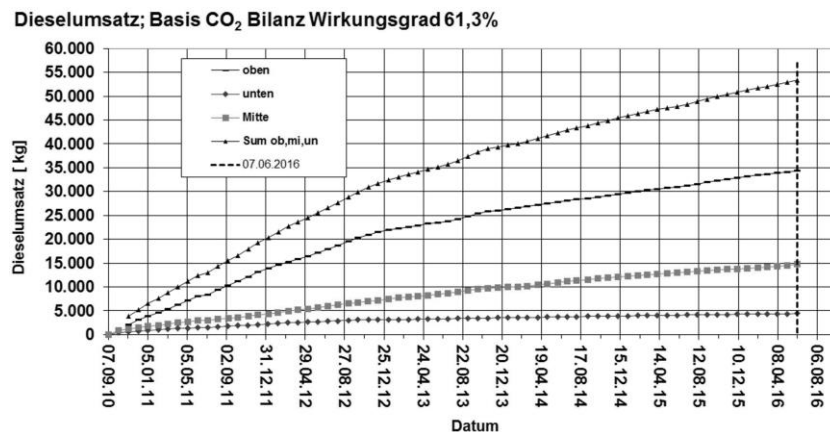


Abb. 6: Summenkurven Dieselabbau und Aufteilung des Abbaus auf die Belüftungshorizonte 1 bis 3

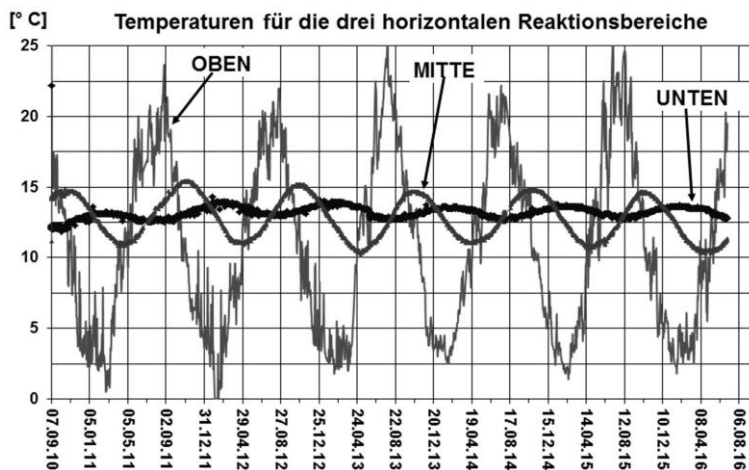


Abb. 7: Bodentemperaturen während der Belüftung in den Belüftungshorizonten 1 bis 3

Das sehr gute Ergebnis ist auch der durch die Belüftung erhöhten Bodentemperatur geschuldet, die 2° C höher liegt als in der Planung ermittelt. Die Bodentemperatur über die Belüftungszeit zeigt Abb. 7. Im oberen Horizont beträgt die Schwankungsbreite der Bodentemperatur ca. 25° C, in dem untersten Horizont nur mehr 1° C. Die mittlere Jahrestemperatur in allen Horizonten liegt etwa bei 13° C. Wiederholt man die Emissionsgrenzwertanalyse mit den während der Belüftungszeit ermittelten Daten erhält man den in Abb. 8 gezeigten Verlauf der Emissionsgrenzwerte bei einer Abschaltung der Belüftung nach 6 Jahren. Als Ergebnis kann man festhalten, dass der zulässige Schwellenwert von 100 µg/l, entsprechend einer standortspezifischen Fracht von 7,8 g/(m a) eingehalten wird. Der Emissionsgrenzwert von 63 µg/l wird 18 Jahre nach dem Unfall erwartet. Zum Zeitpunkt der Belüftungsabschaltung kann im Grundwasser keine Verunreinigungen festgestellt werden, da die gemessenen Belastungswerte erheblich unter der Nach-

weissgrenze von 50 µg/l (standortspezifische Fracht 3,9 g/(m a)) liegen. Das bedeutet, dass die Vorgaben der Behörde zum Genehmigungszeitpunkt bei einer Abschaltung im Herbst 2016, ein Jahr früher als geplant, eingehalten werden.

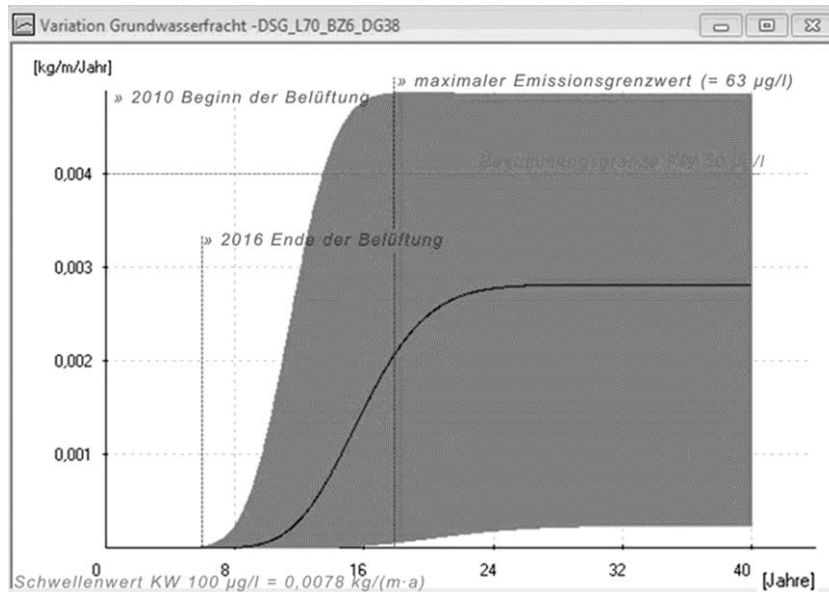


Abb. 8: Emissionsgrenzwertanalyse unter Berücksichtigung der Messergebnisse nach 6 Jahren Belüftung

3 ZUSAMMENFASSUNG

Ein Rangierunfall auf dem Bahnhofsgelände des Bahnhofs Gmunden, in dessen Folge 60.000 kg Diesel versickerten, wird mit einer speziell an die Randbedingungen des Standortes angepassten Belüftung saniert. Das Besondere an dieser in situ Sanierung durch Belüftung (Bioventing) besteht darin, dass im Rahmen der Sanierungsplanung der Nachweis erbracht wurde, dass die Grundwasserbelastung durch die Bestandteile des Diesels bei einer Belüftungsdauer von 7 Jahren langfristig sicher unter den zulässigen Schwellenwert im Grundwasser von 100 µg/l liegen werden. Eine Untersuchung des Grundwassers und des Bodens hat ergeben, dass die Abbaubilanzen auf Basis der Belüftungsdaten und der Bodenanalysen eine sehr gute Übereinstimmung aufweisen. Im Grundwasser konnten bislang keine Dieselpartikel nachgewiesen werden, was dem Ergebnis der Emissionsgrenzwertanalyse zum Zeitpunkt der Planung Abb. 5 und zum Zeitpunkt der vorgesehenen Abschaltung entspricht. Der maximal mögliche Emissionsgrenzwert beträgt 63 µg/l und wird 18 Jahre nach dem Unfall erwartet, wenn im Herbst 2016 die Abschaltung erfolgt.

LITERATUR

- Austrian Research Centers (2009) Abbauversuche Bodenproben Verschubunfall Bahnhof Gmunden. Endbericht.
- Finsterwalder K. & Natterer B. (1998) DESi® Software zur Simulation von Emissionen aus Deponien und Ablagerungen: Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co KG, 82335 Bernau / Hittenkirchen.
- Finsterwalder K. & Sager D. (2015) Biologische in-situ Sanierung von Deponien und Böden durch Belüftung. *Altlasten spektrum*. Herausgegeben vom Ingenieurtechnischen Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (ITVA). 24. Jahrgang. August 04/2015. S. 136 – 142. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, Berlin.
- Google Maps (2009) Bahnhof Gmunden Österreich.
- GWU Geologie- Wasser- Umwelt GmbH; Dieselschaden Bahnhof Gmunden (2009) Ergebnisse Erkundung Sanierungskonzept Mai.07. Dieselschaden Bahnhof Gmunden Maßnahmenbericht Fortführung. Sanierungskonzept 2 Februar 2009.