

# Überschnittene Großlochbohrung als Bodenaustauschverfahren bei der Sanierung ökologischer Altlasten

Der Austausch kontaminierten Bodens in der grundwassergesättigten Zone stellt hohe Ansprüche an den Tiefbau sowie den Arbeits- und Immissionsschutz. In den letzten Jahren werden zunehmend überschnittene Großlochbohrungen als Sanierungsverfahren angewendet, da diese kleinräumigen Verfahren bis in größere Tiefen anwendbar sind, ohne umfangreiche Verbauarbeiten oder Grundwasserabsenkungen vornehmen zu müssen. Anhand einer erfolgreichen Anwendung dieser Sanierungsmethode auf dem Grundstück einer ehemaligen chemischen Reinigung in Berlin werden Planung und Ausführung dieser Methode erläutert.



**Auf einem Industriegrundstück** in Berlin-Köpenick kam es durch unsachgemäßen Umgang mit Lösemitteln aus der Stoffgruppe der leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffe (LCKW) im Zuge des Betriebs einer chemischen Reinigung bis in die frühen 1990er-Jahre zum Eintrag dieses Umweltschadstoffes in den Boden und weiter in das Grundwasser. Die Ausbreitung der LCKW über die Grundstücksgrenze mit dem Grundwasserstrom wird

bereits seit einigen Jahren durch hydraulische Sicherungsmaßnahmen mittels Horizontal- und Vertikalbrunnen verhindert. Allerdings deuten die nur vergleichsweise geringen Abnahmen der Konzentrationen im Förderwasser auf eine hohe Akkumulation des Schadstoffes im Sediment des Grundwasserleiters hin. Um diesen Schadstoffpool zu beseitigen, wurde seitens der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Referat



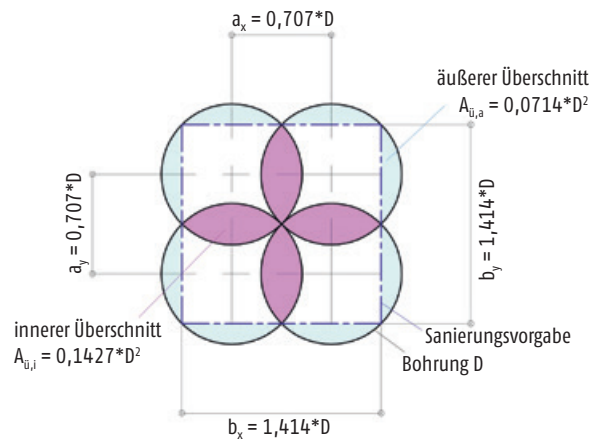
Abb.: IGB

Boden- und Grundwasseranierung, Bodenschutz der Stadt Berlin entschieden, eine Sanierung durchzuführen. Mit der Planung wurde die IGB-Ingenieurbüro für Grundwasser und Boden GmbH beauftragt.

Der zu sanierende Bodenkörper besteht im Wesentlichen aus Fein- und Mittelsanden, die bis in die erkundete Endtiefe von 45 m keine grundwasserhemmende Schicht aufwiesen. Der

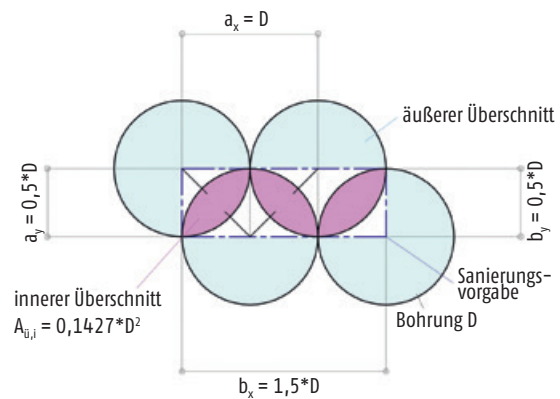
### Achsenvariante 1

Mittelpunkte in den Ecken eines Quadrats



### Achsenvariante 2

Mittelpunkte in den Ecken eines rechtwinkligen Dreiecks



### Achsenvariante 3

Mittelpunkte in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks

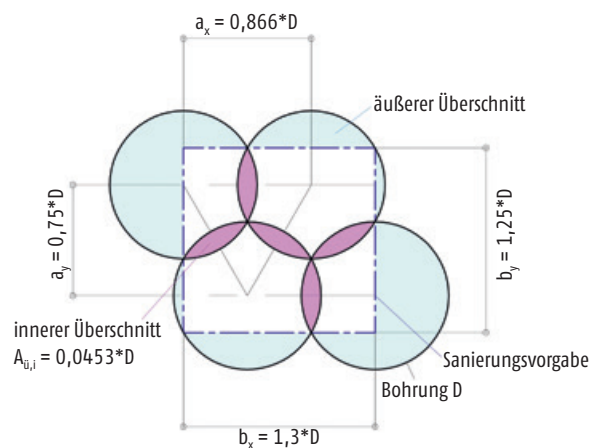


Abb. 1 – Übersicht über die verschiedenen Achsenvarianten

LCKW-belastete Boden musste in drei Sanierungsbereichen in unterschiedlichen Tiefenabschnitten gegen sauberen Boden ausgetauscht werden. Durch diese Maßnahme sollen anhaltende Lösungsprozesse im Grundwasserleiter verhindert werden und die Gefahr der weiteren Ausbreitung der LCKW mit dem Grundwasserstrom nach Beendigung der am südlichen – grundwasserabstromigen – Grundstückrand betriebenen hydraulischen

schen Grundwassersanierung minimiert werden. Die im Rahmen der Sanierungsuntersuchung vorgefundenen maximalen Belastungen des Bodens lagen bei ca. 10.000 mg/kg TS Tetrachloethen, untergeordnet Trichloethen. Weitere Anforderungen an das Bodensanierungsverfahren waren geringe Schadstoffimmissionen beim Bauablauf, die Vermeidung von Bodensetzungen an den angrenzenden Bauwerken sowie der Schallschutz.

**Planung Großlochbohrung und Hexagonalwabenverfahren  
Großlochbohrungen**

Aufgrund des geringen Grundwasser-Flurabstandes von ca. 3,3 m unter GOK wären zwar Bodenaustauschmaßnahmen im gesättigten Boden im Schutz konventioneller Verbaumaßnahmen für die Baugrubenwände in Kombination mit einer Grundwasserabsenkung möglich. Diese bedingen allerdings große offene Aushubflächen mit entsprechendem Austritt von LCKW in die Atmosphäre. Weiterhin würden die im Grundwasser gelösten Schadstoffe durch die Pumpmaßnahmen in Bereiche verschleppt werden, die derzeit nur gering oder gar nicht kontaminiert sind. Dieses Verfahren bietet darüber hinaus wenig Spielraum für eine Anpassung der Aushubgeometrie und -tiefe im laufenden Bauvorhaben. Aus den vorgenannten Gründen wurde in der Variantenstudie bei der Sanierungsplanung die

Kombination von überschrittenen Großlochbohrungen und dem Hexagonalwabenverfahren als optimale Lösung erarbeitet.

Die Großlochbohrungen und Waben bieten hierbei den Vorteil, dass aufgrund des geringen Querschnitts der Schutzverrohrung bzw. der Waben wenig Emission von Schadstoffen in die Umgebungsluft auftritt und diese durch Absaugen der Luft im Bohrloch mit anschließender Reinigung über Luftaktivkohle nahezu ausgeschlossen wird. Weiterhin ist keine Grundwasserabsenkung durch Brunnen erforderlich; zudem erlauben Großlochbohrungen die Arbeit in der unmittelbaren Nähe von Gebäuden, da keine Vibrationen (wie z. B. beim Einsatz von Hexagonalwaben) auftreten, die zu ungewollten Bodensetzungen führen.

**Hexagonalwabenverfahren**

Für Teilbereiche, die weiter entfernt von Gebäuden waren, wurde die Sanierung mittels Hexagonalwaben geplant. Die Sechseckwaben werden hierbei mittels Hochfrequenzrüttler freireitend im Wabenverbund unmittelbar nebeneinander in den Baugrund gerüttelt.

Anschließend wird der Boden in diesen Waben mithilfe von Greifern ausgehoben, mit sauberem Boden verfüllt und die Waben anschließend wieder gezogen. Aufgrund der Form der Waben können diese schlüssig angeordnet werden, es entsteht folglich kein innerer Überschchnitt wie bei den Großlochbohrungen.

**Planung der Bohrlochdurchmesser und Bohrlochordnung**

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ist der Einsatz von Drehbohranlagen für den Bodenaustausch mittels Großlochbohrungen bei größeren Flächen sinnvoll und notwendig. Der Einsatz kleinerer Bohrgeräte mit geringeren Durchmessern der Schutzverrohrung würde hingegen bei der zu sanierenden Flächengröße einen erheblichen zeitlichen und wirtschaftlichen Mehraufwand bedeuten.

Verfahrensbedingt lässt sich ein Überschchnitt der Bohrungen nicht vermeiden, sofern der Bodenkörper zu 100 % ausgetauscht werden soll.

Aus den Erkundungen der Bodenkontaminationen wurden drei Schadensbereiche festgelegt, in denen der Boden bis in Tiefen von 12 m unter GOK auszutauschen ist. Da die Schadensbereiche polygonal begrenzt sind, ergibt sich beim Bodenaustausch mittels überschrittener Großlochbohrungen im Randbereich immer ein gewisser Anteil von Boden, der außerhalb des festgelegten Sanierungsbereichs liegt. Im Zuge der Planung galt es, diesen zu minimieren, da er sich nicht in dem nach der behördlichen Vorgabe auszutauschenden Bodenkörper befand und somit nicht „sanierungsnotwendig“ war.

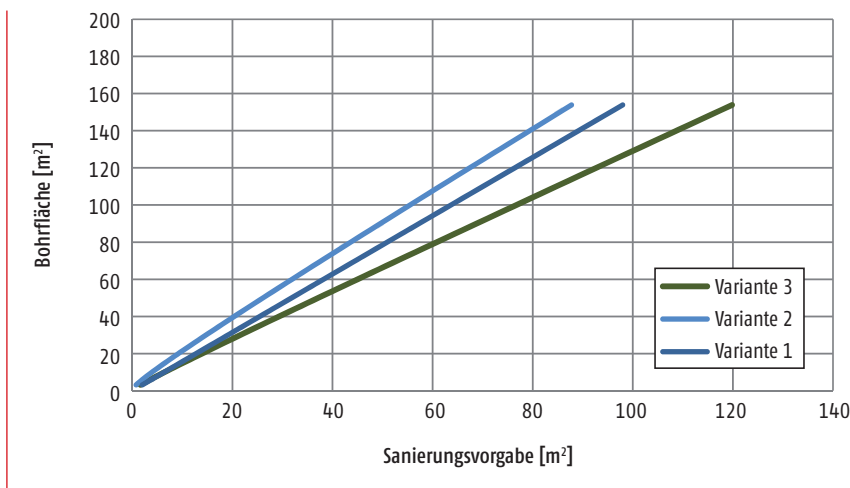


Abb. 2 – Bohrflächen der verschiedenen Achsenvarianten im Vergleich

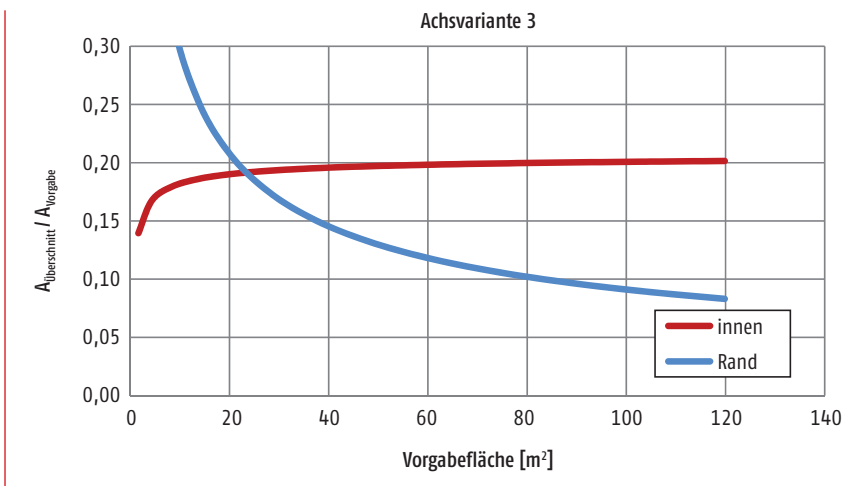


Abb. 3 – Überschnitte

### Überschnittgeometrie Großlochbohrungen

Die Anordnung der Bohrungen zueinander sowie die Bohrdurchmesser wurden im Zuge der Planung der Bodenaustauschmaßnahme in einem Variantenstudium optimiert. Ziel sollte hierbei sein, den inneren und äußeren Überschnitt der Bohrungen soweit zu minimieren, dass möglichst wenig sauberes Bodenmaterial der Bodenreinigung zugeführt werden muss.

Bei vollständig überschrittenen Großlochbohrungen entstehen innerhalb und außerhalb des vorgegebenen Sanierungsareals Flächen, die nicht kontaminierten Boden erfassen. Außerhalb der Sanierungsflächen wäre das der Boden, der nicht in der Sanierungsfläche liegt, aber trotzdem durch die randlichen

» Ein Austausch des kontaminierten Bodens mithilfe konventioneller Verbaumaßnahmen scheid aufgrund des zu erwartenden Austritts von LCKW in die Atmosphäre aus. «

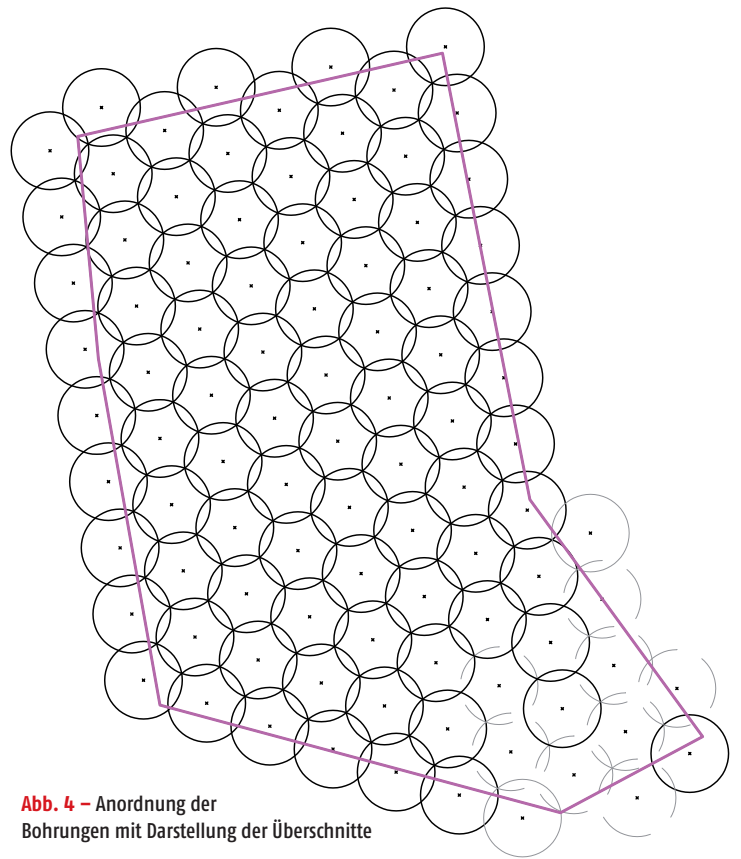


Abb. 4 – Anordnung der Bohrungen mit Darstellung der Überschnitte

Bohrungen erfasst wird; innerhalb der Sanierungsflächen sind dabei die Überschnittbereiche betroffen, in denen der Boden durch die vorangegangene Bohrung bereits ausgetauscht – also sauber – ist. Das hat zur Folge, dass mehr Boden aus-

gehoben und entsorgt werden muss, als in der Sanierungsanordnung vorgegeben ist. Dieser wirtschaftliche Nachteil gegenüber nichtüberschnittenen Sanierungstechniken wird durch den Vorteil der „Verdünnung“ – die erkundete →

[www.brunnen-iq.de](http://www.brunnen-iq.de)

JOHANN STOCKMANN  
**BRUNNEN-IQ**



# Endlich: Die App für den Brunnenbau

**JOHANN STOCKMANN BRUNNEN-IQ**  
Die praktische mobile Anwendung für alle  
Brunnenbauer und Planer.

Mehr Wissen wollen und kostenlos downloaden:



Wir sehen uns auf der **bauma 2016**, Freigelände Nord, Stand FN.524/7.

Abb. 5 – Entleerung des Bohreimers



Schadstoffmenge verteilt sich auf ein größeres Aushubvolumen – nicht kompensiert.

Optimierungsziel muss es also sein, den Anteil der Überschnitte zu minimieren. Dies geschieht durch die Wahl einer optimalen Anordnung des Bohrachsenrasters. Im Folgenden wird dies an einer rechteckig begrenzten Vorgabefläche erläutert.

Für vollständig überschchnittene Bohrungen gibt es die in Abbildung 1 gezeigten, sich in der Zuordnung der Bohrmittelpunkte unterscheidende Möglichkeiten. Die Gegenüberstellung der Abhängigkeiten zwischen Vorgabefläche und daraus resultierender erforderlicher Bohrfläche für die jeweiligen Achsvarianten wird in Abbildung 2 dargestellt. Unabhängig vom Bohrdurchmesser sind Vorgabefläche und erforderliche Bohrfläche linear voneinander abhängig.

Danach ist die Variante 3 mit versetzten Bohrungen und Achsabständen von  $a_x = 0,866 \cdot D$  bzw.  $a_y = 0,75 \cdot D$  die optimale. Sie erfordert gegenüber der Vorgabefläche 29,9 % mehr an Bohrfläche. Demgegenüber benötigt die Variante 1 57 % und die Variante 2 72 % mehr Fläche.

Der prozentuale Anteil der Überschnittflächen an der Vorgabefläche ist exponentiell abhängig von der Vorgabeflächengröße. Der Anteil des inneren Überschnitts beträgt bei 100 m<sup>2</sup> vorgegebener Fläche 20 %, der des Randüberschnitts hingegen 9 %.

Angewandt auf den in Abbildung 4 dargestellten Teilabschnitt, bedeutet dies, dass zur Sanierung eines vorgegebenen Bodenkörpers von 749 m<sup>3</sup> (107 m<sup>2</sup> Fläche, violette Umrandung mit 7 m Sanierungsteufe) insgesamt 216 m<sup>3</sup> sauberer Boden mit entsorgt werden mussten.

Tabelle 1 – Anzahl der Bohrungen und Hexagonalwaben

Sanierungsbereich	Endtiefe Sanierung	Anzahl Großlochbohrungen	Anzahl Hexagonalwaben
<b>1. Bauabschnitt</b>			
A mit 107 m <sup>2</sup> Sanierungsfläche	7-8 m u. GOK	84	0
B mit 306 m <sup>2</sup> Sanierungsfläche	4-7 m u. GOK	0	184
C mit 517 m <sup>2</sup> Sanierungsfläche	4-8 m u. GOK	211	180
<b>2. Bauabschnitt (Nachsanierung)</b>			
A	12 m u. GOK	87	0
B	12 m u. GOK	23	0
	<b>Summe</b>	<b>405</b>	<b>364</b>

### Ausführung der Sanierungsmaßnahme

Die Großlochbohrungen wurden als Trockenbohrung mit Schutzverrohrung ausgeführt (vgl. Aufmacher). Zum Einsatz kamen dabei Schutzverrohrungen im Durchmesser von 1.500 mm im ersten Bauabschnitt, beim zweiten Bauabschnitt wurden die Bohrungen im Durchmesser von 1.180 mm durchgeführt. In Tabelle 1 sind die durchgeführten Bohrungen aufgeführt.

Die Ausführung der Austauschbohrungen erfolgte mit diesen Arbeitsschritten:

1. Bohren der Schutzverrohrung bis auf Endteufe ohne Auflastwasser,
2. Ausbohren des kontaminierten Bodens mittels Bohreimer,
3. Verfüllung des Bohrlochs mit sauberem Boden (LAGA-Klasse Z0) und
4. Ziehen der Verrohrung.

Anschließend wurde die Drehbohranlage auf das nächste Bohrloch umgesetzt und die Schritte 1-4 erneut durchgeführt. Das geförderte Bohrgut wies im grundwassergesättigten Bereich nur relativ geringe Wassergehalte auf. Bilanzierungen erbrachten einen durchschnittlichen Wassergehalt von 16 %, trotz des anstehenden Fein- und Mittelsandes, der ein deutlich höheres Porenvolumen besitzt.

Das LCKW-belastete Bohrgut wurde aus dem Bohreimer in einen Container verladen und mithilfe eines Radladers (Abb. 5) anschließend zur Entwässerung in stationäre, verschließbare Deckelcontainer verbracht. Diese Entwässerungscontainer waren wasserdicht verschlossen und an eine Unterdruckentwässerungsanlage angeschlossen. Das Entwässerungswasser wurde zu einer Grundwasserreinigungsanlage geleitet und dort von den LCKW-Belastungen (bis zu 8.400 µg/l LCKW) gereinigt. Nach einer Entwässerungszeit von 24 Stunden erfolgte die Abfuhr des Bodens in Deckelcontainern: Mittels LKW wurden diese zu Bodenaufbereitungsanlagen zur Wäsche bzw. thermischen Behandlung verbracht.

Insgesamt wurden im Verlauf der Sanierungsmaßnahme auf den drei Sanierungsflächen ca. 9.000 m<sup>3</sup> Boden mittels der Großlochbohrungen und dem Hexagonalwabenverfahren ausgetauscht. Dies geschah in zwei Bauabschnitten, wobei im zweiten Abschnitt die Nachsanierung von Tiefenbereichen bis 12 m unter GOK mit erhöhten LCKW-Kontaminationen stattfand. Diese Tiefenkontaminationen zeigten sich erst im Zuge der Sanierungsarbeiten des ersten Bauabschnittes. Dessen Bauzeit betrug sechs Monate, die des zweiten Bauabschnitts ca. sechs Wochen. Bezüglich der ausgetragenen Schadstoffmasse lässt sich nach Abschluss der Maßnahme folgendes Fazit ziehen: Insgesamt wurden in beiden Bauabschnitten 13.800 t Bodenmenge entsorgt, das Gros entfiel dabei mit 12.100 t auf den Bauabschnitt 1 (Abschnitt 2: 1.700 t). Das LCKW-Inventar beläuft sich in der Summe auf 6.361 kg, wobei auch hier der Bauabschnitt 1 mit 6.181 kg den Löwenanteil stellt (Abschnitt 2: 180 kg).

### Autoren

Stefan Schulze  
Dieter Schulze  
IGB-Ingenieurbüro für Grundwasser und Boden GmbH  
Beethovenstr. 11  
12247 Berlin  
Tel.: 030 766877-43  
Fax: 030 766877-46  
stefan.schulze@igb-umweltschutz.de  
www.igb-umweltschutz.de

Irina Müller  
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt  
Referat Boden- und Grundwassersanierung, Bodenschutz  
VIII C 28  
Brückenstr. 6  
10179 Berlin  
Tel.: 030 9025-2473



Qualität Made in Germany



Karriere bei  
**STÜWA**  
-  
Bewerben  
Sie sich jetzt!

STÜWA Konrad Stükerjürgen GmbH  
Tel.: 05244 / 407-0 www.stuewa.de