

Störung des Baugrundes durch Kampfmittelerkundungsbohrungen

Dipl. Geol. Anne Heeling
Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, Wedeler Landstr. 157, 22559 Hamburg
Telefon: (040) 81908-367, E-Mail: anne.heeling@baw.de

Zusammenfassung

Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungs- (FuE-) Vorhabens untersucht die Bundesanstalt für Wasserbau die Störung des Baugrundes infolge Kampfmittelerkundungsbohrungen. Ziel der Untersuchungen ist eine quantitative Beschreibung der Festigkeitsänderungen im Boden in Abhängigkeit von Bohrverfahren, Bohrraster, Erkundungstiefe, Bohrlochverfüllung und Baugrundtyp.

1 Problemstellung

Im Vorwege einer Baumaßnahme ist die Kampfmittelfreiheit im Baufeld sicherzustellen. Die zur Kampfmittelsuche eingesetzten, überwiegend magnetischen und elektromagnetischen Sondierverfahren arbeiten selbst zwar zerstörungsfrei, erfordern aber häufig Bohrungen, bei denen die Messsonde vom Bohrloch aus eingesetzt wird. Das Erkundungsraster und die Erkundungstiefe werden vom Kampfmittleräumdienst (KRD) des jeweiligen Bundeslandes auf Grundlage länderspezifischer Verordnungen und Verwaltungsvorschriften (für den Bund gelten zudem eigene Vorgaben) oder einzelfallbezogen nach dem Ermessen des Sachverständigen nach Sprengstoffgesetz (SprengG) festgelegt.

Hier kommt es zu einem Interessenkonflikt zwischen dem KRD einerseits und dem Bauherrn bzw. dessen Baugrundgutachter andererseits. Während der KRD für gesicherte Aussagen zum Kampfmittelverdacht ein möglichst enges Erkundungsraster benötigt, bedeutet die Kampfmittelsondierung mittels Bohrungen für den Bauherrn zusätzlich zum Zeit- und Kostenaufwand eine Störung des Bodens, die es aus geotechnischer Sicht zu begrenzen gilt.



Bild 1: Bohrungen für eine Kampfmittelerkundung (Foto: Fichtner Water + Transportation GmbH, Hamburg)

Zum Ausmaß der durch Kampfmittelsondierungen verursachten Veränderung der Festigkeitseigenschaften des Bodens liegen derzeit keine gesicherten Infor-

mationen vor. Diese wären aber eine wichtige Grundlage für erdstatische Bemessungen, d.h. für die Dimensionierung von Bauteilen. Zudem können Altsondierungen, die vor der Kampfmittelerkundung durchgeführt wurden, nur in Kenntnis der veränderten Festigkeiten neu interpretiert werden.

2 Einflussfaktoren

Die Störung des Baugrundes durch Kampfmittelerkundungsbohrungen wird deshalb von der BAW seit 2013 in einem FuE-Vorhaben auf der Grundlage von Feldtests untersucht. Es wird dabei von folgenden, geotechnisch relevanten Einflussfaktoren auf die Festigkeiten des Bodens ausgegangen:

- Bohrverfahren,
- Bohrraster,
- Erkundungstiefe,
- Bohrdurchmesser,
- Bohrlochverfüllung und
- Baugrundtyp (bindig/nichtbindig, über/unter Grundwasser, unterschiedliche Ausgangsfestigkeit).

3 Methodik

3.1 Grundlagenermittlung

Die Kampfmittelverordnungen der Länder und des Bundes wurden hinsichtlich geotechnisch relevanter Vorgaben gesichtet. Jedoch geben nicht alle Bundesländer Kampfmittelverordnungen heraus, und in Absprache mit dem KRD oder der auf Kampfmittelsuche spezialisierten Fachfirma sind auch abweichende Erkundungsverfahren zulässig.

2014 wurde deshalb mittels einer Fragebogenaktion sowie im Rahmen von Einzelgesprächen mit Fachfirmen, KRDs und Flächeneignern hinterfragt, wie Kampfmittelerkundungen in der Praxis am häufigsten durchgeführt werden.

Im Ergebnis zeigt sich, dass – in Abhängigkeit von der projektspezifischen Fragestellung – überwiegend

- als Bohrverfahren Hohlbohr- oder Endlos-schnecken zum Einsatz kommen,

- meist Bohrlochraster von ca. 1,5 m Seitenlänge realisiert werden,
- die Erkundungstiefe um 6 m ab Geländeoberkante beträgt und
- die Bohrlöcher nicht oder mit Bohrgut verfüllt werden.

3.2 Feldtests

Ziel der Feldtests ist es, die Störung des Baugrundes in einem kampfmittelfreien Testfeld durch Vergleich der Festigkeiten vor und nach einer simulierten Kampfmittelerkundung quantitativ mittels Vorher- und Nachher-Sondierungen zu erfassen (Bild 2). Als Sondierverfahren können Drucksondierungen (CPT) oder Sondierungen mit der Leichten (DPL) oder Schweren Rammsonde (DPH) zum Einsatz kommen.

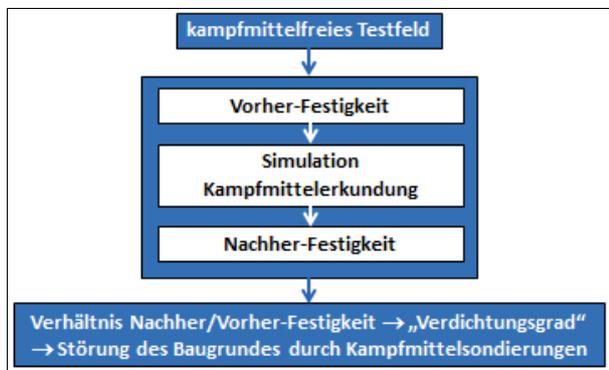


Bild 2: Versuchsphilosophie

Auf der Grundlagenermittlung fußend wird der Einfluss einer „üblichen“ Kampfmittelerkundung (s.o.) auf die Festigkeiten bei unterschiedlichem Baugrundaufbau bestimmt. Zusätzlich werden auch solche weniger gebräuchlichen Methoden bzw. Vorgehensweisen untersucht, bei denen zu erwarten ist, dass der Baugrund schwächer oder intensiver gestört wird, um so die Spannweite möglicher Festigkeitsänderungen zu ermitteln:

- Bohrverfahren: Hohlbohr- oder Endlosschnecke / verrohrte Trockenbohrung / Spülbohrung,
- Bohrlochraster: 0,5 m / 1,5 m / 3 m,
- Bohrteufe: 6 m; Sondierteufe: 7 m,
- Bohrlochverfüllung: Bohrgut / Na-aktiviertes Bentonit-Zement-Gemisch (Dämmer Typ 2).

Aufgrund örtlicher Gegebenheiten konnten beim Feldtest Ellerholz 2013 nicht alle Einflussfaktoren untersucht werden.

Bezüglich der Anordnung der Bohrungen und Sondierungen im Testfeld sind folgende - sich z.T. widersprechende – Ansprüche zu berücksichtigen:

- Um die Abhängigkeit der Störung des Baugrundes vom Bohrraster zu bestimmen, dür-

fen die Festigkeitsänderungen an den Messpunkten nur von den Bohrungen an den zugehörigen Dreieckseckpunkten beeinflusst werden. Nicht zu diesem Raster gehörige Bohrungen sollten möglichst weit entfernt sein. Entsprechend sollte das Testfeld möglichst groß sein.

- Um einen einheitlichen Baugrund zu garantieren, sollte das Testfeld möglichst klein sein.
- Zur Aufwandsminimierung sollten möglichst wenige Bohrungen und Sondierungen abgeteufelt werden, d.h. einzelne Bohrungen sollten - wie auch bei einer realen Kampfmittelerkundung – die Eckpunkte mehrerer Dreiecke bilden.

Bild 3 zeigt schematisch den Aufbau eines Testfeldes.

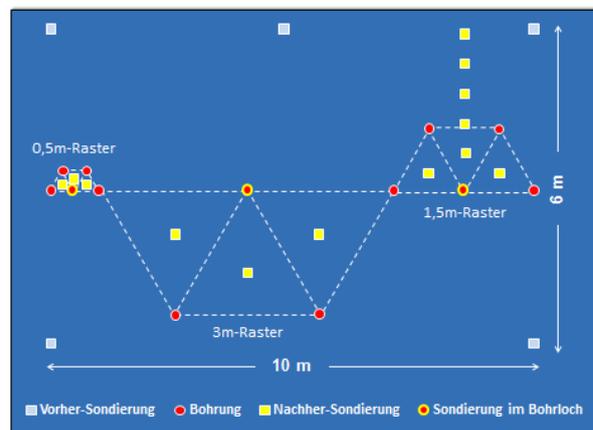


Bild 3: Aufbau Testfeld

Zunächst werden fünf Vorher-Sondierungen (hellblau) an den Außenlinien des Testfeldes abgeteufelt. Anschließend folgen 13 „Kampfmittel“-Bohrungen, die die Eckpunkte von je drei Dreiecken mit 0,5 m, 1,5 m und 3 m Seitenlänge bilden. Danach werden in den Dreiecksmittelpunkten die Nachher-Sondierungen (gelb) abgeteufelt. Zusätzlich werden senkrecht zum 1,5m-Raster weitere Nachher-Sondierungen durchgeführt, mittels derer der Einflussradius der Bohrung untersucht wird.

Für jeden Baugrundtyp wird in einer Testfeld-Gruppe - bestehend aus je fünf Einzelfeldern - die in-situ-Festigkeit des Bodens vor und nach der simulierten Kampfmittelerkundung bestimmt. Jedes Einzelfeld repräsentiert eine spezielle Kombination aus Bohrverfahren und Bohrlochverfüllung:

- Testfeld VB: Verrohrte Trockenbohrung, Bohrlochverfüllung mit Bohrgut
- Testfeld VZ: Verrohrte Trockenbohrung, Bohrlochverfüllung mit Zement-Gemisch

- Testfeld HB: Hohlbohr- oder Endlosschnecke, Bohrlochverfüllung mit Bohrgut
- Testfeld HZ: Hohlbohr- oder Endlosschnecke, Bohrlochverfüllung mit Bentonit-Zement-Gemisch
- Testfeld SB: Spülbohrung, Bohrlochverfüllung mit Bohrgut

Auf die Kombination „Spülbohrung / Bohrlochverfüllung Bentonit-Zement-Gemisch“ wurde bewusst verzichtet, da diese Kombination in der Praxis kaum zum Einsatz kommen wird.

Bild 4 zeigt die Lage der zwischen 2013 und 2016 durchgeführten Feldtests mit ihrem schematisierten Baugrundaufbau.

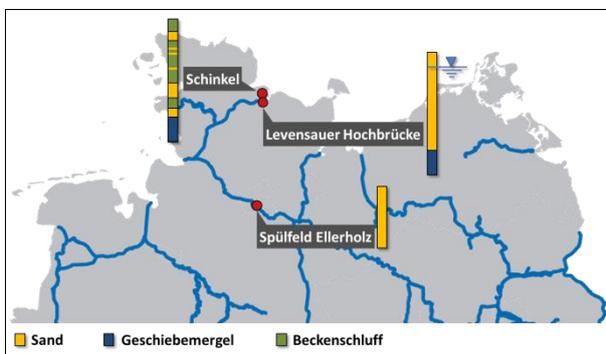


Bild 4: Feldversuche, Baugrundtyp

Im September 2013 wurden auf dem Spülfeld Ellerholz der Hamburg Port Authority Hohlschnecken- und verrohrte Trockenbohrungen im locker bis mitteldicht gelagerten Sand über Grundwasser bis in eine Tiefe von 3 m durchgeführt. Die Vorher- und Nachherfestigkeiten wurden mittels Sondierungen mit der Leichten Rammsonde (DPL, Bild 5) bis in eine Tiefe von 4 m erkundet.



Bild 5: Sondierung mit der Leichten Rammsonde, Spülfeld Ellerholz 2013

Im Juni 2015 wurde – unterstützt von der Planungsgruppe für den Ausbau des NOK (PIAusNOK) – neben der Levensauer Hochbrücke westlich von Kiel in einem mitteldicht bis dicht gelagerten Sand, örtlich unterlagert von einem Geschiebemergel weicher bis

steifer Konsistenz im Grundwasser mittels Endlosschnecke, verrohrter Trockenbohrung und Spülbohrung bis in eine Tiefe von 6 m durchteuft (Bild 1); die Vorher- und Nachher-Festigkeiten wurden im Testfeld mittels Drucksondierungen und im Bohrloch mittels Sondierungen mit der Schweren Rammsonde bestimmt.



Bild 6: Endlosschnecke, im Hintergrund verrohrte Trockenbohrung (Mitte) und Drucksondierung (rechts), Levensauer Hochbrücke 2015



Bild 7: Spülbohrung, Levensauer Hochbrücke 2015



Bild 8: Drucksondierung (links) und verrohrte Trockenbohrung (rechts), Schinkel 2016.

Im August / September 2016 wurde ebenfalls mit Unterstützung der PIAusNOK nahe der Ortschaft Schinkel westlich von Kiel bindiger Boden (Beckenschluff und Geschiebemergel) weicher bis steifer Konsistenz mit Sandlagen unterschiedlicher Festigkeit oberhalb des Grundwassers mittels bis in eine Tiefe

von 6 m durchteuft (Bohr- und Sondiertechnik wie an der Levensauer Hochbrücke).

3.3 Begleitung geeigneter WSV-Projekten

Neben Feldversuchen sollen auch geeignete Projekte innerhalb der WSV im Rahmen des FuE-Vorhabens ausgewertet werden. Voraussetzung sind

- Altsondierungen, die vor der Kampfmittelerkundung abgeteufelt wurden,
- Kampfmittelerkundungsbohrungen, bei denen Bohrverfahren, Bohrlochverfüllung und Raster dokumentiert sind; idealerweise im Raster um die Bohr- und/oder Sondieransatzpunkte,
- Neusondierungen im Anschluss an die Kampfmittelerkundung

4 Auswertung und erste Ergebnisse

Eine erste Auswertung erfolgte Testfeld-bezogen.

Zunächst werden die gewonnenen Bodenproben einer Vielzahl von Klassifikationsversuchen unterzogen.

Da die in-situ-Festigkeiten eine natürliche Schwankungsbreite aufweisen, wird zunächst aus den Vorher-Sondierungen (rosa Symbole) die Vorher-Festigkeit je Testfeld als Mittelwert definierter Tiefenbereiche in Form von Isolinien dargestellt (Bild 9). Daraus kann die Vorherfestigkeit in einer bestimmten Tiefe am Ansatzpunkt einer Nachher-Sondierung (blaue Symbole) relativ genau bestimmt werden.

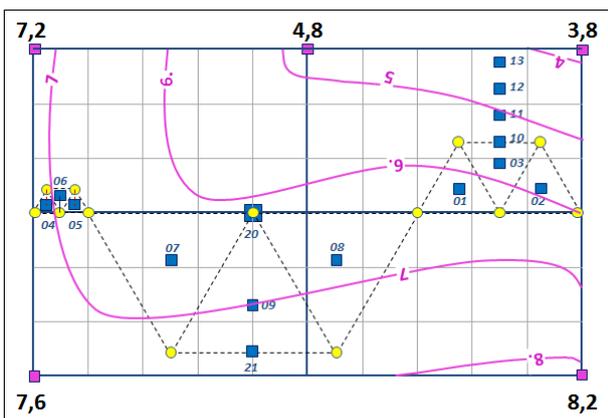


Bild 9: Ermittlung der Vorherfestigkeit, Beispiel: Mittlere DPL-Schlagzahlen N_{10} , Testfeld HB, Tiefenbereich 0,5 – 1,0 m unter GOK, Ellerholz 2013.

Aus dem Verdichtungsgrad (= Verhältnis von Nachher- zu Vorher-Sondierergebnis) kann dann pro Testfeld und Raster ein Tiefenprofil der mittleren Verdichtung bzw. Auflockerung erstellt werden. Bild 10 zeigt beispielhaft das Profil des 0,5 m Rasters im Testfeld HB für einen locker bis mitteldicht gelagerten Sand: Während es im oberen Bereich aufgrund der Befahr-

ung mit dem Bohrgerät zu keiner relevanten Änderung der Festigkeit gekommen ist, zeigt sich unterhalb von ca. 1 m unter GOK eine deutliche Auflockerung des Bodens.

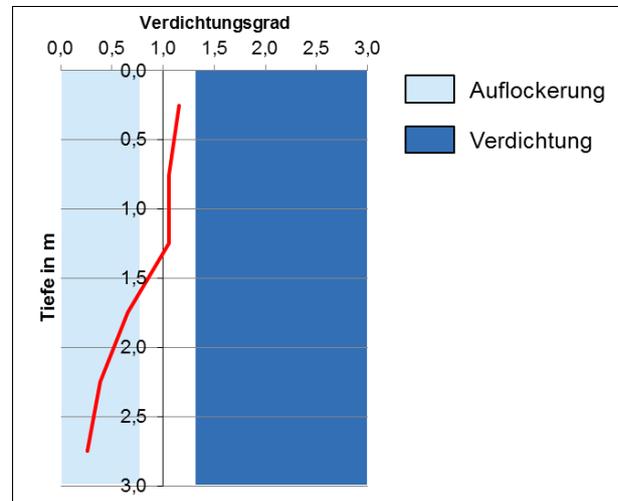


Bild 10: Verdichtungsprofil, Beispiel: Testfeld HB, 0,5m-Raster, Ellerholz 2013.

Insgesamt zeigt der Feldversuch Ellerholz, dass im nichtbindigen, locker bis mitteldicht gelagerten Boden über Grundwasser der Einfluss der Bohrlochverfüllung deutlich größer ist als der des Bohrverfahrens und dass vermutlich eine Tiefenabhängigkeit besteht.

Diese Testfeld-bezogene Auswertung erlaubt jedoch nur Aussagen zum Einfluss einzelner Parameter für einen bestimmten Baugrundtyp. 2017 erfolgt eine Testfeld-übergreifende Auswertung, die eine weitergehende Interpretation der Versuchsergebnisse in Abhängigkeit von Einflussparameter-Kombinationen erlaubt.

6 Ausblick

Aus den Ergebnissen der Testfeld-übergreifenden Auswertung ergibt sich voraussichtlich die Erfordernis weiterer Feldversuche für weitere Baugrundtypen.

Nach der Vervollständigung des Datenbestandes und zusammenfassender Auswertung sollen letztendlich quantitative Aussagen zur Veränderung der Festigkeit im Boden in Abhängigkeit von den o.g. Einflussfaktoren getroffen werden können.

Daraus können dann Empfehlungen zur Wahl des Bohrverfahrens bzw. der Bohrlochverfüllung ausgesprochen werden, die auch die Aspekte Zeit- und Kostenaufwand berücksichtigen werden.

Der jeweils aktuelle Forschungsbericht ist unter folgendem Link zu finden:
http://www.baw.de/content/files/forschung_entwicklung/documents/B3955.01.04.70362.pdf