

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Eißfeldt, Fritz P.

Sondierungen und deren Bewertung

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105519>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Eißfeldt, Fritz P. (2008): Sondierungen und deren Bewertung. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Baugrundaufschlüsse - Planung, Ausschreibung, Durchführung, Überwachung und Interpretation. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. VIII-1-VIII-6.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Sondierungen und deren Bewertung

Dipl.-Ing. Fritz Eißfeldt, Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg,
 Wedeler Landstraße 157, 22559 Hamburg,
 Telefon 040 / 81908 – 302, E-Mail: fritz.eissfeldt@baw.de

Vorbemerkung

Neben Bohrungen sind Sondierungen eine wesentliche Felduntersuchung zur Baugrunderkundung von Erd- und Ingenieurbauwerke an und auf den Wasserstraßen. Sondierungen sind indirekte Aufschlüsse im Boden, die Aufschlussbohrungen nicht ersetzen sondern ergänzen. Bei Sondierungen werden Stäbe in den Baugrund eingebracht und aus dem Eindringwiderstand indirekt auf Bodenarten, Schichtgrenzen und Festigkeiten des Untergrundes geschlossen. Zum besseren Verständnis werden zunächst die verschiedenen Sondiergeräte und Sondierverfahren erklärt. Dies erfolgt getrennt für Ramm-, Druck- und Flügelsonden sowie für die Bohrlochrammsonde. Anschließend werden Anwendung und Einsätze an und auf den Wasserstraßen aufgezeigt, wobei besonders auf die Randbedingungen dafür eingegangen wird. Im nächsten Schritt werden dann die Erkundungsziele der einzelnen Sonden vorgestellt, wobei auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren hinsichtlich Aussagekraft und Durchführbarkeit eingegangen wird. Abschließend wird die Aus- und Bewertung von Sondierergebnissen im Hinblick auf die Festlegung geotechnischer Kenngrößen, die Erkundung von Schichtgrenzen und Schichtenaufbau sowie Hinweise für die Rammbarkeit von Böden erläutert.

1 Normung

Die Durchführung von Druck- und Rammsondierungen ist in der DIN 4094-1 und DIN EN ISO 22476-2 genormt. Die Flügelsondierungen sind hinsichtlich Maße des Gerätes, Arbeitsweise und Auswertung in der DIN 4094-4 geregelt. Für die Bohrlochaufweitungssonde gilt die DIN 4094-5. Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht, in welchen Normen die einzelnen Sondierverfahren geregelt sind.

Sondierverfahren	Normen
Drucksondierung (CPT)	DIN 4094-1
Bohrlochrammsondierung (BDP)	DIN 4094-2
Rammsondierung (DP)	DIN EN ISO 22476-2 (Ersatz für DIN 4094-3)
Flügelscherversuch (FVT)	DIN 4094-4
Bohrlochaufweitungssonde (BJT)	DIN 4094-5

Tab. 1: Normen der Sondierverfahren

Die Normen enthalten Angaben über Gerätemaße, Versuchsdurchführung sowie Versuchsauswertung und Ergebnisdarstellung. Auch Angaben über die Feldaufzeichnung und Einflüsse auf die Sondierergebnisse sind in den Normen aufgeführt, so dass einheitliche Standards für die Durchführung von Sondierungen definiert sind. Abweichungen von den Normen müssen erläutert und begründet werden. Da durch die Normung eine einheitliche Grundlage vorhanden ist, können Sondierergebnisse miteinander verglichen und unter gleichen Voraussetzungen bewertet werden. Auch die Ausführung von Sondierungen lässt sich auf Grundlage der Normen überwachen und kontrollieren.

2 Drucksondierungen (CPT)

Bei Drucksondierungen wird ein Stab mit gleichbleibender Geschwindigkeit in den Boden eingedrückt. Dabei wird an der kegelförmigen Spitze der Spitzenwiderstand gemessen. An einer oberhalb der Spitze gelegenen Reibungshülse wird die lokale Mantelreibung ermittelt.

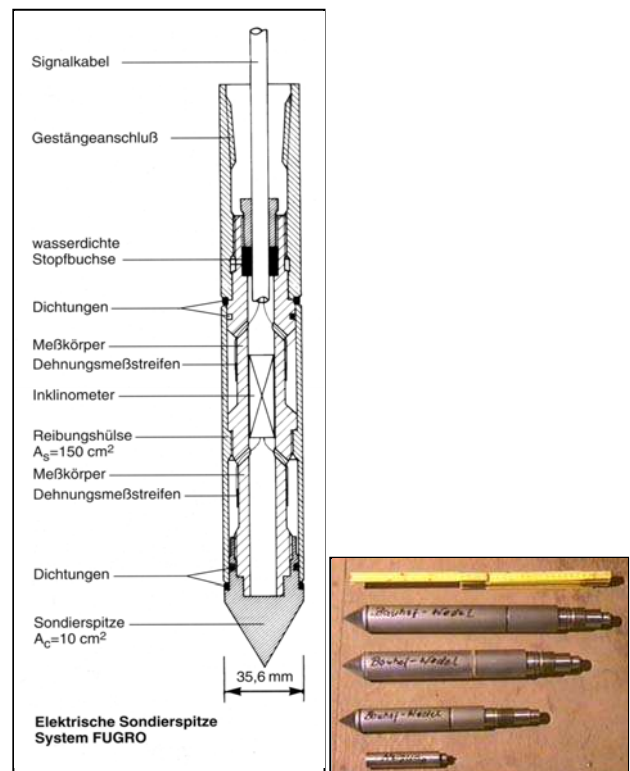


Bild 1: Elektrische Sondierspitzen

Bild 1 zeigt den Aufbau einer elektrischen Sondier-
 spitze. Neben diesen zentralen bodenmechanischen
 Messwerten wird ergänzend die Abweichung der
 Spitze von der Lotrechten und die Eindringge-
 schwindigkeit der Sonde aufgezeichnet. Mit der
 Drucksonde lassen sich – je nach Geräteausführung
 – Sondertiefen bis 40 m erreichen.

Grundsatzuntersuchungen der BAW führten zu dem
 Ergebnis, dass Sondierspitzen mit einer Spitzenflä-
 che von $A_c = 15 \text{ cm}^2$ vergleichbare Ergebnisse
 liefern wie die zur Zeit genormte Sondierspitze von
 $A_c = 10 \text{ cm}^2$. Da die Sondierspitze $A_c = 15 \text{ cm}^2$
 beim Durchdringen des Untergrundes robuster als
 $A_c = 10 \text{ cm}^2$ ist und damit auch größere Sondertiefen
 erreicht werden, kann sie bereits heute zugelassen
 werden.

Drucksondierungen an Land werden mit einem
 Sondier-LKW oder einer Sondierraupe durchge-
 führt. Der Einsatz der Geräte richtet sich sehr stark
 nach der Befahrbarkeit des Geländes und der Er-
 reichbarkeit der Sondierpunkte. Bei der Durchfüh-
 rung von Drucksondierungen ist zu regeln, ob die
 Sondierpunkte von der ausführenden Sondierfirma
 oder von den Geodäten des WSA in Höhe und Lage
 eingemessen werden.

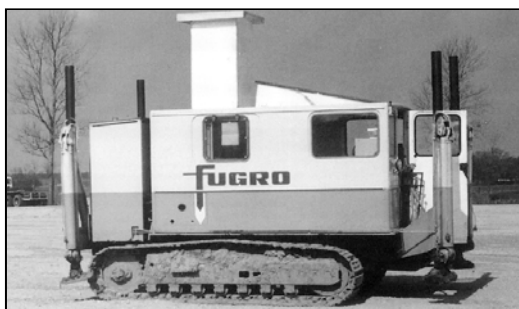


Bild 2: Sondiergeräte für Drucksondierungen
 an Land

Drucksondierungen auf dem Wasser lassen sich nur
 unabhängig von Wasserstandsänderungen und Wel-
 len einwandfrei durchführen. Daher sind für die
 Durchführung von Drucksondierungen auf dem
 Wasser entweder Hubinseln oder Stelzenpontons
 erforderlich.



Bild 3: Drucksondierungen auf dem Wasser

Bild 3 zeigt auf, von welchem Gerät Drucksondierun-
 gen auf dem Wasser durchführbar sind.

Mit Drucksondierungen können folgende Erkundungs-
 ziele erreicht werden:

- Überprüfung von Schichtenaufbau und Bo-
 denarten aus Altbohrungen
- Festlegung von Schichtgrenzen und Grün-
 dungshorizonten
- Klassifizierung von Bodenarten
- Ableitung der Festigkeiten (Lagerungsdich-
 ten) von Sanden

Am Königspolder in Emden auf Bild 4 wurden Schich-
 tenaufbau und Bodenarten beispielsweise mit Hilfe von
 Drucksondierungen überprüft.

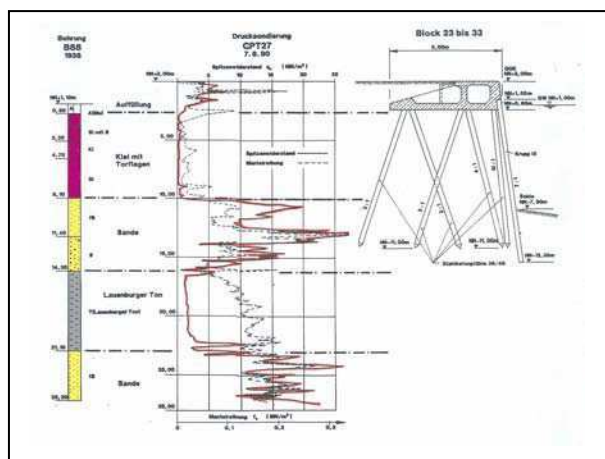


Bild 4: Überprüfung durch Drucksondierungen
 am Beispiel Königspolder Emden

Aus Altbohrungen aus dem Jahre 1938 war der grundsätzliche Bodenaufbau bekannt, so dass dieser durch Drucksondierungen kostengünstig und schnell überprüft werden konnte. Die Drucksondierungen ermöglichten eine Festlegung von Schichtgrenzen und damit Aussagen über den Gründungshorizont der vorhandenen Kaje, was aus Planunterlagen vorher nicht erkennbar war.

Aus Spitzendruck und örtlicher Mantelreibung als maßgebende Eindringwiderstände einer Drucksondierung lässt sich über das Reibungsverhältnis (Spitzendruck zu örtlicher Mantelreibung) die anstehende Bodenart ableiten. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass eine Klassifizierung von Bodenarten aus Drucksondierungen nur in Verbindung mit repräsentativen Schlüsselbohrungen erfolgen darf.

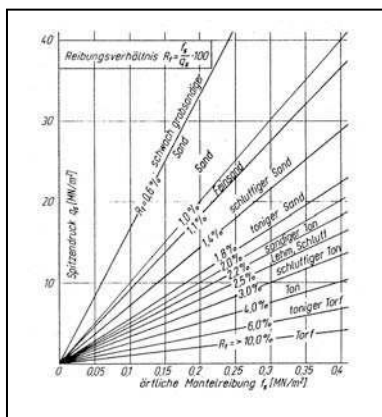
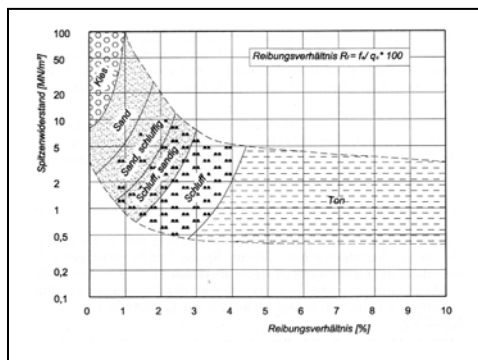


Bild 5: Klassifizierung von Bodenarten aus Drucksondierungen

Eine maßgebende Bedeutung haben Drucksondierungen für die Festigkeitsbestimmung der im Untergrund anstehenden Sande. Dazu werden die Sondierungen als Diagramme höhengerecht neben den Bohrprofilen aufgetragen. Der Sondierspitzenwiderstand q_c ist dabei ein Maß für die Festigkeit des Bodens. Mit Festigkeit ist hier summarisch die Eigenschaft eines nichtbindigen Bodens bezeichnet die durch seine Lagerungsdichte, Korngröße und Kornrauigkeit gekennzeichnet ist und sich in der Größe des Steifemoduls E_s sowie des Reibungswinkels φ' äußert. Dabei wird in Anlehnung an DIN

4094-1 und dem in Tabelle 2 angegebenen Zusammenhang zwischen dem Sondierergebnis, der Größe des charakteristischen Reibungswinkels, des Steifemoduls und der Benennung der Festigkeit ausgegangen.

Spitzenwiderstand q_c [MN/m²]	Charakterist. Reibungswinkel φ'	Steifemodul E_s [MN/m²]	Benennung der Festigkeit
< 2	< 30°	< 15	sehr gering
2 - 6	30° - 35°	15 - 50	gering
6 - 11	35° - 37,5°	50 - 80	mittel
11 - 19	37,5° - 40°	80 - 100	groß
> 19	$\geq 40^\circ$	> 100	sehr groß

Tab. 2: Bewertung von Drucksondierungen

Drucksondierungen sind das meistangewendete Sondierverfahren und liefern für eine Baugrunderkundung die besten Ergebnisse. Dies ist damit zu begründen, dass der Eindringwiderstand unmittelbar an der Spitze unabhängig von der Gestängereibung gemessen wird und darüber hinaus unabhängig von anderen geräte-technischen Einflüssen ist. Drucksondierungen sollten daher zur Bestimmung geotechnischer Kenngrößen und Bodenschichten gegenüber Rammsondierungen vorgezogen werden.

3 Rammsondierungen

Bei Rammsondierungen wird das mit einer Spitze versehene Sondiergestänge durch einen Rammhämmer bei gleichbleibender Fallhöhe in den Boden eingebracht. Die Schlagzahl pro 10 cm Eindringung wird als Eindringwiderstand N10 festgehalten. In der DIN EN ISO 22476-2 werden Angaben über die Abmessungen der verschiedenen Gerätetypen und deren Untersuchungstiefen gemacht. Dabei wird zwischen der leichten, schweren und überschweren Rammsonde unterschieden. Im Bild 6 ist die Funktionsweise der leichten und schweren Rammsonde angegeben.

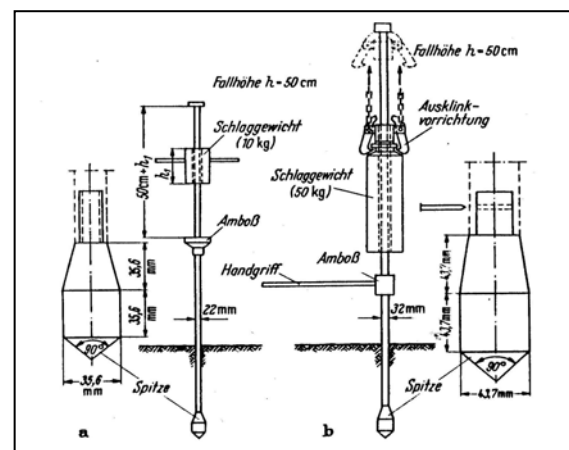


Bild 6: leichte und schwere Rammsonde

Eindringwiderstand N_{30} [1]	Reibungswinkel φ' [°]	Steifemodul E_s [MN/m ²]	Benennung der Festigkeit
< 4	< 30	< 15	sehr gering
4 - 12	30 - 35	15 - 50	gering
12 - 22	35 - 37,5	50 - 80	mittel
22 - 38	37,5 - 40	80 - 100	groß
> 38	> 40	> 100	sehr groß

Tab. 3: Bewertung der Sondierergebnisse aus Bohrlochrammsondierungen

5 Flügelsondierungen (FVT)

Bei Flügelsondierungen wird der Widerstand des Bodens gegenüber Abscheren gemessen. Die Flügelsondierungen finden vor Ort im Gelände statt und fallen daher – wie die Ramm- und Drucksondierungen – ebenfalls unter die Felduntersuchungen. Flügelsondierungen sind für wassergesättigte bindige und organische Böden von weicher bis steifer Konsistenz geeignet und liefern im Ergebnis die Gesamtscherfestigkeit des undränierten Bodens c_u [kN/m²] (auch Anfangsscherfestigkeit genannt).

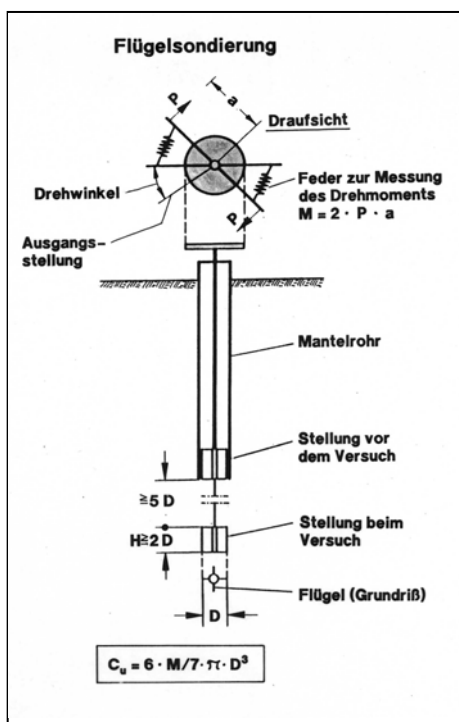


Bild 9: Versuchsdurchführung von Flügelsondierungen

Die Flügelsonde besteht aus einem Stab, an dessen unteren Ende vier Flügel vorgegebener Abmessungen angeordnet sind. Der Stab mit dem Flügel wird in den Boden eingedrückt, wobei zur Ausschaltung der Mantelreibung ein Schutzrohr zu verwenden ist. Nach dem Eindringen des Flügels in den Boden

erfolgt das Abscheren (Bild 9). Dazu wird mit gleichbleibender geringer Geschwindigkeit ein Drehmoment aufgebracht, dessen Größe gemessen wird. Aus dem Verhältnis von Drehmoment zu Oberfläche des abgescherten Bodenkörpers wird die Anfangsscherfestigkeit c_u ermittelt. Die Anfangsscherfestigkeit c_u ist ein maßgebender Kennwert für die Festigkeit bindiger und organischer Weichböden.

Flügelsondierungen bieten sich immer dann an, wenn oberflächennah bindige und organische Weichböden anzutreffen sind. Die Flügelsondierung sollte tiefenprofilierend in einem Abstand von 50 cm durchgeführt werden, um Aussagen über die Anfangsscherfestigkeiten der gesamten Bodenschicht zu erhalten. Auch Flügelsondierungen werden von den Bohr- und Sondierfirmen relativ selten ausgeführt, so dass eine intensive Überwachung bei der Ausführung zu empfehlen ist.

6 Hinweise für die Ausschreibung von Sondierungen

Nachfolgend sind Hinweise für die Ausschreibung von Sondierarbeiten zusammengestellt:

- Bei Sondierungen auf dem Wasser ist – ausgenommen bei Bohrlochrammsondierungen – eine wasserstandsunabhängige Arbeitsplattform wie z.B. Stelzenponton oder Hubinseln erforderlich. Von schwimmenden Geräten lassen sich Sondierungen ohne Einfluss auf die Messwerte und Auswirkungen auf die Sondiergeräte (Gestängebruch) nicht zweifelsfrei ausführen. Um ausführungstechnisch einwandfreie Randbedingungen zu erreichen, sind von vornherein wasserstandsunabhängige Arbeitsplattformen zu fordern.
- Bei größeren Sondiertiefen ($t > 20$ m) sollte das Überbohren als Bedarfsposition aufgenommen werden. Dies kann erforderlich werden, wenn die Bodenfestigkeiten für einen weiteren Eindringfortschritt zu groß werden und die geforderte Untersuchungstiefe nicht erreicht wird. Auch Hindernisse oder verfestigte Schichten können ein Überbohren erforderlich machen.
- Bei Sondierungen auf dem Wasser ist im freien Wasser der Einbau eines Stützgestänges erforderlich. Dies ist auch für Bohrungen notwendig. Es ist daher eine Position für den Einbau von stabilem Stützgestänge vorzusehen.
- Bei Bohrlochrammsondierungen ist vom Hersteller ein Prüfzertifikat zu fordern, dass den einwandfreien technischen Zustand des Gerätes bestätigt. Dieses Prüfzertifikat sollte nicht älter als 6 Monate sein.



- Bei Spitzendrucksondierungen sollten die Sondenspitzen regelmäßig kalibriert sein. Es sind daher Kalibrierprotokolle vor Ort zu fordern, die nicht älter als 2 Wochen sind.
- Die Sondierergebnisse sind auf Diskette zu liefern. Das Format ist vorzugeben (z.B. bei Drucksondierungen ASC-II Format).

7 Empfehlungen für die Vergabe

Die Baugrunduntersuchungen sind die wesentliche Grundlage für die Erkundung der Baugrundverhältnisse. Es wird daher empfohlen, bei schwierigen Verhältnissen eine beschränkte Ausschreibung mit qualifizierten Fachfirmen vorzunehmen. Die Baugrunderkundung als Grundlage für die Gründungsempfehlung ist daher sorgfältig und qualifiziert durchzuführen. Dabei gilt folgender Grundsatz:

- Je besser die Baugrunduntersuchungen, desto genauer und zutreffender die Aussagen im Baugrund- und Gründungsgutachten und je weniger Überraschungen später bei der Bauausführung.
- Im Vergabegespräch sollte die BAW zur Beurteilung von Fachkompetenz und Geräteausstattung der Sondierfirmen beteiligt werden. Von der BAW sollte auch eine Stellungnahme zur technischen Gleichwertigkeit bei Sondervorschlägen eingeholt werden.
- Zu Beginn der Sondierarbeiten sollte eine konsequente und qualifizierte Überwachung der Arbeiten vorgenommen werden, um Mängel von vornherein abzustellen. Auch dafür steht die BAW beratend zur Verfügung.