

# Bohrlochsondierung (Tiefensondierung)

## Technischer Bericht für Bauingenieure und Tiefbauunternehmen

Erstellungsdatum: 04. Februar 2026

---

### 1. Definition und Grundlagen

Die Bohrlochsondierung, auch als Tiefensondierung bezeichnet, ist ein geophysikalisches Detektionsverfahren zur Ortung von Kampfmitteln und ferromagnetischen Störkörpern in tiefen Bodenschichten[1]. Im Gegensatz zur Oberflächensondierung wird bei diesem Verfahren nicht von der Geländeoberkante aus gemessen, sondern mittels gezielter Bohrungen in die erforderliche Tiefe vorgedrungen.

#### Kernmerkmale der Bohrlochsondierung:

- Dreidimensionale Betrachtung des Untergrundes durch In-situ-Messungen
- Reichweite bis in Tiefen von 8 Metern unter der historischen Geländeoberkante
- Einsatz magnetischer und elektromagnetischer Messverfahren
- Präzise Lokalisierung durch computergestützte Auswertung

Die Bohrlochsondierung ermöglicht die Detektion ferromagnetischer Objekte (insbesondere Bombenblindgänger ab 100 lb) in Bereichen, die mit oberflächennahen Verfahren nicht mehr ausreichend untersucht werden können[2][3].

---

### 2. Notwendigkeit und Anwendungsbereiche

#### 2.1 Wann ist Bohrlochsondierung erforderlich?

Die Tiefensondierung kommt obligatorisch zum Einsatz, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

#### Tiefenbezogene Anforderungen:

- Geplante Baumaßnahmen reichen tiefer als 3 Meter unter Geländeoberkante (GOK)
- Oberflächensondierung bietet keine ausreichende Aussagekraft mehr
- Kampfmittelrelevantes Gefahrenband liegt unterhalb der Reichweite von Oberflächendetektoren

#### Komplexe Rahmenbedingungen:

- Vorhandene Bebauung macht Oberflächensondierung unmöglich
- Starke Störeinflüsse in oberen Bodenschichten (z.B. Ziegelschutt, Leitungsnetze, Schienen)
- Kontaminierter oder stark inhomogener Baugrund
- Eisenhaltige Infrastruktur in unmittelbarer Nähe (Spundwände, Verbau)[4]

## 2.2 Typische Bauvorhaben mit Bohrlochsondierung

Baumaßnahme	Spezifische Anforderungen
Tiefgründungen	Baugruben, Untergeschosse, Tiefgaragen - sichere Bewertung von Sohlen, Gründungen und Unterzügen[5]
Pfahlgründungen	Prüfung von Pfahlfuß und Pfahlschaft auf Störkörper, die Einbau oder Tragfähigkeit beeinträchtigen könnten[5]
Spundwände und Verbau	Freigabe von Spundwandachsen, Schlitzwänden, Berliner Verbau und Verankerungen - kritische Prüfung der Einbindetiefen[5]
Rüttelstopfsäulen	Sicherstellung störungsfreier Bodenverdichtung in größeren Tiefen
Leitungsbau	Fernwärme, Wasser, Gas, Kabeltrassen mit Verlegetiefen > 3 m
Kanaltrassen	Durchpressungen, Mikrotunnelbau, Horizontalbohrungen[6]
Gleisbau	Erneuerung von Bauwerken im Gleisbereich, wo Oberflächensondierung durch Schienen gestört wird
Bombenverdachtspunkte	Gezielte Überprüfung aus Luftbildauswertung identifizierter Verdachtsflächen[7]

Table 1: Übersicht typischer Anwendungsbereiche der Bohrlochsondierung

---

## 3. Das Verfahren der 3D-Magnetikmessung

### 3.1 Funktionsprinzip

Die Bohrlochsondierung basiert auf dem Prinzip der **Geomagnetik** - einem passiven Ortungsverfahren zur Detektion magnetischer Anomalien im Erdmagnetfeld, die von eisenhaltigen Objekten hervorgerufen werden[1].

**Physikalische Grundlage:**

Ferromagnetische Objekte (wie Bombenblindgänger) stören das natürliche Erdmagnetfeld und erzeugen charakteristische Anomalien. Diese Störungen können durch hochsensible Magnetometer gemessen und analysiert werden.

### 3.2 3-Achs-Magnetometer

Das zentrale Messgerät der Bohrlochsondierung ist das **3-Achs-Magnetometer** (auch: Drei-Achs-Gradiometer), das die Magnetfeldstärke in drei senkrecht zueinander stehenden Raumachsen (X, Y, Z) erfasst[1][8].

#### Technische Vorteile gegenüber herkömmlichen Vertikalgradiometern:

- Dreidimensionale differentielle Datenerfassung liefert zusätzliche Informationen
- Bessere Bewertung komplexer Situationen in der Nähe von Spundwänden, Verbau oder Bohrpfählen
- Präzisere Tiefen- und Lagebestimmung von Störkörpern
- Höhere Qualität der Datenbasis für die Interpretation[1]

#### Technische Spezifikationen moderner 3-Achs-Magnetometer (Beispiel FGM3D):

- Messbereich:  $\pm 125.000$  nT (Nanotesla)
- Auflösung:  $< 150$  pT (Pikotesla)
- Rauschen:  $< 15 \text{ pT}_{\text{rms}}/\sqrt{\text{Hz}}$  bei 0,1-10 Hz
- Temperaturdrift:  $\leq \pm 0,3$  nT/K
- Bandbreite: 2 kHz (DC bis 2 kHz)
- Linearität:  $< 20$  ppm[9]

### 3.3 Komplementäre Verfahren: 4R-EM

Für besonders komplexe Fragestellungen, bei denen die Geomagnetik allein limitiert ist, kommt das **4R-EM-Verfahren** (elektromagnetisches Messverfahren) zum Einsatz[1].

**Vorteil:** Die gleichzeitige Auswertung magnetischer und elektromagnetischer Daten ermöglicht das Ausblenden von Störeinflüssen wie Ziegelschutt, der magnetisch ähnliche Signaturen wie Kampfmittel erzeugen kann.

---

## 4. Tiefe bis zum Bombenhorizont

### 4.1 Maximale Eindringtiefe

Kampfmittel, insbesondere Fliegerbomben aus dem Zweiten Weltkrieg, können grundsätzlich **bis zu einer Tiefe von 8 Metern** unterhalb der Geländeoberkante vorkommen[7][10]. Diese Tiefe definiert den sogenannten **Bombenhorizont** - die maximale Tiefe, bis zu der mit Bombenblindgängern gerechnet werden muss.

### 4.2 Bezugsebene: Geländeoberkante 1945

**Kritischer Planungshinweis:** Die Bezugsebene für die 8-Meter-Tiefe ist die **Geländeoberkante zum Zeitpunkt des Kriegsendes 1945**[7][10].

#### Schematische Darstellung:

Figure 1: Tiefenberechnung unter Berücksichtigung von Nachkriegsaufschüttungen

**Praktische Konsequenz:** Spätere Aufschüttungen müssen bei der Tiefenberechnung berücksichtigt werden. Bei 2 Meter Nachkriegsaufschüttung beträgt die erforderliche Bohrtiefe somit 10 Meter ab heutiger GOK[7].

### 4.3 Reichweite der Oberflächensondierung

Oberflächendetektoren erreichen je nach Objektgröße typischerweise Tiefen von:

- Kleine Objekte (Handgranaten, Munition): bis 0,5 m
- Mittlere Objekte (Granaten, kleine Bomben): bis 1,5 m
- Große Objekte (Fliegerbomben 50-500 kg): maximal 3 m[11]

Darüber hinaus ist die Bohrlochsondierung zwingend erforderlich.

## 5. Eingesetzte Geräte und Ausrüstung

### 5.1 Bohrtechnische Ausrüstung

Komponente	Technische Merkmale
Bohrgerät	Erschütterungsarme Schneckenbohrer (Endlosschneckenbohrung, Hohlbohrschneckenbohrung, Spülbohrung) - schlagende Verfahren sind aus Sicherheitsgründen ausgeschlossen[7][12]
Bohrlafette	Teilautomatisierte Systeme mit DGPS-Ansteuerung für automatisierte Bohrlochpositionierung und lotrechte Lafettenführung[1]
Verrohrung	Kunststoffrohre (PVC) zur Stabilisierung der Bohrlöcher, Durchmesser mindestens 101 mm[6][13]
GPS-System	DGPS (Differential Global Positioning System) für zentimetergenaue Positionierung der Bohransatzpunkte[1]

Table 2: Bohrtechnische Ausrüstung

### 5.2 Messtechnische Ausrüstung

<b>Messsystem</b>	<b>Einsatzbereich und Eigenschaften</b>
3-Achs-Magnetometer	Passives geomagnetisches Verfahren, Eisendetektion, dreidimensionale Feldmessung, Haupteinsatzsystem für Bohrlochsondierung[1][8]
Vertikal-Gradiometer	Passives Verfahren, vereinfachte zweidimensionale Messung, für weniger komplexe Situationen[12]
4R-EM-System	Aktives elektromagnetisches Verfahren, Metalldetektion (auch Nichteisenmetalle), zur Ergänzung der Geomagnetik[1]
Bohrlochgeoradar	Hochfrequenz-Radar zur Strukturerkennung, ergänzendes Verfahren[13]
Datenlogger	Computergestützte Aufzeichnung und Echtzeitvisualisierung der Messdaten mit GPS-Synchronisation[2]

Table 3: Messtechnische Ausrüstung

### 5.3 Auswerte-Software

Spezialisierte Software erstellt:

- Farbcodierte Ergebniskarten mit Anomaliedarstellung
- Berechnung von Objektparametern (Rechts- und Hochwert, Tiefe, geschätztes Volumen)
- 3D-Visualisierung des Untergrundes
- Automatische Klassifizierung von Anomalien[2]

---

## 6. Unterschied zur Oberflächensondierung

<b>Kriterium</b>	<b>Oberflächensondierung</b>	<b>Bohrlochsondierung</b>
Messposition	Von der Geländeoberfläche aus	Aus dem Bohrloch heraus, in der Tiefe
Reichweite	Max. 3 m für große Objekte	Bis 8 m und tiefer
Dimensionalität	Zweidimensional (Flächenerfassung)	Dreidimensional (Raumerkundung)
Bodeneingriff	Zerstörungsfrei, keine Bodenveränderung	Invasiv, Bohrungen erforderlich
Störanfälligkeit	Hoch (Bebauung, Leitungen, Schienen, Metallschutt)	Gering, direktes Heranführen an Verdachtsbereiche
Flächenleistung	Hoch (mehrere 1.000 m <sup>2</sup> /Tag)	Gering (abhängig von Bohrtiefe und -anzahl)
Kosten	Niedrig bis mittel	Hoch (Bohrtechnik, Personal, Zeit)
Einsatzgebiet	Flachgründungen, Straßenbau, GaLa-Bau, Bodenaustausch	Tiefgründungen, Pfahlgründungen, Spundwände, Kanaltrassen
Genauigkeit	Mittel, abhängig von Störeinflüssen	Hoch, präzise Tiefen- und Lagebestimmung
Typische Verfahren	EDM/UPEX, Totalfeld-Magnetometer, TDEM	3-Achs-Magnetometer, 4R-EM, Bohrlochgeoradar

Table 4: Vergleich Oberflächen- vs. Bohrlochsondierung

**Ergänzende Anmerkung:** Beide Verfahren schließen sich nicht aus, sondern ergänzen einander. In der Praxis wird häufig zuerst eine Oberflächensondierung durchgeführt, die dann bei Bedarf durch Bohrlochsondierungen in kritischen Bereichen vervollständigt wird[4][5].

## 7. Schritt-für-Schritt Ablauf der Bohrlochsondierung

### Phase 1: Vorbereitung und Planung

#### Schritt 1.1: Historische Recherche

- Auswertung von Luftbildern aus dem Zweiten Weltkrieg
- Analyse von Kampfmittelberichten und Kriegsdokumenten
- Identifikation von Bombenverdachtspunkten

- Ermittlung der historischen Geländeoberkante (GOK 1945)

### **Schritt 1.2: Baugrunduntersuchung**

- Bestimmung der Bodenbeschaffenheit
- Erfassung von Aufschüttungen und Schichtverläufen
- Ermittlung des Grundwasserstandes
- Bewertung möglicher Störfaktoren (Leitungen, Fundamente)

### **Schritt 1.3: Festlegung Bohrparameter[12]**

- **Bohrtiefe:** 8 m unter GOK 1945 + Aufschüttungshöhe
- **Bohrlochabstand:** Regelraster 2,2 m x 2,0 m (Überlappung der Detektionsradien)[14]
- **Bohrlochanordnung:** Regelmäßiges Raster, bei Verdachtspunkten verdichtetes Raster (bis zu 37 Bohrungen)[10]
- **Bohrart:** Vertikalbohrung (Standard) oder Schrägbohrung (für präzise Lagebestimmung)[13]

### **Schritt 1.4: Genehmigungen und Abstimmungen**

- Einholung behördlicher Genehmigungen
- Abstimmung mit Kampfmittelbeseitigungsdienst
- Benachrichtigung von Grundstückseigentümern
- Sicherung der Baustelle

## **Phase 2: Durchführung der Bohrarbeiten**

### **Schritt 2.1: Einmessung und Markierung[12]**

- DGPS-gestützte Positionierung der Bohransatzpunkte
- Vermessung und Dokumentation der Koordinaten
- Markierung des Bohrlochrasters
- Kontrolle der Abstände

### **Schritt 2.2: Abteufen der Bohrungen[7][12]**

1. **Ansetzen:** Positionierung des Bohrgeräts über Bohrpunkt
2. **Bohren:** Erschütterungsarmes Schneckenbohrverfahren bis zur Solltiefe
3. **Sicherheitsprinzip:** Kontinuierliche Überwachung durch KMR-Fachpersonal
4. **Dokumentation:** Aufzeichnung von Bohrfortschritt, Bodenschichten, Besonderheiten

### **Schritt 2.3: Einbau der Verrohrung[7]**

- Einstellung von Kunststoffrohren in das Bohrloch
- Stabilisierung gegen Nachfall
- Sicherstellung der lotrechten Ausrichtung
- Abdichtung am Bohrlochkopf

**Kritischer Sicherheitshinweis:** Schlagende Bohrverfahren (z.B. Rammkernbohrung) sind bei Kampfmittelverdacht absolut unzulässig, da die Erschütterungen eine Detonation auslösen können[7].

## Phase 3: Messungen

### Schritt 3.1: Sondenvorbereitung

- Kalibrierung der Magnetometersonde
- Funktionsprüfung und Nullpunktgleich
- Synchronisation mit GPS und Datenlogger

### Schritt 3.2: Bohrlochsondierung[13]

- Einführen der Sonde in das verrohrte Bohrloch
- Kontinuierliche Messung beim Absenken bis zur Endtiefe
- Aufwärtsmessung zur Kontrolle und Datenverdichtung
- Aufzeichnung der Messwerte mit Tiefenzuordnung

### Schritt 3.3: Qualitätssicherung vor Ort[12]

- Visuelle Kontrolle der Messdaten auf Plausibilität
- Erste Interpretation auffälliger Anomalien
- Entscheidung über notwendige Nachmessungen
- Dokumentation der Messbedingungen (Temperatur, Störeinflüsse)

### Schritt 3.4: Verfüllung[12]

- Ziehen der Verrohrung
- Verfüllung des Bohrlochs gemäß Planungsvorgaben
- Berücksichtigung bodenmechanischer Parameter
- Beachtung des Grundwasserschutzes
- Wiederherstellung der Geländeoberfläche

## Phase 4: Auswertung und Bewertung

### Schritt 4.1: Datenaufbereitung

- Import der Rohdaten in Auswertesoftware
- Filterung und Bereinigung von Störsignalen
- Georeferenzierung aller Messpunkte

### Schritt 4.2: Interpretation[2]

- Identifikation magnetischer Anomalien
- Berechnung von Tiefenlage und Volumen der Störkörper
- Klassifizierung: kampfmittelverdächtig / unkritisch
- 3D-Modellierung des Untergrundes

### Schritt 4.3: Bewertung

- Abgleich mit historischen Daten
- Risikoeinschätzung für identifizierte Anomalien
- Empfehlung für Folgemaßnahmen (Sondierbohrung, Entschärfung, Entwarnung)

## Phase 5: Dokumentation und Freigabe

### Schritt 5.1: Erstellung des Sondierberichts[12]

Obligatorischer Inhalt:

- Projektbeschreibung und Auftraggeber
- Historische Auswertung und Gefährdungseinschätzung
- Bohrlochraster und Koordinaten aller Bohrungen
- Bohrprotokolle mit Schichtenverzeichnis
- Messparameter und eingesetzte Geräte
- Farbcodierte Anomalienkarten
- Tabelle aller detektierten Störkörper mit Parametern
- Bewertung und Handlungsempfehlungen
- Unterschrift des verantwortlichen Kampfmittelräumers

### Schritt 5.2: Übergabe und Freigabe

- Präsentation der Ergebnisse beim Auftraggeber
- Freigabebescheinigung für kampfmittelfreie Bereiche
- Definition von Restriktionszonen bei ungeklärten Anomalien
- Koordination mit Behörden (Kampfmittelbeseitigungsdienst)

### Schritt 5.3: Archivierung

- Langfristige Aufbewahrung aller Unterlagen
- Bereitstellung für zukünftige Bauvorhaben
- Meldung an Kampfmittelkataster

---

## 8. Präzision der Lokalisierung

### 8.1 Detektionsradius

Ein einzelnes Bohrloch ermöglicht bei idealen Bedingungen die Detektion von Störkörpern in einem **Radius von etwa 1,5 Metern** rund um das Bohrloch[13].

#### Einflussfaktoren auf den Detektionsradius:

- **Objektgröße:** Größere Objekte (500 kg Bomben) werden in größerem Radius detektiert als kleine (100 lb)
- **Bodenleitfähigkeit:** Feuchte, tonige Böden reduzieren die Reichweite
- **Umgebungsrauschen:** Seismische Aktivitäten, Verkehr, Maschinen erhöhen den Störpegel[14]
- **Ferromagnetische Infrastruktur:** Spundwände, Leitungen können die Reichweite lokal reduzieren

**Konsequenz für die Planung:** Bei größeren Flächen wird ein Bohrlochraster mit sich überlappenden Detektionsradien angelegt. Das Regelraster von 2,2 m x 2,0 m stellt die vollständige Erfassung sicher[14].

## 8.2 Positionsgenauigkeit

### Horizontale Lagegenauigkeit:

- DGPS-Einmessung der Bohrpunkte:  $\pm 2-5$  cm
- Bohrlochablenkung bei 8 m Tiefe:  $< 10$  cm bei lotrechter Lafettenführung[1]
- **Resultierende Horizontalgenauigkeit:  $\pm 10-15$  cm**

### Vertikale Tiefengenauigkeit:

- Tiefenmessung der Sonde:  $\pm 5$  cm
- Anomalieberechnung (Modellierung):  $\pm 10-30$  cm abhängig von Objektgröße und -tiefe
- **Resultierende Tiefengenauigkeit:  $\pm 15-35$  cm**

## 8.3 Volumenschätzung

Moderne 3-Achs-Magnetometer ermöglichen durch die dreidimensionale Feldmessung eine Abschätzung des ferromagnetischen Volumens. Die Genauigkeit liegt typischerweise bei:

- **$\pm 30-50\%$  bei optimalen Bedingungen**
- Größere Unsicherheit bei komplexen Situationen (mehrere Störkörper, starkes Hintergrundrauschen)

Diese Volumenschätzung erlaubt Rückschlüsse auf die Objektgröße (z.B. Unterscheidung 50 kg / 250 kg / 500 kg Bombe)[2].

## 8.4 Zuverlässigkeit der Detektion

### Detektionswahrscheinlichkeit:

- Bombenblindgänger  $\geq 100$  lb im Detektionsradius:  $> 95\%$
- Kleinere Objekte (Granaten, Munition):  $> 90\%$
- Sehr kleine Objekte (Splitter): eingeschränkt

### False-Positive-Rate:

- Typisch 10-30% der Anomalien sind kampfmittelunkritisch (Metallschrott, geologische Störungen)
- Durch 4R-EM-Verfahren reduzierbar auf 5-15%[1]

---

# 9. Dokumentation

## 9.1 Tagesdokumentation

Während der Durchführung sind die Arbeiten laufend im Formdruck "**Tagesdokumentation Bohrlochmagnetik**" handschriftlich zu dokumentieren[12].

### Mindestinhalt der Tagesdokumentation:

- Datum, Witterung, Temperatur
- Projektbezeichnung und Fläche
- Eingesetztes Personal (Name, Qualifikation)

- Eingesetzte Geräte (Bohrgerät, Sonden, Seriennummern)
- Bohrfortschritt (Bohrnummern, erreichte Tiefen)
- Besondere Vorkommnisse (Bohrhindernisse, Geräteausfälle, Anomalien)
- Durchgeführte Messungen (Bohrnummer, Messtiefe, Messdauer)
- Verfüllte Bohrungen
- Unterschrift des verantwortlichen Bauleiters

## 9.2 Bohrprotokolle

Für jede einzelne Bohrung wird ein detailliertes Bohrprotokoll erstellt:

<b>Parameter</b>	<b>Dokumentationsinhalt</b>
Bohrnummer	Eindeutige Identifikationsnummer
Koordinaten	Rechts- und Hochwert, Bezugssystem (z.B. ETRS89/UTM)
Geländehöhe	Höhe über NN der Bohrlochoberkante
Bohrtiefe	Erreichte Endtiefe unter GOK
Schichtenverzeichnis	Tiefe, Bodenart, Konsistenz, Besonderheiten jeder Schicht
Grundwasser	Tiefe des Grundwasserstandes
Verrohrung	Durchmesser, Material, Einbautiefe
Besonderheiten	Bohrhindernisse, Werkzeugbruch, Probennahme

Table 5: Inhalt der Bohrprotokolle

## 9.3 Messdokumentation

### **Automatisch erfasste Daten:**

- Kontinuierliche Magnetfeldwerte (X, Y, Z-Komponente) mit Tiefenzuordnung
- GPS-Koordinaten und Zeitstempel
- Temperatur und Umgebungsparameter

### **Manuell zu dokumentierende Angaben:**

- Sondentyp und Seriennummer
- Kalibrierparameter
- Messgeschwindigkeit
- Qualitätsbewertung der Messung (Störeinflüsse, Messwiederholungen)

## 9.4 Auswertedokumentation

### Grafische Darstellungen:

1. **Lageplan:** Übersichtsplan mit Bohrlochraster, Koordinatensystem, Legende
2. **Anomalienkarte:** Farbcodierte Darstellung der detektierten Anomalien
3. **Profilschnitte:** Vertikalschnitte durch das Untersuchungsgebiet
4. **3D-Visualisierung:** Räumliche Darstellung von Anomalien und Bohrungen

### Tabellarische Darstellungen:

Anom.-Nr.	Rechts	Hoch	Tiefe	Volumen	Bewertung	Empfehlung
A-001	32 567 890	56 234 120	4,2 m	80 L	KM- verdächtig	Sondierbohrung
A-002	32 567 895	56 234 118	1,8 m	5 L	unkritisch	Entwarnung
...	...	...	...	...	...	...

Table 6: Beispiel-Anomalietabelle

## 9.5 Abschlussbericht

Der **Sondierungsbericht** bildet die Grundlage für die behördliche Freigabe und umfasst:

1. Titelblatt mit Projektbezeichnung, Auftraggeber, Auftragnehmer, Datum
2. Zusammenfassung der Ergebnisse (Executive Summary)
3. Auftragsbeschreibung und rechtliche Grundlagen
4. Historische Auswertung und Gefährdungseinschätzung
5. Methodenbeschreibung (Geräte, Verfahren, Parameter)
6. Darstellung der Durchführung (Bohrarbeiten, Messungen)
7. Ergebnisse der Auswertung (Karten, Tabellen, Profile)
8. Bewertung und Interpretation
9. Handlungsempfehlungen und Restriktionen
10. Freigabeerklärung für kampfmittelfreie Bereiche
11. Anhänge (Bohrprotokolle, Messdaten, Kalibrierzertifikate)
12. Unterschrift des verantwortlichen Sachverständigen

## 9.6 Rechtliche Anforderungen

Die Dokumentation muss den Vorgaben der jeweiligen Landesbehörden entsprechen, insbesondere:

- Technische Verwaltungsvorschriften zur Kampfmittelbeseitigung (z.B. NRW)
- DIN-Normen und technische Spezifikationen
- Anforderungen des zuständigen Kampfmittelbeseitigungsdienstes

**Aufbewahrungspflicht:** Mindestens 30 Jahre, teilweise unbegrenzt bei Eintrag in Kampfmittelkataster.

---

## 10. Wirtschaftliche und baupraktische Aspekte

### 10.1 Kosten

#### Kostenfaktoren:

- Anzahl der Bohrungen (abhängig von Flächengröße und Rasterabstand)
- Bohrtiefe
- Bodenbeschaffenheit (schwere Böden erhöhen Bohrzeit)
- Anzahl der Messungen (Vertikal- und Schrägbohrungen)
- Mobilisierung von Spezialgeräten
- Auswertungsaufwand

#### Typische Kostengrößenordnung (Stand 2026, Richtwerte):

- Einzelbohrung mit Messung: 800-1.500 € (abhängig von Tiefe)
- Flächensondierung (1.000 m<sup>2</sup>): 15.000-35.000 €
- Rasterabstand 2,2 m x 2,0 m: ca. 230 Bohrungen/ha

**Vergleich:** Oberflächensondierung kostet typisch 1.000-3.000 €/ha - damit ist Bohrlochsondierung etwa **10-20-mal teurer**, aber bei Tiefbauvorhaben alternativlos.

### 10.2 Zeitbedarf

#### Leistungswerte:

- Bohrung bis 8 m Tiefe: 1-3 Stunden (bodenabhängig)
- Messung pro Bohrloch: 30-60 Minuten
- Verfüllung: 30 Minuten
- **Gesamtleistung: 4-8 Bohrungen pro Bohrlafette und Tag**

#### Projektdauer (Beispiel 500 m<sup>2</sup>, 100 Bohrungen):

- Vorbereitung und Einrichtung: 2-3 Tage
- Bohrarbeiten: 15-25 Tage
- Auswertung: 5-10 Tage
- **Gesamtprojektdauer: 4-6 Wochen**

### 10.3 Integration in Bauzeitplanung

#### Empfohlener Ablauf:

1. Bohrlochsondierung in früher Planungsphase (vor Genehmigungsplanung)
2. Zeitpuffer für mögliche Kampfmittelfunde einplanen (4-12 Wochen Entschärfung)
3. Freigabebescheinigung als Voraussetzung für Baugenehmigung
4. Bei Anomalien: Sondierbohrungen oder Entschärfung vor Baubeginn

**Kritischer Pfad:** Bohrlochsondierung sollte nicht zum zeitkritischen Element werden. Frühzeitige Beauftragung (6-12 Monate vor Baubeginn) vermeidet Bauverzögerungen.

## 10.4 Haftung und Versicherung

- Kampfmittelräumfirmen verfügen über Spezialversicherungen
  - Gewährleistung nur für tatsächlich untersuchte Bereiche
  - Restverdachtsflächen müssen baubegleitend überwacht werden
  - Dokumentation ist Grundlage für Haftungsabgrenzung
- 

## 11. Zusammenfassung und Empfehlungen

### 11.1 Kernaussagen

- Die Bohrlochsondierung ist das einzige zuverlässige Verfahren zur Kampfmitteldetektion in Tiefen > 3 m bis zum Bombenhorizont bei 8 m unter GOK 1945
- Das 3-Achs-Magnetometer ermöglicht durch dreidimensionale Feldmessung präzise Lokalisierung und Bewertung von Störkörpern
- Erschütterungsarme Bohrverfahren und spezialisiertes Fachpersonal garantieren höchste Sicherheit
- Die Detektionsgenauigkeit liegt bei  $\pm 10-15$  cm horizontal und  $\pm 15-35$  cm vertikal
- Vollständige Dokumentation ist Grundlage für behördliche Freigaben und Rechtssicherheit

### 11.2 Empfehlungen für Bauingenieure

#### Planungsphase:

- Frühzeitige Beauftragung der Kampfmittelerkundung (6-12 Monate vor Baubeginn)
- Berücksichtigung der Kosten in der Kalkulation (ca. 1-3% der Baukosten bei tiefgründigen Bauwerken)
- Zeitpuffer für mögliche Kampfmittelfunde einplanen

#### Vergabe:

- Nur zertifizierte Kampfmittelräumfirmen beauftragen
- Referenzen und Versicherungsnachweis prüfen
- Leistungsverzeichnis muss Bohrtiefe, Rasterabstand und Auswertung exakt definieren

#### Bauausführung:

- Freigabebescheinigung vor Beginn von Tiefbauarbeiten obligatorisch
- Bei Restverdachtsflächen: Baubegleitende Überwachung durch KMR-Fachpersonal
- Bohrlöcher können für Baugrunduntersuchungen mitgenutzt werden (Synergieeffekt)

### 11.3 Ausblick

#### Technologische Entwicklungen:

- Weiterentwicklung von Multiparameter-Sonden (Magnetik + EM + Radar kombiniert)
- KI-gestützte Auswertung für schnellere und präzisere Interpretation
- Automatisierte Bohrsysteme mit Echtzeit-Monitoring

- Drohnengestützte Vorerkennung zur Optimierung des Bohrlochrasters

### **Normung und Standardisierung:**

- Harmonisierung der Landesvorschriften zur Kampfmittelbeseitigung
- Entwicklung einheitlicher Qualitätsstandards (ISO/DIN)
- Digitalisierung der Dokumentation und Datenaustauschformate

---

## **Literaturverzeichnis**

[1] Eggers Kampfmittelbergung GmbH. (2026). Tiefensondierung an Land - 3-Achs-Magnetometer. *Kampfmittelbergung.eggers-gruppe.de*. [https://kampfmittelbergung.eggers-gruppe.de/verfahren/tiefensondierung\\_1](https://kampfmittelbergung.eggers-gruppe.de/verfahren/tiefensondierung_1)

[2] Röhl Munitionsbergung. (2026). Geophysikalische Messverfahren zur Kampfmittelsondierung. *Roehll.de*. <https://www.roehll.de/de/leistungen/geophysikalische-messverfahren>

[3] FONTANA-EOD. (2025). Bohrlochsondierung. *Fontana-eod.de*. <https://www.fontana-eod.de/leistungen/sondierung/>

[4] KSU Kampfmittelsondierung. (2025). Bohrlochsondierung – Glossar. *Kampfmittelsondierung.de*. <https://www.kampfmittelsondierung.de/glossar/bohrlochsondierung>

[5] Röhl Munitionsbergung. (2026). Kampfmittelsondierung - Tiefen- und Bohrlochsondierung. *Roehll.de*. <https://www.roehll.de/de/leistungen/tiefensondierung>

[6] KMBS GmbH. (2023). Oberflächensondierung - Kampfmittelbeseitigung. *Kmbs-gmbh.de*. <https://kmbs-gmbh.de/oberflaechensondierung>

[7] BEKTAS Kampfmittelräumung. (2025). Bohrlochsondierung. *Bektas-kmr.de*. <https://bektas-kmr.de/tiefensondierung/>

[8] SafeLane Deutschland. (2023). Bohrende Antworten - Bohrlochsondierung. *Safelandedeutschland.de*. <https://www.safelandedeutschland.de/medien/bohrende-antworten>

[9] Sensys Magnetometer. (2021). FGM3D / 125-C3T Dreiachsmagnetometer. *Sensysmagnetometer.com*. <https://sensysmagnetometer.com/de/produkte/fgm3d-125-c3t/>

[10] Stadt Münster Feuerwehr. (2024). Wer wohnt schon gern auf einer Bombe? Kampfmittelbeseitigung in Münster. *Stadt-muenster.de*. [https://www.stadt-muenster.de/fileadmin/user\\_upload/stadt-muenster/37\\_feuerwehr/pdf/kampfmittel\\_broschuere.pdf](https://www.stadt-muenster.de/fileadmin/user_upload/stadt-muenster/37_feuerwehr/pdf/kampfmittel_broschuere.pdf)

[11] KSU Kampfmittelsondierung. (2025). Elektromagnetik (TDEM) - Leistungen. *Kampfmittelsondierung.de*. <https://www.kampfmittelsondierung.de/leistungen/elektromagnetik-tdem>

[12] BfR Kampfmittelräumung. (2012). A-9.3.12 Planung und Ausführung der Bohrlochmagnetik - Technische Spezifikation. *Bfr-kmr.de*. [https://www.bfr-kmr.de/anhang\\_9.3.12.html](https://www.bfr-kmr.de/anhang_9.3.12.html)

[13] Exploserv. (2026). Tiefensondierung – sichere Untergrunduntersuchung. *Exploserv.com*. <https://www.exploserv.com/tiefensondierung/>

[14] VALLON. (2019). 3-Achs-Magnetometer VS-3X. *Vallon.de*. <https://www.vallon.de/de/detektoren/detektionsloesungen/magnetometer/3-achs-magnetometer-vs-3x>