

# 7 Beprobungslose Untersuchungen

## 7.1 Einleitung

- (1) Auch ohne die Entnahme und Untersuchung von Proben lassen sich Informationen über den Zustand einer Liegenschaft und die Beschaffenheit ihres Untergrundes gewinnen. Die hierfür eingesetzten Methoden lassen sich unterteilen in:

- Recherchen,
- Begehungen,
- Fernerkundung (Primärauswertung von Luftbildern und Airborne-Laserscandaten) und
- geophysikalische Verfahren.

- (2) In diesem Kapitel werden die Möglichkeiten und Grenzen beprobungsloser Untersuchungen dargestellt und hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz kommentiert und bewertet. Zusammenfassende Informationen zu den technischen Verfahren (Datenblätter mit Verfahrensbeschreibung, empfohlene Anwendungsszenarien, ausgewählte technische Parameter, Kosten, Auswertbeispiele) sind dem Anhang A-4.3 zu entnehmen.

## 7.2 Methoden und deren Relevanz in der Praxis

### 7.2.1 Recherchen

#### 7.2.1.1 Archivrecherchen und Archivalienauswertung

- (1) Altaktenbestände lagern meist in öffentlichen Archiven (Archivalien) und Behördenregistraturen („nicht mehr in der Bearbeitung befindliche Unterlagen“). Sie werden durch Recherchen erschlossen. Die grundsätzliche Schwierigkeit bei diesen Recherchen besteht darin, dass sich die Informationsquellen in unterschiedlichen Archiven/Registraturen befinden und dort nicht unter Aspekten des Boden- und Grundwasserschutzes abgelegt sind.

- (2) Je nach Gegenstand und Intensität der Auswertung werden unterschieden:

- Historisch-genetische Kurzrekonstruktion (HgKurzR)
- Historisch-genetische Rekonstruktion (HgR)
- Grundlagenermittlung der möglichen Kampfmittelbelastung (siehe BFR KMR, Kapitel 4.1)
- Historische-genetische Rekonstruktion der Kampfmittelbelastung (HgR-KM)

- (3) Im Rahmen einer HgKurzR werden vor allem Fragen beantwortet wie z. B.:

- Welche Nutzung bestand generell und welche Gefahren können heute noch wirken?
- Sind Relikte ehemaliger Gebäude vorhanden und wie ist die frühere Baustruktur zu charakterisieren?

- (4) Mit einer HgR werden z. B. Nutzungen innerhalb der Liegenschaft lokalisiert, verwendete Stoffe und Substanzen identifiziert sowie Kontaminationshypothesen aufgestellt.

- (5) Für die erfolgreiche Auswertung einer HgKurzR oder HgR sind verschiedene Bedingungen zu erfüllen:

1. Gute Kenntnisse über die allgemeinen historischen Rahmenbedingungen und Strukturen,
2. Detaillierte Kenntnisse über die zu bearbeitenden Archive und deren Bestände im In- und Ausland sowie über die methodische Vorgehensweise bei der Auswertung von Archivalien,
3. Gute Kenntnisse aus der Bearbeitung von vergleichbaren Standorten und Fragestellungen (Analogiebearbeitung),
4. Umfangreiche Archivaliensammlung als Grundlage für die liegenschaftsbezogene Auswertung.

- (6) Prinzipiell sind Recherchen in allen Archiven durchzuführen, in denen relevante Archivalien zu erwarten sind. Zusätzlich sind die Recherchen für einen konkreten Standort auf vergleichbare Standorte auszudehnen. Erst diese Analogiebearbeitung führt in vielen Fällen zum gewünschten Ergebnis.

- (7) Wichtige Archive sind in Deutschland die verschiedenen Dienststellen des Bundesarchivs (z. B. Militärarchiv in Freiburg) sowie Landes- und Regionalarchive (z. B. Landeshauptarchive oder kommunale Archive) auf unterschiedlichen hierarchischen Stufen. Im europäischen Ausland sind verschiedene Archive in Großbritannien (z. B. „The National Archives“, ehem. „Public Record Office“, London), Frankreich, der Schweiz und Russland bedeutend. In den USA existieren eine Vielzahl öffentlich zugänglicher Archive (z. B. „National Archives“ in Washington, D.C.) sowie militärische Archive, die teilweise nur mit Sondergenehmigung besucht werden können.
- (8) Sämtliche Archivrecherchen sind ausführlich zu dokumentieren. Die zentral von der Leitstelle BoGwS durchgeführten Recherchen werden in der Archivaliendatenbank erfasst und stehen für spätere Arbeiten zur Verfügung. Hier werden neben den Angaben aus den jeweiligen Archiven ergänzende Eintragungen vorgenommen, die den Inhalt der Archivalie charakterisieren. Zudem werden die Archivalien konkreten Standorten geographisch zugeordnet (siehe auch BFR KMR, Anhang A-2.2).

### Wichtige Archive

### Archivaliendatenbank

#### Praxisrelevanz

**Hoch:** Die Archivrecherchen und Archivalienauswertung sind grundlegende Bestandteile der Erkundung. Weiterführende Informationen sind den BFR KMR, Anhang A-2.1.3 und A-2.2.1 zu entnehmen.

### 7.2.1.2 Kartenauswertungen

- (1) Topographische und thematische Karten sind wichtige Informationsquellen für naturräumliche Daten und historische Angaben. Deren Beschaffung und Auswertung erfolgt wie bei Luftbildern multitemporal. Hierzu werden die für das zu untersuchende Gebiet recherchierten Karten in ihrer zeitlichen Abfolge einer vergleichenden Auswertung unterzogen.

Um die Entwicklung von Untersuchungsflächen zuverlässig und lückenlos erfassen zu können, muss bei der Auswertung der gesamte Zeitraum, in dem kontaminierte Flächen entstanden sein können, abgedeckt werden. Die Industrialisierung 1870/80 kann bei Kartenwerken als Erhebungsbeginn angesetzt werden, für die Militarisierung der Beginn des Ersten Weltkrieges.

Für die multitemporale Kartenauswertung kommen in erster Linie amtliche topographische Karten in Betracht. Diese liegen (weitgehend) flächendeckend in verschiedenen Fortführungsständen vor und es gelten einheitliche und exakt festgelegte Abbildungsvorschriften. Sind historische Informationen zu militärischen Standorten aus topographischen Karten zu erarbeiten, ist ggf. auf militärische Ausgaben der Kartenserien zurückzugreifen. Als Quellen dienen Bundes- und Landesbehörden ebenso wie Fachinstitute von Universitäten und Bibliotheken (Einsichtnahme in Sammlungen älterer Karten).

#### Praxisrelevanz

**Mittel:** Die Recherche und Beschaffung von Karten sollten in Abhängigkeit der Kenntnislücken durchgeführt werden.

### 7.2.1.3 Zeitzeugen

- (1) Zeitzeugen sind Personen, die aus eigener Erfahrung bzw. aus eigenen Erlebnissen Informationen zu Vorgängen oder Sachverhalten liefern können, die z. B. im Zusammenhang mit Nutzungen, Produktions- und Handlungsabläufen oder weiteren Vorgängen stehen, die zu Kontaminationen geführt haben können. Die Dokumentation muss nicht nur die Inhalte, sondern auch die Quelle/den Zeugen umfassen.
- (2) Zeitzeugenaussagen sind stets kritisch zu würdigen und zu hinterfragen, da sich die subjektive Erinnerung im Laufe der Zeit verändern kann und auch bewusste Falschaussagen nicht immer ausgeschlossen werden können. Hierzu dienen beispielsweise Archivalien, Luftbilder und Aussagen weiterer Zeitzeugen sowie der Abgleich mit dem Gelände.

#### Praxisrelevanz

**Mittel:** Die Ermittlung und Befragung von Zeitzeugen sollten in Abhängigkeit der Kenntnislücken durchgeführt werden.

## 7.2.2 Geländebegehungen/Kartierungen

- (1) Geländebegehungen vermitteln einen Eindruck von örtlichen Gegebenheiten und räumlichen Zusammenhängen, der für Planungen, Auswertungen und zur Plausibilitätsüberprüfung recherchierter Informationen unverzichtbar ist. Sie dienen u. a.

- einer initialen Bestandsaufnahme und damit als Planungsgrundlage für Recherchen, Befragungen und Untersuchungen mit und ohne Probenahme,
- der Ermittlung örtlicher Wissensträger und betroffener Nachbarn,
- der Erkundung räumlicher Gegebenheiten (Oberflächenentwässerung, Flächenversiegelung, Vegetationsbedeckung, Gebäudebestand usw.),
- der Festlegung von Probenahme- und Untersuchungspunkten,
- der Überprüfung von Recherche- und Auswertungsergebnissen auf ihre Zuverlässigkeit hin.

- (2) Von großer Bedeutung ist eine sorgfältige und umfassende Dokumentation der Geländebegehungen mit Beschreibungen, Skizzen und Fotos.
- (3) Kartierungen sind Geländebegehungen, bei denen flächendeckend spezielle thematische Informationen gesammelt (z. T. unterstützt durch Untersuchungen vor Ort oder Probenahmen) und dann in Karten dargestellt und ausgewertet werden.

#### Praxisrelevanz

**Hoch:** Eine Geländebegehung ist grundlegender Bestandteil der Erkundung. Weiterführende Informationen sind den BFR KMR, A-9.1.9 zu entnehmen.

### 7.2.3 Fernerkundung

#### 7.2.3.1 Luftbildbeschaffung

- |  |   |
|--|---|
| <b>Quellenverzeichnis<br/>Luftbilder</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Luftbilder befinden sich in vielen verschiedenen Archiven auf Bundes- und Landesebene sowie in englischen und amerikanischen Sammlungen. Zusätzlich existieren einige Spezialarchive mit Sondermaterialien, die jedoch nicht allgemein verfügbar sind.</li> <li>(2) Um das für eine Auswertung notwendige Material zu beschaffen, sind verschiedene Dienststellen zu kontaktieren. Da die Beschaffung ohne detaillierte Kenntnisse der einzelnen Archive und deren Modalitäten mit enormen Aufwand und damit Kosten verbunden ist bzw. bei einigen Archiven ohne spezielles Wissen nicht möglich ist, unterhält die Leitstelle BoGwS des Bundes ein Quellenverzeichnis der in Deutschland für Bundesliegenschaften verfügbaren Luftbilder und stellt die Luftbilder auf Anforderung bereit.</li> </ol> |
| <b>Luftbildbeschaffung</b>               | <ol style="list-style-type: none"> <li>(3) Die Beschaffung und Bereitstellung der für Bundesliegenschaften aus überregionalen Archiven verfügbaren Luftbilder zur HgR bzw. zur multitemporalen Auswertung bietet die Leitstelle BoGwS des Bundes nach folgender Regelung an (s. Tab. 7-1 und 7-2).</li> </ol>   |

Tab. 7-1: Übersicht über verfügbare Luftbilder

	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer
<b>bis 1945</b>	<p>Luftbildpläne Mitte der 30er Jahre, regional verfügbar</p> <p>Befliegungen 1940 bis 1945 durch die Aufklärung der alliierten Luftstreitkräfte: regional verfügbar</p> <p>Befliegungen 1945 durch US-amerikanische Luftaufklärung: flächendeckend verfügbar</p>	<p>Luftbildpläne Mitte der 30er Jahre, regional verfügbar</p> <p>Befliegungen 1940 bis 1945 durch die Aufklärung der alliierten Luftstreitkräfte: regional verfügbar</p> <p>Befliegungen 1945 durch US-amerikanische Luftaufklärung: etwa westlich der Elbe flächendeckend verfügbar</p>
<b>bis 1955</b>	<p>US-amerikanische Luftaufklärung: flächendeckend erfolgt, jedoch nur zum Teil verfügbar</p>	<p>Russische Luftaufklärung zwischen 1953 und 1955: nahezu flächendeckend verfügbar</p>
<b>ab 1950er Jahre</b>	<p>Befliegungen der alliierten Luftstreitkräfte zwischen 1953 und 1956: nahezu flächendeckend verfügbar</p> <p>Landesbefliegung verfügbar, Zeitschnitte ca. alle fünf Jahre</p>	<p>1955-1975 praktisch kein Material für milit. Objekte (vernichtet)</p> <p>ab 1975 fragmentarischer Bestand zu milit. Objekten</p> <p>ab 1990 Landesbefliegungen und Sonderaufnahmen</p>

Tab. 7-2: Luftbildbeschaffung

	Arbeitsschritt	Zu veranlassen durch	Gerichtet an
1.	Anforderung der Luftbilder	Bau- oder Liegenschaftsverwaltung als Auftraggeber (AG)	Leitstelle BoGwS des Bundes
2.	Recherche, Beschaffung, Luftbildvorauswertung	Leitstelle BoGwS	Archive
3.	Bereitstellung der Ergebnisse von 2.	Leitstelle BoGwS	AG oder dessen Auftragnehmer
4.	Auswertung, Veranlassung der Detailauswertung	AG	spezialisiertes Auswertebüro
5.	Ggf. Beratung und Unterstützung bei 4.	AG	Leitstelle BoGwS des Bundes
6.	Kopie des Gutachtens an Leitstelle BoGwS gem. Regelverfahren	AG	Leitstelle BoGwS des Bundes

### 7.2.3.2 Luftbildauswertung

- (1) Die Luftbildauswertung ist ein zentraler Aspekt bei der beprobungslosen Untersuchung. Luftbilder sind objektive „Zeitzeugen“ einer Region zum Zeitpunkt der Aufnahme. Ihre realitätstreue Darstellung lässt – entsprechende Fachkenntnisse vorausgesetzt – weitgehende Rückschlüsse auf die Nutzung einer Liegenschaft und lokale Ereignisse zu. Auf Luftbildern wird die Flächennutzung in ihrem realen Erscheinungsbild zu einem bestimmten Aufnahmezeitpunkt festgehalten. Die Oberflächengestalt und damit alle sichtbaren Objekte sind nicht nur vollständig, sondern auch objektiv und realitätsgetreu dokumentiert. So können z. B. ehemalige Industrieanlagen und deren Produktionsbereiche häufig funktional und räumlich zugeordnet werden. Auf dieser Grundlage lassen sich potentielle Kontaminationsursachen in vielen Fällen effektiv eingrenzen.

#### Praxisrelevanz

**Hoch:** Die Luftbildauswertung ist ein grundlegender Bestandteil der Erkundung. Weiterführende Informationen sind den BFR KMR, A-2.3 zu entnehmen.

### 7.2.3.3 Airborne Laserscanning

- (1) Airborne Laserscanner sind optische Systeme, die zur dreidimensionalen Vermessung von Landschaftsoberflächen und -strukturen entwickelt wurden. In Flugzeugen, Helikoptern oder Fluggeräten eingebaut, werden mit den Sensoren Laufzeiten reflektierter Lasersignale gemessen und damit Entfernungen zu allen erfassten Messpunkten festgestellt. Die Summe aller Messungen ergibt eine Messpunktwolke, aus der sich ein präzises Modell der Geländeoberfläche ableiten lässt.
- (2) Auch in bewaldeten Gebieten können damit hochauflösende Modelle der Geländeoberfläche abgeleitet werden, die häufig Merkmale ehemaliger Nutzungsstrukturen erkennen lassen, welche aus der Bodenperspektive verborgen bleiben. Dadurch ist das Airborne Laserscanning in vielen Fällen ein wichtiges Werkzeug zur Identifizierung ehemaliger und möglicherweise kontaminationsrelevanter Nutzungsstrukturen.



**Praxisrelevanz**

**Hoch für spezielle Fragestellungen:** Weiterführende Informationen sind den BFR KMR, A-2.3.5 zu entnehmen.

**7.2.3.4 Multispektralanalyse**

- (1) Das Prinzip der Multispektralanalyse basiert auf der Untersuchung unterschiedlicher Absorptions- und Reflexionseigenschaften von Wellenlängen außerhalb des sichtbaren Spektrums (Licht) an Objekten oder Stoffen. In der Praxis besteht damit die Möglichkeit, mittels geeigneter Sensoren Luftaufnahmen theoretisch geeigneter Spektralbereiche zu erstellen und diese Aufnahmen hinsichtlich spektraler Anomalien zu untersuchen. Häufig werden z. B. Infrarotbilder aufgenommen. Soweit geeignete Indikatoren definiert werden können, sind kontaminationsbedingte Auffälligkeiten interpretierbar. In der Praxis sind die Indikatoren bzw. darauf gestützte Hinweise auf Kontaminationen jedoch meist unsicher. Der Vorgang insgesamt ist unter Berücksichtigung der gesamten Prozesskette aufwändig. Für Erkundungen zum Zweck des Boden- und Grundwasserschutzes steht dem zu erwartenden Informationsgewinn aus den Fernerkundungsverfahren ein unverhältnismäßig hoher Aufwand gegenüber. Ein konkreter Forschungsbedarf zur Entwicklung der Methodik ist aufgrund der Ergebnisse aus Modellstandorten nicht zu formulieren.

**Praxisrelevanz**

**Gering:** Weitere Informationen sind im einzelnen Bedarfsfall zu ermitteln.

### 7.2.3.5 Fallbezogener Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugen (MAV Micro Air Vehicle, Kleindrohnen) mit aufgabenspezifischen Sensortypen

- (1) Informationen zur Erkundung möglicher Ursachen von Boden- und Grundwasserkontaminationen werden u. a. aus Fernerkundungsdaten abgeleitet, die grundsätzlich der zyklischen Erhebung von Geobasisdaten dienen. Sehr häufig werden z. B. Luftbilder oder digitale Geländemodelle aus Landesbefliegungen ausgewertet, da sie schnell und kostengünstig zu beschaffen sind. Von Nachteil ist in diesem Zusammenhang, dass solche Daten im Abstand mehrerer Jahre erhoben werden und der Zeitpunkt der Datenerhebung nicht beeinflusst werden kann. Zudem entspricht deren Beschaffenheit und räumliche Auflösung häufig nicht den Bedürfnissen der Untersuchungen der Schutzgüter Boden und Grundwasser. Mit fortschreitender Entwicklung und Verbreitung von unbemannten Luftfahrzeugen (häufig als Drohnen, UAV oder UAS bezeichnet) bieten sich deshalb weitere Verfahren zur Erkundung an.
- (2) Für den kurzzeitigen und kleinräumigen Einsatz werden meist Mikrodrohnen verwendet, die der Klasse VTOL-Luftfahrzeuge zuzuordnen sind (VTOL = Vertical Take Off and Landing). Durch die geringe Größe und ihre Leichtbauweise ermöglichen sie selbst in unwegsamem Gelände (Wald, Steinbrüche, Baustellen, Deponien etc.) kurzfristige, exakte und sehr rasche Datenaufnahmen.
- (3) Häufig werden zur Aufnahme Digitalkameras und Videokameras eingesetzt. Auf Grundlage der gewonnenen Digitalbilder können Objektvermessungen mit xyz-Genauigkeiten im cm-Bereich durchgeführt werden. Somit ist es u. a. möglich, Kubaturen genau zu bestimmen und Haldenberechnungen, Lagekontrollen eines Planums oder Überwachungen von Materialbewegungen auf Baustellen oder Deponien etc. durchzuführen. In Abhängigkeit der Jahreszeit sind zudem luftbildsichtige Merkmale zu erkennen, die in den Daten der Landesbefliegungen möglicherweise nicht sichtbar sind.
- (4) Je nach Fragestellung können weitere Sensortypen zum Einsatz kommen. Beispielhaft sind Lasersensoren zur Erstellung hochgenauer Oberflächenmodelle (LIDAR) oder Infrarotsensoren zur besseren Differenzierung von Vegetation zu nennen.

**Praxisrelevanz**

**Mittel:** Der mögliche Erkenntnisgewinn ist im einzelnen Bedarfsfall zu ermitteln.

**7.2.4 Geophysikalische Verfahren****7.2.4.1 Einleitung**

- (1) Die konkrete Darstellung der einzelnen Verfahren mit ihren Einsatzmöglichkeiten und -grenzen sowie dreier Anwendungsbeispiele typischer Untersuchungsaufgaben erfolgt im Materialienband „Geophysikalische Verfahren für die Erkundung kontaminierter Flächen und des Baugrundes“<sup>3</sup> mit den Aspekten

- Leistungsbeschreibung: Formulierung der geophys. Untersuchungsaufgabe mit Entscheidungsmöglichkeit, welche Verfahren geeignet und ggf. in welcher Kombination anwendbar sind; Beschaffung und Bereitstellung der für den potentiellen Auftragnehmer relevanten Informationen,
- Entscheidung über die Abfolge der geophysikalischen Verfahren,
- Festlegung der Messgeometrie und -parameter,
- Abschätzung des zeitlichen Umfangs der Arbeiten mit überschlägiger Kostenkalkulation,
- Leistungsanforderungen und -prüfung, Qualitätssicherung.

- (2) In der angewandten Geophysik wird die Verteilung physikalischer Parameter in der Erde durch Messungen an der Erdoberfläche ohne Eingriff in den Untergrund (eine Ausnahme bilden geophysikalische Bohrlochmessungen) untersucht. Geophysikalische Verfahren werden eingesetzt, um ein räumliches Modell des Untergrundes zu entwerfen, Störungszonen nachzuweisen und das lokale und regionale Grundwassersystem zu erkunden.

**Untersuchungsziele der Umweltgeophysik**

<sup>3</sup> OFD Niedersachsen, Stand August 2001, nicht veröffentlicht

Sie bieten darüber hinaus Möglichkeiten, Kontaminationsindizien und ggf. Kontaminationsfahnen aufzufinden und abzugrenzen, Deponiekörper zu untersuchen sowie Aussagen über physikalische und lithologische Parameter des Untergrundes zu erhalten. Die Lokalisierung und Tiefenbestimmung von anthropogenen Einlagerungen im Erdreich, z. B. Fässer, Tanks, Leitungen, Mauern und Fundamente, sind ebenfalls Aufgabe geophysikalischer Erkundungen. Für die verschiedenen Anwendungsfelder steht eine Vielzahl geophysikalischer Verfahren zur Verfügung.

**Kontraste in physikalischen  
Materialparametern  
erforderlich**

- (3) Notwendige Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz geophysikalischer Verfahren ist das Vorhandensein von Kontrasten der physikalischen Materialparameter im Untergrund (Magnetisierung, Dichte, spezifischer elektrischer Widerstand, Dielektrizitätszahl, Aufladefähigkeit, Geschwindigkeit seismischer P- und S-Wellen etc.). Vor der Durchführung geophysikalischer Messungen ist abzuschätzen, ob die zu erwartenden Anomalien in den Messgrößen unter Beachtung künstlicher Störungen durch Industrie, Verkehr, Bebauung und Versiegelung einen Einsatz rechtfertigen und welches Verfahren den größten Beitrag zur Beantwortung der Fragestellung(en) liefert. Gegebenenfalls sind Modellrechnungen und/oder Testmessungen durchzuführen.

**Fachberatung ratsam**

- (4) Aufgrund der vielfältigen Situationen im Gelände und der unterschiedlichen Möglichkeiten des Einsatzes der geophysikalischen Verfahren ist im konkreten Fall in der Regel die Beratung durch einen kompetenten Geophysiker notwendig.

#### 7.2.4.2 Übersicht über die geophysikalischen Verfahren und ihre Anwendungsmöglichkeiten

- (1) Das Methodeninventar der Geophysik ist umfangreich. Es lässt sich in Oberflächenverfahren und Bohrlochmessverfahren untergliedern (Tab. 7-3 und 7-4).
- Oberflächenverfahren** (2) Oberflächenverfahren liefern entlang von Profilen oder auf Flächen Erkenntnisse über den Aufbau des Untergrundes, die je nach Verfahren auch eine detaillierte tiefenabhängige Aussage erlauben. In diesem Fall kann ein dreidimensionales (Struktur-) Bild des Untergrundes abgeleitet werden. Geophysikalische Oberflächenverfahren arbeiten quasi berührungslos und erfordern deshalb keinen Eingriff in den Untergrund.

Tab. 7-3: Geophysikalische Oberflächenverfahren

Potenzialverfahren	Georadar/Seismik
Magnetik	Georadar
Gravimetrie	Refraktionsseismik
Geoelektrik	2D-/3D-Reflexionsseismik
Elektromagnetik	Seismische Tomographie

Tab. 7-4: Geophysikalische Bohrlochmessverfahren

Technische Messungen, Messung geometrischer Größen	Passive Messungen, Messung natürlicher Felder	Aktive Messungen, Messung aufgeprägter Felder
→ Bohrlochkaliber (CAL)	→ Elektrisches Eigenpotenzial (SP)	→ Elektrische Messungen (Ströme)
→ Bohrlochneigung (DV)	→ Natürliche Gammastrahlung (GR)	→ Elektromagnetische Messungen (Felder)
→ Bohrlochazimut (AZ)	→ Strömungsgeschwindigkeit (FLOW)	→ Akustische Messungen (Wellen)
	→ Druck (P)	→ Kernphysikalische Messungen (Teilchen)
	→ Salinität (SAL)	
	→ Temperatur (TEMP)	

- (3) Bohrlochmessverfahren zeichnen sich durch die Gewinnung punktueller tiefenbezogener Informationen mit hoher Auflösung aus. Die Ergebnisse geben Aufschluss über die geologischen Verhältnisse in unmittelbarer Umgebung der Bohrlochwand.

#### Bohrlochmessverfahren

- (4) Eine Beschreibung der gebräuchlichen geophysikalischen Verfahren

- Magnetik,
- Elektromagnetik,
- Georadar

erfolgt in den BFR KMR, A-3.1 unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen bei der Kampfmittelortung. Sie können auch für bestimmte Fragestellungen im BoGwS-Bereich genutzt werden, z. B. zum Definieren der Lage von nicht oberirdisch sichtbaren Erdtanks.

- Verfahrenskombination oft sinnvoll** (5) Um ein flächenhaftes und räumliches geologisches Bild des Untergrundes zu erhalten, sollten Oberflächenverfahren und Bohrlochmessungen kombiniert werden. Die Bohrlochmessungen dienen dabei dem direkten „geologischen“ Aufschluss des Untergrundes, an denen die Ergebnisse der Oberflächenverfahren kalibriert werden und so ein flächenhaftes bzw. räumliches Modell des Untergrundes in der Umgebung bzw. zwischen Bohrungen und anderen Aufschlüssen (Schurf etc.) erstellt werden kann.
- Geophysik als Vorerkundung** (6) Zur Festlegung von optimalen Bohransatzpunkten empfiehlt es sich, vorweg eine linien- bzw. flächenhafte geophysikalische Untersuchung durchzuführen. Damit können „Schlüsselpositionen“, die zum Verständnis über den Aufbau des Untergrundes beitragen, im Gelände gefunden und exakt festgelegt werden. Ebenso werden unliebsame Überraschungen wie z. B. das Anbohren von Tanks, unterirdischen Fundamenten oder das ungewollte Durchbohren von abdichtenden Stauern (geologische Barriere) vermieden.
- Weites Spektrum möglicher Anwendungen** (7) Die Anwendungsmöglichkeiten geophysikalischer Verfahren sind weit gefächert. Sie reichen von der Bauwerksprüfung über die Baugrund- und Verkehrswegeerkundung sowie die Deponie- und Altlastenuntersuchung bis hin zur Lagerstättenerkundung. Tabelle 7-5 gibt einen Überblick über die möglichen Anwendungsbereiche mit ihren spezifischen Untersuchungsobjekten. Tabelle 7-6 zeigt Anwendungsmöglichkeiten der einzelnen geophysikalischen Oberflächenverfahren (Anwendungsmatrix).

**Tab. 7-5: Anwendungsbereiche geophysikalischer Erkundungsverfahren**

Anwendungsbereich	Untersuchungsobjekte
Seismische Exploration	Erdöl-/Erdgaslagerstätten, Untergrundspeicher, Endlager
Geotechnik/Umwelt, Ingenieur- und Umweltgeophysik	Industriebrachen, Rüstungsalt- und Militärstandorte, Altablagerungen, Deponien, Grundwasser, Baugrund, Verkehrswege, Kampfmittel, Fässer, Tanks, Hohlräume, Fundamente, Tunnel, Bauwerksprüfung u. a.
Prospektion auf Massenrohstoffe	Kies, Sand, Ton, Gips, Erze u. a.
Grundwasserprospektion/Hydrogeologie	Trinkwasser, Mineral- und Thermalwasser u. a.
Archäologische Erkundung	Mauern, Fundamente, Gräben, Gruben, Gräber, Hohlräume, Metallobjekte u. a.

Tab. 7-6: Anwendungsmöglichkeiten geophysikalischer Oberflächenverfahren

Methode/Anwendungsmöglichkeiten	Mag- netik	Gravi- metrie	Geo- elektrik	Elektro- magnetik	Geo- radare	Seismik
Erkundung regionaler Strukturen im Untergrund	•	•	•			•
Erkundung lokaler geologischer Strukturen im Untergrund	•		•	•		•
Abgrenzung lithologischer Einheiten	(•)		•	•		•
Nachweis von Lagerungsstörungen im Lockergestein			•			•
Erkundung von Verwerfungen, Störungen, Kluft- und Auflockerungszonen			•	•	(•)	•
Kartierung von Erosionsrinnen		•	•			•
Ermittlung der Festgesteinsoberkante unter Lockergesteinsbedeckung sowie der Mächtigkeit der Verwitterungsschicht			•			•
Bestimmung elastischer Parameter wie der Poissonzahl, insbesondere für geotechnische Aufgabenstellungen						•
Auffinden und Abgrenzen von verdeckten Altablagerungen	•		•	•		(•)
Bestimmung der Grundwasseroberfläche		(•)	•		(•)	•
Bestimmung der Teufe und Mächtigkeit von Grundwasserstauern			•			•
Kartierung von Schadstofffahnen			•	•	(•)	
Abgrenzung oberflächennaher Versalzungsbereiche			•	•		
Lokalisierung vergrabener metallischer Objekte (Tanks, Container, Fässer)	(•)			•	•	
Auffinden und Eingrenzen von Fasslagern	•			•		
Nachweis von Munition und Blindgängern	•			•		
Ortung von verdeckten Mauern und Fundamenten	•			•	•	
Ortung oberflächennaher Rohr- und Kabeltrassen	•			•	•	
Ortung natürlicher und künstlicher Hohlräume		•	•		•	(•)

Tab. 7-7: Anwendungsmöglichkeiten der Oberflächengeophysik bei der Baugrunderkundung

Problemstellung	Untersuchungsziel	Verfahren
Bestimmung der Mächtigkeit von Hangschutt	Kartierung der Tiefenlage der Felsgesteinsoberkante	Refraktionsseismik
Aussagen zum Verwitterungsgrad von Gesteinen	Unterscheidung von Boden- und Felsklassen (leicht/schwer löslich)	Refraktionsseismik
Allg. Erkundung, Untersuchung des Baugrundes	Struktureller Aufbau des geologischen Untergrundes (Störungen, Schichtverlauf etc.)	Reflexionsseismik; geoelektrische Sondierungskartierung, Elektromagnetik
Fundamentgründungen	Flächenhafte Verteilung von Lockersedimenten	Widerstandskartierung, Elektromagnetik
Trassenplanung im Straßenbau	Nachweis von Verkarstungszonen im Muschelkalk, die mit Lockermaterial (Schlottenlehm) gefüllt sind	Widerstandskartierung
Erkundung von Tunneltrassen im Festgestein	Nachweis von Störungs- und Vergrusungszonen (im Granit)	Widerstandskartierung, Georadar
Gründung von Brückenpfeilern	Bestimmung der Festgesteinsoberkante	Refraktionsseismik, Geoelektrik
Baugruben; Niederbringen von Rammkernsondierungen	Lokalisierung von Tanks und Fässern	Magnetik, Georadar, Elektromagnetik
Anlegen von Schürfen und Baugruben	Lokalisierung von Leitungen	Magnetik, Elektromagnetik, Georadar
Gründungen, Tunnelbau	Lokalisierung von Hohlräumen	Georadar, Geoelektrik
Baugrundqualität	Bestimmung des Schermoduls	Seismik

- (8) In zunehmendem Maße werden geophysikalische Erkundungsverfahren auch bei der Baugrunderkundung eingesetzt. Hierzu sind in Tabelle 7-7 einige Problemstellungen mit ihren zugehörigen Untersuchungszielen und möglichen geophysikalischen Verfahren zur Lösung aufgeführt. Baumaßnahmen folgen häufig auf die eigentliche Untersuchungsphase von Boden- und Grundwasserkontaminationen, wenn Liegenschaften einer Um- oder Wiedernutzung zugeführt werden. Die Tabelle soll dem planenden (Bau-)Ingenieur Anregungen zu den unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten der Geophysik der Baugrunderkundung geben.