

A-4.3 Beprobungslose Untersuchungen

A-4.3.1 Airborne Laserscanning

Verfahrensbeschreibung

- Die gepulsten Laserstrahlen des Laserscans dringen durch das Geäst der Bäume und erreichen dort den Waldboden. Wald- und Unterholzvegetation können herausgefiltert werden. Die darunter verborgenen Geländestrukturen können in Computermodellen sichtbar gemacht werden und lassen ggf. Rückschlüsse auf Nutzungen zu.
- Airborne Laserscanning stellt hohe Anforderungen an Fachkenntnisse und technische Ausstattung spezialisierter Unternehmen.
- Die Technik kann gegenwärtig in Flugzeugen, Helikoptern oder Drohnen ab ca. 2 kg Ladefähigkeit eingesetzt werden (Stand 2014).
- Rohdaten des Laserscans bedürfen spezieller Datenfilterung zur Trennung zwischen Vegetation, Geländeoberfläche und Bauwerken. Ergebnisdaten der Filterung können ggf. von fachkundigen Ingenieurbüros weiterverarbeitet werden.

Empfohlene Anwendungsszenarien für BoGwS

- Fernerkundung historischer oder aktueller Nutzungsstrukturen in bewaldeten Gebieten.
- Geländedifferenzmodelle zur Erkundung von Abgrabungen und Aufschüttungen (Geländemorphologie damals/aktuell).
- Die erkannten, aber oft nur unter Vorbehalt anzusprechenden Befunde sind im Gelände sorgfältig zu überprüfen, ihre Aussagekraft ist zu hinterfragen.

Ausgewählte technische Informationen

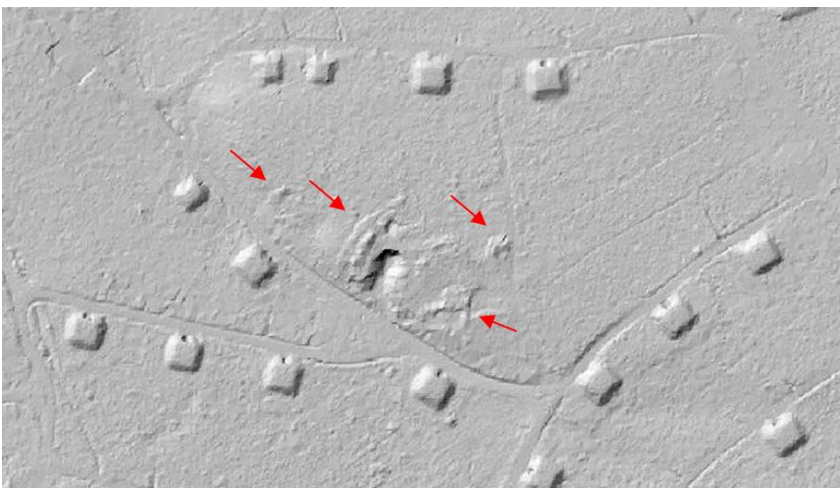
- Daten der Bundesländer: Bodenauflösung max. 1x1 Meter (DGM1; Verfügbarkeit: Bundesgebiet ohne Niedersachsen, Befliegung hier geplant).
- Individuelle Laserscans zu speziellen Fragestellungen: Messpunktdichte Rohdaten: 15 bis 30 Punkte pro m²
- Höhengenaugigkeit relativ: Zentimeter-Bereich
- Abgabeformate gefilterter Daten: georeferenziertes digitales Höhenmodell (DOM, DGM) gerastert, Auflösung nach Anforderung (≥ 5 cm)

Kosten

- Laserscan-Daten aus der Landesbefliegung: je nach Bundesland 30 bis 80 € je km²
- Individuelle, hochauflösende Laserscans: stark von Bodenauflösung abhängig, ca. 4.000 bis 8.000 € je km²

Beispiel Auswertung (Datengrundlage: DGM1 Landesvermessung)**Abb. A-4-1: Beispiel Luftbildausschnitt (ohne Maßstab)**

Aktueller Luftbildausschnitt einer Liegenschaft mit ca. 80 Jahren militärischer Nutzung. Im Grundwasserabstrom sind Schadstoffe nachzuweisen, deren Quelle bisher nicht einzugrenzen war. Aufgrund der in den vergangenen Jahrzehnten überwiegend blickdichten Vegetation sind luftbildsichtig keine konkreten Merkmale von Bodeneingriffen oder Vergrabungen zu erkennen.

**Abb. A-4-2: Darstellung Laserscandaten (DGM1)**

Laserscandaten der exakt gleichen Fläche aus der landesweiten Befliegung (DGM1) lassen eindeutig Strukturen erkennen (rote Pfeile), die auf Bodeneingriffe (Abgrabungen, Aufschüttungen) zurückzuführen sind. Somit ist eine räumlich gezielte technische Erkundung einer potentiellen Kontaminationsquelle möglich.

A-4.3.2 Luftbildauswertung

Verfahrensbeschreibung

- Luftbilder sind objektive „Zeitzeugen“ eines Gebietes zum Zeitpunkt der Aufnahme. Ihre realitätstreue Darstellung lässt – entsprechende Erfahrung vorausgesetzt – wichtige Rückschlüsse auf die Nutzung einer Fläche zu.
- Luftbildauswertung bezeichnet die inhaltliche Interpretation von Luftbildern mit Erfassung der im Bild vorhandenen Informationen über Merkmale des Aufnahmeobjektes, logischer Kombination und individueller Erfahrung vom Luftbildauswerter.
- Mit dem Begriff „Luftbildauswertung“ ist aus technischer und thematischer Sicht kein einheitliches Vorgehen verknüpft. Deshalb ist die initiale Beschreibung von Zielen der Luftbildauswertung unerlässlich.
- In Abhängigkeit der Fragestellung werden verschiedene Verfahren angewendet. Das Spektrum reicht von einer Luftbildsichtung mit rein textlicher Ergebnisdarstellung bis hin zur qualifizierten Detailauswertung mit einer vermessungstreuen Erfassung von Objektgeometrien in Stereoauswertesystemen.

Empfohlene Anwendungsszenarien für BoGwS

- Erste Wahl zur Fernerkundung historischer oder aktueller Nutzungsstrukturen in bestimmten Zeiträumen in unbewaldeten und eingeschränkt in bewaldeten Gebieten.
- Geländedifferenzmodelle zur Erkundung von Abgrabungen und Aufschüttungen (Geländemorphologie damals/aktuell).
- Ortsbegehungen zur Überprüfung der luftbildsichtigen Befunde sind empfehlenswert.

Ausgewählte technische Informationen

- Senkrechtluftbilder aus Reihenbefliegungen werden seit den 60er Jahren in relativ kurzen Zeitabständen angefertigt. Methodisch und technisch sind sie deshalb sehr gut geeignet, um über systematische und multitemporale Bildanalysen Informationen für Fragestellungen des Boden- und Grundwasserschutzes zu erhalten.
- Die Auswertung erfolgt überwiegend digital. Zur Detailauswertung und Vermessung sind spezielle Systeme erforderlich, die ein stereoskopisches und lagetreues Arbeiten ermöglichen.
- Neben zweidimensionalen Daten können aus geeigneten Luftbildern dreidimensionale Daten gewonnen werden. Solche Daten können z. B. zur Ableitung von Geländedifferenzmodellen zwischen zwei Zeitschnitten verwendet werden. Dazu kommen Verfahren der Photogrammetrie zur Anwendung.

Kosten

Die Kosten der Luftbildauswertung sind stark von der Intensität (Sichtung oder Detailauswertung), der Informationsdichte des Betrachtungsgebietes, dem Betrachtungszeitraum und von der Flächen-größe abhängig. Konkrete Kosten können hier nicht genannt werden.

Die Luftbildauswertung stellt für den Boden- und Grundwasserschutz ein vergleichsweise kosteneffizientes Instrument zur beprobungslosen Erkundung von Flächennutzungen dar und sollte im Rahmen der Ersterkundung stets in Betracht gezogen werden.

Beispiel Auswertetechnik und Auswertung

Beispiel Auswertesystem



Abb. A-4-3: Arbeitsplatz zur digitalen stereoskopischen Luftbildinterpretation

Ein typischer Arbeitsplatz zur digitalen stereoskopischen Luftbildinterpretation und Datenerfassung. Auf der rechten Seite befindet sich das stereoskopische Display mit zwei Monitoren und Strahlteilerplatte (halbdurchlässiges Spiegelglas). Auf der linken Seite ist das Display für ein Geographisches Informationssystem (GIS), in dem Bildinformationen kartiert und Sachdaten erfasst werden. Für eine stereoskopische Betrachtung der Luftbilder sind bei diesem System Polfilterbrillen erforderlich.

Beispiel 3D-Luftbildauswertung

Multitemporale Luftbildauswertung einer Sonderabfalldeponie: Wechselnde Betreiber der Deponie erforderten eine Feststellung der Kostenträger für Sanierungsmaßnahmen im Grundwasserbereich.

Die horizontale und vertikale Ausdehnung des Deponiekörpers konnte mittels Geophysik und Aufschlussbohrungen nur unzureichend geklärt werden. Die zeitliche und räumliche Entwicklung der Ablagerungen war unklar.

Sieben Luftbildzeitschnitte von 1945 bis 2002 wurden photogrammetrisch ausgewertet. Aus Einzelpunktmessungen wurden 3D-Modelle der Deponieoberflächen unterschiedlicher Zeitschnitte berechnet.

Volumendifferenzen und Volumenanteile im Grundwasserbereich konnten bestimmt werden.

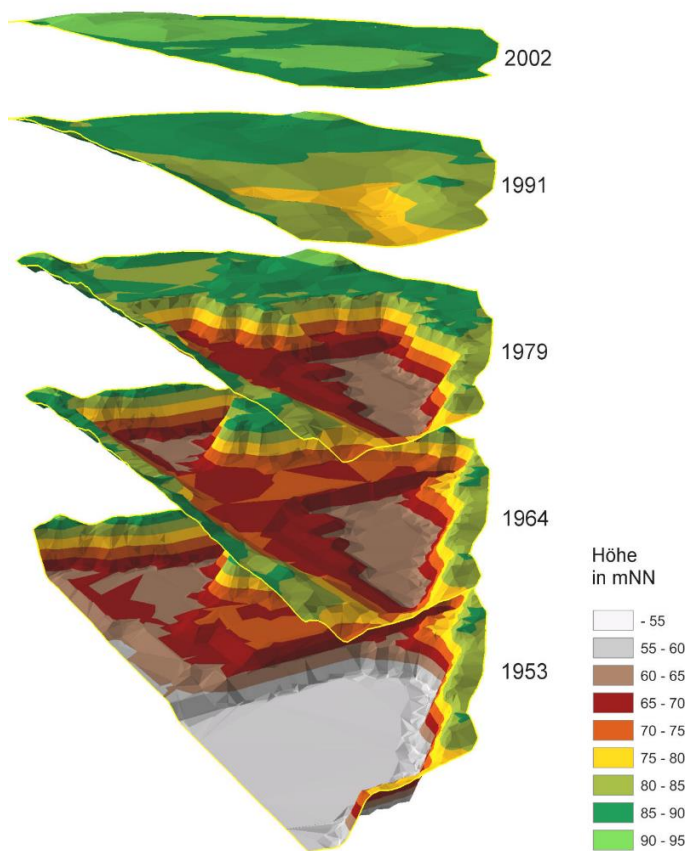


Abb. A-4-4: Multitemporale Luftbildauswertung

Beispiel einer thematischen Luftbilddauswertung

Die komplexe Nutzungsgeschichte eines ehemals militärischen Standortes wurde in Dekaden flächendeckend ausgewertet.

Auf dieser Grundlage konnten kontaminationsrelevante Einrichtungen und Aktivitäten weitgehend lokalisiert werden.



Abb. A-4-5: Thematische Luftbilddauswertung

A-4.3.3 Unbemannte Luftfahrzeuge (Kleindrohnen, MAV)

Verfahrensbeschreibung

MAVs eignen sich sehr gut für die schnelle und kostengünstige Gewinnung hochwertiger Daten zur lokalen Vermessung (durch Laserscanning oder Photogrammetrie) oder Auswertung im visuellen Spektralbereich (monochromatisch, panchromatisch und Color-Infrarot).

Per GPS-Steuerung werden vorab definierte Flugrouten automatisch abgeflogen und überlappende Aufnahmen erstellt, aus denen anschließend mosaikartig Orthofotos zusammengestellt und georeferenziert werden.

Mit spezieller Software können aus den gewonnenen Bildern hochauflösende 3D-Oberflächenmodelle (Punktwolken) berechnet werden. Die Genauigkeit der so erzeugten Punktwolken liegt im Bereich von wenigen Zentimetern auf allen Achsen.

Für den gewerblichen Einsatz müssen die Bestimmungen des Luftverkehrsgesetzes und die länderspezifischen Verordnungen berücksichtigt werden.

Empfohlene Anwendungsszenarien für BoGwS

- Erkennen und erfassen von Fragmenten ehemaliger Nutzungen, welche terrestrisch nicht oder nur bedingt erkannt werden können.
- Erkennen und erfassen von Auffälligkeiten (z. B. Vegetationsanomalien), welche terrestrisch nicht oder nur bedingt erkannt werden können.
- Präzise Aufmaße von Aufschüttungen (3D) oder spezifischen Flächen (2D).
- Kontrolle und Dokumentation langfristiger und großflächiger Sanierungsmaßnahmen (Monitoring).

Ausgewählte technische Informationen

- Einsatz als Flächenflugzeug oder Copter, letzterer setzt sich wegen seiner Flugeigenschaften zunehmend durch
- MAV: Höhe bis ca. 200 Meter, Reichweite ca. 400 Meter, Gesamtgewicht unter 5 kg
- Bodenstation und Steuerungssoftware sind wichtige Komponenten und i.d.R. herstellerspezifisch, Software zur Datenauswertung hingegen unabhängig.

Kosten

- Mietpreise professioneller MAV beginnen bei ca. 3.000 € mit Operator (Tagessatz).
- Beschaffungskosten für professionelle MAV mit hochauflösenden Kameras beginnen bei 5.000 bis 10.000 €. Spezielle Sensoren (Laserscan) liegen deutlich höher.



Abb. A-4-6: Mikrodrohne mit montierter HD-Kamera; Quelle: CC BY 2.0 Don McCullough from Santa Rosa, CA, USA

A-4.3.4 Geophysikalische Verfahren

Verfahrensbeschreibung Oberflächenverfahren

- Oberflächenverfahren liefern entlang von Profilen oder auf Flächen Erkenntnisse über den Aufbau und die Eigenschaften des Untergrundes, die je nach Verfahren auch eine detaillierte tiefenabhängige Aussage erlauben. In diesem Fall kann ein zweidimensionales und in speziellen Fällen auch ein dreidimensionales Bild des Untergrundes erstellt werden. Geophysikalische Oberflächenverfahren erfordern keinen Eingriff in den Untergrund.
- Potentialverfahren sind Methoden, die zur Interpretation von konservativen Feldern herangezogen werden. Sie kommen in der Magnetik, der Gravimetrie, der Geoelektrik und der Elektromagnetik zum Einsatz. Konservative Felder lassen sich unabhängig von ihrer Ursache durch den gleichen mathematischen Formalismus beschreiben (Laplace bzw. Poisson Differentialgleichung). Bei all diesen Methoden ist das Prinzip der Vieldeutigkeit ein inhärentes Problem, d.h. es lässt sich aus der Feldverteilung nicht eindeutig auf die Quellverteilung schließen.
- Die Seismik verwendet künstlich erzeugte elastische Wellen (Druckwellen), um Erkenntnisse über die Untergrundstruktur zu erlangen. Die Untergrundparameter, die hierbei maßgeblich sind, sind Dichte und Elastizität. Ziel aller seismischen Methoden ist es, aus der Beobachtung und Analyse der seismischen Wellenausbreitung auf die Verteilung der seismischen Geschwindigkeit(en) und damit der Struktur im Untergrund zu schließen. Die Verfahren sind Refraktionsseismik, 2D-/3D-Reflexionsseismik, seismische Tomographie.
- Das Prinzip des Georadars entspricht der Reflexionsseismik, nur handelt es sich nicht um Druckwellen, deren Signale man letztlich registriert, sondern um elektromagnetische Wellen. Die Ausbreitung und Reflektion der elektromagnetischen Wellen werden hierbei von den elektrischen und den dielektrischen Eigenschaften des Untergrunds bestimmt.

Verfahrensbeschreibung Bohrlochmessverfahren

- Bohrlochmessverfahren zeichnen sich durch die Gewinnung tiefenbezogener Informationen mit hoher Auflösung aus. Die Ergebnisse geben Aufschluss über die geologischen Verhältnisse in unmittelbarer Umgebung der Bohrlochwand.
- In der Bohrlochgeophysik kommen vornehmlich geoelektrische, magnetische und akustische Verfahren sowie Radar und Radioaktivität verwendende Verfahren zum Einsatz. Mit ihrer Hilfe werden in den Bohrlöchern lithologische, petrophysikalische, lagerstättentechnische Eigenschaften sowie gefügekundliche und bohrtechnische Daten aufgenommen.

Empfohlene Anwendungen für BoGwS

- Kontaminationsindizien auffinden und ggf. Kontaminationsfahnen (im Grundwasserleiter) abgrenzen,
- Deponiekörper untersuchen sowie Aussagen über physikalische und lithologische Parameter des Untergrundes erhalten,
- anthropogene Einlagerungen im Erdreich z. B. Fässer, Tanks, Leitungen, Mauern und Fundamente lokalisieren und deren Tiefe bestimmen.
- Als Vorerkundung, um z. B. das ungewollte Durchbohren von abdichtenden Stauern (geologische Barriere) zu vermeiden.

Ausgewählte technische Information

- Notwendige Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz geophysikalischer Verfahren ist das Vorhandensein von Kontrasten der physikalischen Materialparameter im Untergrund (Magnetisierung, Dichte, spezifischer elektrischer Widerstand, Dielektrizitätszahl, elektrische Leitfähigkeit, 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.
- Um ein flächenhaftes und räumliches geologisches Bild des Untergrundes zu erhalten, können 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.

Die Anwendungsmöglichkeiten geophysikalischer Verfahren bei der Altlastenbearbeitung werden im Leitfaden „Geophysik an Altlasten“ von D. Vogelsang (Springer-Verlag) dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der gebräuchlichen geophysikalischen Verfahren (Magnetik, Elektromagnetik, Georadar) erfolgt in den BFR KMR, A-3.1 unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen bei der Kampfmittelortung.

Die folgende Tabelle zeigt eine Anwendungsmatrix von geophysikalischen Oberflächenverfahren.

Tab.: Anwendungsmöglichkeiten geophysikalischer Oberflächenverfahren

Methode/Anwendungsmöglichkeiten	Mag-netik	Gravi-metrie	Geo-elektrik	Elektro-magnetik	Geo-radare	Seismik
Auffinden und Abgrenzen von verdeckten Altablagerungen	•		•	•	•	(•)
Bestimmung der Grundwasseroberfläche		(•)	•		•	•
Bestimmung der Teufe und Mächtigkeit von Grundwasserstauern bis ca. 10 m Tiefe			•		•	•
Kartierung von Schadstofffahnen			•	•	•	
Feststellung einer Süßwasser-/Salzwassergrenze			•		•	
Lokalisierung vergrabener metallischer Objekte (Tanks, Container, Fässer)	•			•	•	
Auffinden und Eingrenzen von Fasslagern	•			•	•	
Nachweis von Munition und Blindgängern	•			•	•	
Ortung von verdeckten Mauern und Fundamenten	•			•	•	

Methode/Anwendungsmöglichkeiten	Magnetik	Gravimetrie	Geoelektrik	Elektromagnetik	Georadare	Seismik
Ortung oberflächennaher Rohr- und Kabeltrassen	•			•	•	
Ortung natürlicher und künstlicher Hohlräume		•	•		•	(•)
Erkundung regionaler Strukturen im Untergrund	•	•	•		•	•
Erkundung lokaler geologischer Strukturen im Untergrund	•		•	•	•	•
Erkundung von Verwerfungen, Störungen, Kluft- und Auflockerungszonen			•	•	(•)	•
Kartierung von Erosionsrinnen		•	•		•	•
Ermittlung der Festgesteinsoberkante unter Lockergesteinsbedeckung sowie der Mächtigkeit der Verwitterungsschicht			•		•	•

Beispiel Auswertung

Als Beispiel einer Auswertung ist unten das etwa 1.000 m² große Testfeld einer geophysikalischen Messung mit Magnetik („passive Sondierung“ mit Gradiometersonden) zu sehen. In dem Feld wurden Erdtanks vermutet. Die Messungen ergeben zwei Verdachtspunkte für Tanks (VP) und eine linienförmige magnetische Anomalie, die auf Leitungen hindeuten könnte.

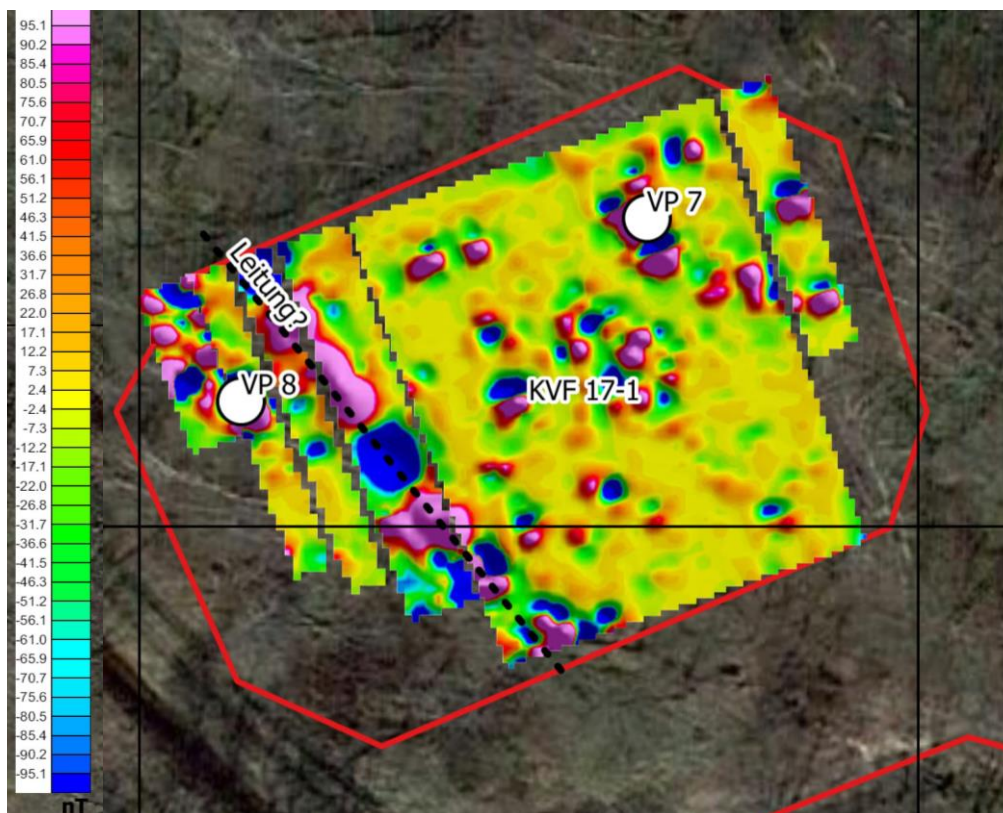


Abb. A-4-7: Beispiel einer geophysikalischen Messung (rot umrandet) mit magnetischen Anomalien (in Nanotesla pro Meter, nT/m) © geoFact