

# Standards zur Durchführung geophysikalischer Prospektion in der Archäologie in Bayern



## Einleitung

Die im Folgenden aufgeführten Mindestanforderungen sollen dazu dienen, dass geophysikalische Maßnahmen möglichst effektiv vergleichbare, sinnvolle und damit nicht zuletzt auch verwertbare Prospektionsergebnisse liefern. Die Zusammenstellung standardisierter Richtlinien soll sowohl Prospektoren, als auch deren Auftraggebern helfen, die geeigneten Maßnahmen durchzuführen bzw. zu beauftragen.

Aufgrund der Komplexität und Vielzahl von einsetzbaren Geräten ist es notwendig, dass die Maßnahmen detailliert beschrieben und dokumentiert werden. In keinem Falle kann ein Standard auf alle Situationen der geophysikalischen Prospektion in der Archäologie angewandt werden. Demgegenüber sind die Darstellung und Ausgabe der Ergebnisse sowie die schriftlichen Berichte dazu in einheitlicher Form auszuführen.

Alle Prospektionsmaßnahmen im Bereich von Bodendenkmälern und archäologischen Verdachtsflächen müssen mit dem Referat Z V des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege abgestimmt werden. Kontakt telefonisch oder per E-Mail unter:

[roland.linck@blfd.bayern.de](mailto:roland.linck@blfd.bayern.de)      Tel. 089/2114-352  
[andreas.stele@blfd.bayern.de](mailto:andreas.stele@blfd.bayern.de)      Tel. 089/2114-330

Für jede Prospektionsfläche wird von der Arbeitsgruppe Geo-Erkundung des Referats Z V eine Maßnahmen-Nummer vergeben. Bei der Anwendung unterschiedlicher Prospektionsmethoden werden zusätzliche Maßnahmen-Nummern zugewiesen. Auch der Eintrag der Maßnahmen und Ergebnisse in das Fachinformationssystem des BLfD erfolgt einheitlich durch die Arbeitsgruppe. Von Gebietsreferenten der Abt. B zugewiesene Maßnahmennummern sind nicht gültig.

## Leistungsbeschreibung geophysikalische Prospektion in der Archäologie

### I) Vorbereitung

a) Begründung für die geophysikalische Prospektion: Im Vorfeld der Untersuchung muss geklärt werden, welche archäologischen Befunde ggf. erwartet werden können. Basierend darauf kann Art und Umfang der geophysikalischen Prospektion im Rahmen eines Leistungsverzeichnisses festgelegt werden (vgl. III).

b) Die Georeferenz der Messfläche(n) soll mittels Umrisspolygon(en) in den Dateiformaten „shp“ bzw. notfalls „dxf“ dokumentiert werden, eine Belegung mit Gauß-Krüger-Koordinaten der GK-Zone 4 (EPSG: 31468) bzw. ETRS-89 UTM32/33 (EPSG: 25832) möglichst hoher Qualität (= RTK-fix) ist erforderlich.

Mit „handheld“-GPS ermittelte Koordinaten können nicht die erforderliche Genauigkeit liefern.

## Eignung von Flächen zur geophysikalischen Prospektion:

a) Topographie: Möglichst eben, keine zu starken Gefälle. Starke Neigungen können zu Problemen bei der sinnvollen Durchführung der Messungen bzw. bei deren Auswertung führen. Insbesondere beim Bodenradar treten dabei aus methodischen Gründen teils enorme Fehler in der exakten Messpunktlokalisierung auf.

b) Messfläche: Die Größe der Messfläche sollte 80 x 80m für Magnetometerprospektion bzw. 20 x 20m für Elektrik oder Radar möglichst nicht unterschreiten.

c) Bewuchs:

Magnetik: Während der Messung möglichst frei von Bewuchs, d. h. bei landwirtschaftlich genutzten Flächen im Frühjahr vor bzw. unmittelbar nach der Aussaat oder im Herbst nach der Ernte.

Möglichst eben, ohne grobe Ackerschollen oder bei Grasflächen nach dem Mähen.

Einzelne Bäume und Sträucher oder Baumreihen stellen kein Hindernis dar, müssen aber umgangen werden und führen zu einer Lücke im Messbild.

Elektrik: Der Wurzelbereich von Bäumen sowie frisch gepflügte Äcker sind für die Prospektion ungeeignet.

Bodenradar: Um eine ungehinderte Signalanbindung an den Untergrund zu gewährleisten, muss die Fläche möglichst eben sein. Das Vorhandensein von Stoppeln und hohem Gras führt zu einem deutlichen Verlust an Signalstärke und damit Eindringtiefe und ist somit zu vermeiden. Um eine ausreichende Eindringtiefe zu gewährleisten, ist darauf zu achten, dass keine zu hohe Bodenfeuchtigkeit vorliegt.

d) Wege: Schmale Feldwege, ggf. geschottert oder auch geteert, können bei der Magnetometerprospektion überquert werden, bei der Elektrik i. d. R. nicht, da die Messsonden direkt in die oberen Zentimeter des Bodens eingesteckt werden müssen. Aussagen über archäologische Befunde sind allerdings auch bei der Magnetik unter Wegen, aufgrund starker Störeinflüsse, nur in Ausnahmefällen zu erwarten. Für das Radar stellen Wege kein Hindernis dar. Es ist jedoch zu beachten, dass diese meist stark verdichtet bzw. fundamementiert sind und sich deshalb auch noch in großer Tiefe als Störung der Messung darstellen.

e) Straßen: Für die Magnetfeldmessung sollte der Abstand zur Autobahn und zu Fernstraßen wegen des Verkehrs mindestens 20 m (bei Fluxgate-Messungen) bzw. 60 - 80 m (bei Totalfeldmessungen) betragen.

f) Hochspannungsleitungen: Sind generell ein Problem für geophysikalische Messungen (insbesondere in der direkten Umgebung der Strommasten). Bei der Elektrischen Prospektion kann es darüber hinaus auch zu Störungen der Elektronik kommen, welche die Ausführung der Messungen gänzlich verhindern.

g) Sonstige Objekte: Gebäude oder auch kleinere Objekte wie Laternenpfosten, Betonpfeiler, Mauern, Sitzbänke etc. verursachen in der Magnetik Störungen im Umkreis von mehreren Metern, so dass hier eine Messung nur eingeschränkt aussagekräftig ist. Beim Radar ist zu beachten, dass ein in der Nähe befindlicher Mobilfunkmast aufgrund des vergleichbaren Frequenzbandes eine starke Störung darstellt und teilweise eine erfolgreiche Messung komplett verhindert.

Beim Vorliegen von mehreren gravierenden Hindernissen der beschriebenen Art ist eine geophysikalische Prospektion in manchen Fällen nicht erfolgversprechend und daher nicht sinnvoll. Die Anwendbarkeit der Prospektion muss jeweils im Einzelfall geklärt werden.

## II) Qualifikation der Prospektoren

Der Prospektionsleiter sollte einen Hochschulabschluss mit Schwerpunkt archäologische Prospektion oder geophysikalische Prospektion haben bzw. eine vergleichbare langjährige Berufserfahrung nachweisen können.

Zusätzliche Anforderungen an Projektleiter / Projektleiterin Prospektion:

- Fundierte Kenntnisse der Siedlungsstrukturen aller archäologischer Zeitstufen (um die Messbilder erkennen und interpretieren zu können)
- fundierte Grundkenntnisse im Vermessungswesen

## III) Messmethoden

Für die flächenhafte Erkundung von archäologischen Fundstellen und Befunden stehen die verschiedensten geophysikalischen Prospektionsmethoden zur Verfügung. Für die archäologische Anwendung sollten jedoch vorrangig die drei folgenden Methoden angewandt werden:

### a) Magnetometer-Messungen:

Zur Messung steht eine Vielzahl kommerzieller Messgeräte zur Verfügung. Es sollte ein Gerät mit der Empfindlichkeit von besser als  $\pm 0,3$  Nanotesla ausgewählt werden.

Die Flächenmessung muss das gesamte zugängliche Areal erfassen. Die Messpunktdichte muss mindestens 25 x 50 cm betragen.

Es sind dabei hand- sowie fahrzeuggestützte Systeme zugelassen.

Bei sehr großen Messflächen (> ca. 15 ha) besteht auch die Möglichkeit einer drohnengestützten Magnetometerprospektion. Diese muss jedoch zusätzliche Voraussetzungen erfüllen:

- Flughöhe: < 70 cm über Grund
- Max. Fluggeschwindigkeit: 4m/s
- Flugmodus: „parallel to main path“, d.h. feste Ausrichtung der Drohne in eine Richtung

ACHTUNG: Bei der Wahl der Messplattform sind bodengestützte Sensoren den Drohnen aufgrund der besseren Datenqualität vorzuziehen.

Bevorzugter Einsatz bei vermuteten Erdwerken, Graben- oder Grubensystemen, ehemaliger Bebauung mit Holzgebäuden.

### b) Radar-Messungen:

Wir empfehlen hier eine detaillierte Untersuchung sowie die Darstellung der Ergebnisse und Daten in sogenannten „amplitudenbasierten“ Zeitscheiben. Der Profilabstand sollte bei Flächenmessungen 50 cm nicht überschreiten. Grundsätzlich sollten immer Flächenmessungen durchgeführt werden, da einzelne Profile in den meisten Fällen keinen erhöhten archäologischen Aussagewert besitzen.

Die verwendete Antennenfrequenz sollte nur in begründeten Ausnahmefällen eine andere als

400-600 MHz betragen. Nur so kann ein optimaler Kompromiss zwischen Eindringtiefe und Auflösung der archäologischen Strukturen gewährleistet werden.

Die Radarprospektion ist eine aufwendige und kostenintensive Prospektionsmethode, die deshalb auf spezielle Bedingungen zugeschnitten sein muss. Die Anwendung der Radarprospektion ist ausführlich zu begründen.

Bevorzugter Einsatz bei klar definierten, auch horizontalen Reflektoren (Schichtgrenzen), wie z. B. steinernen Mauerresten, Straßen oder Fußböden im Untergrund.

*c) Erdwiderstands-Prospektion:*

Der Messpunktabstand darf maximal 50 x 50 cm betragen.

Bevorzugter Einsatz bei vermuteten Überresten von Steingebäuden oder –strukturen.

*d) Weitere geophysikalische Prospektionsmethoden:*

- Gravimetermessungen
- Elektromagnetische Verfahren
- Seismische Verfahren

Die letzteren können die unter a-c aufgeführten Methoden nur ergänzen, aber nicht ersetzen.

#### **IV) Datenaufnahme und Datenbearbeitung**

Für die Magnetometrie und Widerstandskartierung stehen derzeit folgende Datenformate zulässig:

- \*.comp für Geoplot (Grid-basierte Messungen)
- \*.dlm für Sensys-Systeme (GPS-basierte Messungen)
- \*.txt für Foerster-Systeme
- \*.bin für Geometrics-Systeme

Sofern andere Software zum Einsatz kommt, müssen Ausgabefiles im ASCII-Format erstellt werden, die mit einem der oben genannten Programme kompatibel sind oder problemlos in diese eingelesen werden können (z. B. XYZ-Datensätze).

Für das Bodenradar sollten die Daten in einem der allgemein gültigen Herstellerformate vorgelegt werden:

- \*.dzt für GSSI
- \*.rd3 für Malå
- \*.dt1 für Sensors & Software
- \*.dt für IDS

Sofern eine Datenaufnahme in einem anderen Format erfolgte, muss vor der Abgabe eine Konvertierung der Messdaten in das \*.sgy-Format erfolgen.

Zu bearbeiten sind die Ergebnisse in folgenden Formen:

*1. Magnetometer- und Widerstandsdaten:*

a) Eine Kopie der unverarbeiteten „Rohdaten“ im ASCII-Format muss zusammen mit einer detaillierten Gerätebeschreibung sowie der Metadaten der Messpunktlokalisierung erhalten und archiviert werden. Bei kommerziellen Geräten genügt der Verweis oder das Zitat eines publizierten Gerätemanuals.

- b) Visualisierte, ausgewertete Daten ohne jegliche Filterung oder Glättung.
- c) Visualisierte, ausgewertete Daten, bei denen folgende Arbeitsschritte durchgeführt wurden:
- Minimierung so genannter Kanteneffekte zwischen Messquadraten oder Messflächen, die dadurch entstehen, dass die Messungen zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführt wurden, durch geeignete Filterungen.
  - Eliminierung von „Artefakten“, die durch die Art der kontinuierlichen Datenaufnahme erzeugt werden, durch geeignete Datenverarbeitung (z.B. despiking, destriping, desloping).
  - Alle Artefakte, die durch die Art der Datenaufnahme erzeugt und nicht eliminiert werden konnten, müssen klar beschrieben und klar von archäologisch induzierten Anomalien differenziert werden.
  - Jede zusätzliche Datenfilterung muss identifizierbar sein und deren Anwendung begründet werden.

Die Visualisierung der Daten unter Punkten b) und c) sollte als Graustufenbild in 256 Graustufen von Weiß nach Schwarz im Tiff-Format gespeichert werden. Dabei sollte die Anzahl der Bildpunkte exakt der Anzahl der Messpunkte entsprechen. Zusätzlich sollte ein GeoTiff (inkl. \*.prj-Datei) in o.g. Koordinatensystemen für die direkte Einbindung in GIS abgeliefert werden.

Für drohnengestützte Daten sind die notwendigen Verarbeitungsschritte strikt festgelegt und können bei Bedarf bei o.g. Kontaktdaten angefordert werden.

## 2. *Bodenradardaten:*

- a) Rohdaten der einzelnen Profile in einem der oben beschriebenen Formate mit genauer Angabe des verwendeten Geräts, der verwendeten Antenne und der vor der Messung eingestellten Korrekturen, wie z. B. Stapelung und Bandpassfilter. Des Weiteren muss aus der Dokumentation die Profilanordnung klar hervorgehen.
- b) Datenfile, in dem alle gemessenen Profile in entsprechender Orientierung zusammengesetzt sind.
- c) Folgende Datenverarbeitungsschritte sollten in jedem Fall durchgeführt werden:
- Stapelung der Radarspuren mit einem Faktor 3-4
  - Bandpassfilter von zwei Oktaven um die Zentralfrequenz der verwendeten Antenne, um Störsignale zu eliminieren
  - Anpassung der Verstärkung, um Signale aus größerer Tiefe sichtbar zu machen
  - Korrektur des Nullpunktes des Signals auf den Ersteinsatz
  - Entfernung von eventuellem Hintergrundrauschen
  - Tiefenmigration
  - Ausgleich des Verstärkungsunterschiedes zwischen den einzelnen Profilen.

Die Visualisierung sollte als Tiefscheiben in Graustufendarstellung von weiß nach schwarz erfolgen. Die Dicke der Tiefscheiben beträgt im Regelfall 20 cm, der Abstand dazwischen ebenfalls. Es sollte eine Speicherung in einem gängigen Grafikformat, wie beispielsweise \*.jpg bzw. \*.tif vorliegen. Zusätzlich sollte von allen Tiefscheiben ein GeoTiff (inkl. \*.prj-Datei) in o.g. Koordinatensystemen für die direkte Einbindung in GIS abgeliefert werden.

## V) Interpretation der Daten

Die Interpretation muss unter Berücksichtigung der örtlichen topographischen, bodenkundlichen und geomorphologischen Gegebenheiten durchgeführt werden.

Dabei sollten auch lokal tätige Archäologen und andere Informationsquellen, z. B. Ortsakten des BLfD, Urkataster, Orthofotos, Geländemodelle etc. zu Rate gezogen werden.

Rezente und technische Störungen müssen von archäologischen Strukturen unterschieden werden und entsprechend kenntlich gemacht sein.

Eine klare Unterscheidung von wissenschaftlich begründeter Interpretation und anderweitig begründeter Interpretation oder Spekulation ist zu geben.

## VI) Der Bericht

Jede geophysikalische Prospektion oder Maßnahme, auch mit unbefriedigendem Ergebnis, erfordert einen wissenschaftlich fundierten Bericht.

Der Bericht muss auch eine allgemeinverständliche Zusammenfassung der Ergebnisse enthalten.

Minimalanforderungen des Berichtes:

- i) Titel, Autor, Auftraggeber, Kunde, Datum, Maßnahmennummer
- ii) Archäologische Informationen: Einführung, Lage, Vorgeschichte, Zusammenfassung des verfügbaren archäologischen Wissensstandes, Landnutzungsgeschichte, alte Flurkarten, Luftbildarchäologie usw.
- iii) Aktuelle Informationen: Einige deutliche Digitalfotos der Untersuchungsfläche zum Zeitpunkt der Prospektion; Ortsbeschreibung inklusive Geologie, Topographie, Oberflächenbeschaffenheit, Vegetation, Bodenfeuchte während der Datenaufnahme, eventuell auch eine grobe Beschreibung der Wettersituation vor der Datenaufnahme (wichtig bei Widerstands- und Radarkartierung)
- iv) Methoden (Magnetik, Elektrik, Radar), Begründung für die Wahl der Prospektionsmethode und die Wahl der Geräte, die Messpunktdichte sowie eine detaillierte Gerätebeschreibung.
- v) Ergebnisse, Beschreibung und Interpretation - siehe auch Punkte IV und V.
- vi) Zusammenfassung
- vii) Datendarstellung als Graustufenbild, Topographie und Interpretationsplan

Im Rahmen des Berichtes muss auch eine der Fragestellung angemessene archäologische Ansprache und Interpretation der einzelnen sichtbaren Befunde erfolgen. Hierzu sollten alle verfügbaren Quellen herangezogen werden.

Ein Negativbefund basierend auf geophysikalischen Daten ist nicht möglich und darf nicht attestiert werden!

Die Arbeitsgruppe Geo-Erkundung des BLfD behält sich vor, unzureichende Messungen und Berichte, die nicht den hier dokumentierten Standards entsprechen, zurückzuweisen und eine Neuanfertigung anzufordern.

Eine Kopie des Berichtes, sowie eine Kopie der elektronisch gespeicherten Rohdaten, der prozessierten Daten und der georeferenzierten Umgrenzung der Messfläche ist dem Referat Z V des

Bayerischen Landesamts zur Archivierung und Eintragung in das Fachinformationssystem des BLfD  
an folgende Adresse zuzustellen:

Bayerisches Landesamt f. Denkmalpflege  
Ref. Z V Zentrallabor & Geo-Erkundung  
Archäologische Prospektion  
z. Hd. Dr. Roland Linck  
Hofgraben 4  
D 80539 München

E-Mail: [roland.linck@blfd.bayern.de](mailto:roland.linck@blfd.bayern.de), Tel. 089/2114-352

Stand : 08.02.2023