

Zeitschrift: Archäologie der Schweiz : Mitteilungsblatt der SGUF = Archéologie suisse : bulletin de la SSPA = Archeologia svizzera : bollettino della SSPA

Herausgeber: Schweizerische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte

Band: 17 (1994)

Heft: 1: Archäologie und Prospektion = Archéologie et prospection

Artikel: Prospektionsmethoden in der Archäologie am Beispiel des Kantons Zürich

Autor: Leckebusch, Jürg / Nagy, Patrick

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-14655>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Prospektionsmethoden in der Archäologie am Beispiel des Kantons Zürich

Jürg Leckebusch und Patrick Nagy

Im folgenden Beitrag sollen die unterschiedlichen Prospektionsmethoden vorgestellt werden, welche in der Kantonsarchäologie Zürich im Rahmen ihrer Untersuchungen angewendet werden.

Luftbildprospektion und Feldbegehungen

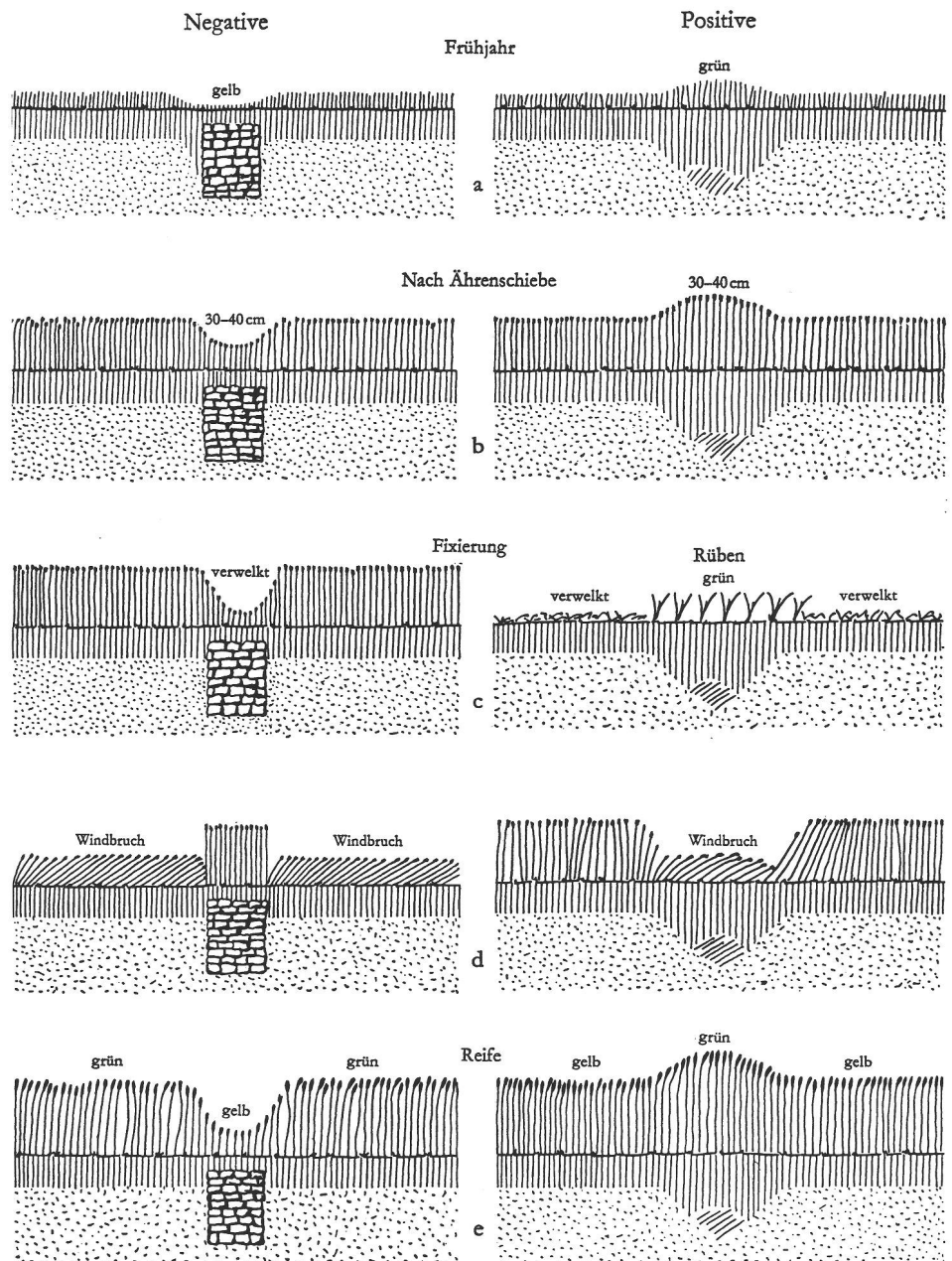
Die Bedeutung von Luftbildern für die archäologische Forschung wurde bereits Ende des letzten Jahrhunderts erkannt¹. Die eigentliche Luftbildprospektion entstand aber erst nach dem 1. Weltkrieg² und entwickelte sich parallel zu Fortschritten in der Flugzeug- und Phototechnologie bis heute weiter³.

Für das Auffinden archäologischer Überreste mittels Luftbildprospektion müssen bestimmte geologische, bodenkundliche und klimatische Bedingungen erfüllt sein⁴; zudem müssen ein geeignetes Flugzeug⁵ sowie eine gute Photoausrüstung⁶ zur Verfügung stehen. Vor jedem Flug muss ausserdem eine umfassende Flugplanung⁷ vorgenommen werden.

Archäologische Luftbildflüge können während des ganzen Jahres durchgeführt werden. Im Winter bilden sich Schnee-, Frost- oder Feuchtemerkmale aus, im Frühjahr und Sommer können v.a. positive und negative Bewuchsmerkmale bei Trockenheit beobachtet werden (vgl. Tabelle 1). Besonders gute Indikatoren für die Herausbildung von Bewuchsmerkmalen sind Gerste, Hafer, Weizen und Roggen, nur bei ausgesprochener Trockenheit auch Gras, Zuckerrüben und Mais (Abb. 1 und 2)⁸.

Neben den archäologischen Luftbildern (Schrägaufnahmen) stehen uns heute eine Vielzahl von Luftbildarchiven (mehrheitlich mit Senkrechtaufnahmen) zur Verfügung⁹. Ihre Nutzbarkeit im Rahmen archäologischer Prospektionstätigkeit kann recht gross sein, doch wird zur Durchsicht viel Zeit und sehr viel Erfahrung benötigt¹⁰. Senkrechtaufnahmen werden im allgemeinen in der vegetationslosen Zeit angefertigt, so dass auf solchen Aufnahmen meist nur Bodenmerkmale festgestellt werden können¹¹. Während sich auf archäologischen Luftbildern im Idealfall

Abb. 1
Positive und negative
Bewuchsmerkmale (vgl. Anm. 3
Scollar 1965, Abb. 4).
Différences de croissance
positives et négatives dans le
terrain.
Caratteri positivi e negativi nella
vegetazione.



Merkmal	Beobachtungszeit	Bodenbeschaffenheit	Merkmal
OBERIRDISCH			
Schattenmerkmal	ganzjährig frühmorgens und abends sowie während dem ganzen Tag in den Wintermonaten (schräg einfallendes Licht!!)	Felder mit oder ohne Vegetation; Unebenheiten im Gelände	Erhebungen und Vertiefungen in der kleinräumigen Geländetopographie oder Unterschiede in der Pflanzenbewuchsgrösse
Schneemerkmal	im Winter a) Schneeverwehungen b) bei einsetzendem Tauwetter	Böden mit unebener Geländetopographie oder unterschiedlicher Bodenfeuchtigkeit (d.h. unterschiedliche Frostbildung)	Nachweis von Schneeanhäufungen im Bereich von Geländeunebenheiten bzw. Wechsel von schneefreien und schneebedeckten Arealen
Flutmerkmal	ganzjährig; bei Überschwemmungen in Flussniederungen	Nachweis in Zeiten mit oder ohne Vegetation	Unebenheiten in der Geländetopographie
UNTERIRDISCH			
Bodenmerkmal	in der vegetationslosen Zeit auf gepflügten Feldern	gepflügte Felder	Farbunterschiede auf der Bodenoberfläche
Feuchtemerkmal	kurz nach Niederschlägen beim Einsetzen der Bodenaustrocknung bzw. nach der Schneeschmelze (nur sehr kurzfristig nachweisbares Merkmal)	Felder mit oder ohne Vegetation Böden mit unterschiedlicher Feuchtigkeitsspeicherkapazität	Farbunterschiede
Frostmerkmal	vgl. Schneemerkmal; ferner während Frostperioden beim Einsetzen von Tauwetter	Böden mit unterschiedlicher Feuchtigkeitsspeicherkapazität	Farbunterschiede auf der Bodenoberfläche
Bewuchsmerkmal	Frühjahr bis Sommer (v.a. Mai - August)	Unterschiede im Bewuchs und in der Ausreifung von Feldfrüchten, bedingt durch unterschiedlichen Feuchtigkeits- und Nährstoffgehalt des Bodens	Farbunterschiede der Pflanzen bzw. Grössenunterschiede der Pflanzen

Strukturen in der Grösse von Pfostenlöchern abzeichnen (Abb. 3), können auf Senkrechtaufnahmen im Massstab von 1:10000 nur noch Gruben mit einem Durchmesser von über einem Meter nachgewiesen werden¹².

Im Kanton Zürich wird seit 1988 ein archäologisches Luftbildprospektionsprojekt durchgeführt¹³, durch welches die Anzahl der bis dahin bekannten Fundstellen beträchtlich erhöht werden konnte. Während 1988-1990 ausschliesslich O. Braasch die Prospektionsflüge durchführte, finden seit 1991 Befliegungen durch eine eigene Equipe, bestehend aus einem Piloten, einem Photographen und einem Archäologen, statt¹⁴. Im Durchschnitt werden pro Jahr in rund dreissig Flugstunden ca. 1000 Luftbilder angefertigt (Abb. 4). Diese dokumentieren sowohl neue als auch bereits bekannte Fundstellen. Die Luftbildflüge finden v.a. während der Monate April bis August statt, da in dieser Zeit wegen der gut ausgebildeten Bewuchsmerkmale mit wenig Flügen eine hohe Zahl von Fundstellen dokumentiert und somit ein günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis erreicht werden kann.

Von der gesamten Kantonsfläche (1728,63 km²) sind 770 km² landwirtschaftliche Nutzfläche, welche somit auch für Luftbildprospektion geeignet sind. Die geologischen¹⁵ und klimatischen Bedingungen in weiten Teilen des Kantonsgebietes bieten hierfür zudem gute Voraussetzungen. Während die jährlichen Niederschlagsmengen von 700-1100 mm im trockenen

Norden zu guten Resultaten führten, können im südlichen Kantonsgebiet aufgrund der höheren Niederschlagsmengen von 1400-1800 mm nur in trockenen Jahren (z.B. 1989, 1992) archäologische Überreste beobachtet werden. Aufgrund des kleinregional sehr unterschiedlichen Wetters müssen in der Zeit zwischen Mai und September die Entwicklung der kumulativen Wasserbilanz¹⁶ sowie die allgemeine Wetterlage laufend ausgewertet werden. Auf diese Weise kann das Auftreten der Bewuchsmerkmale in den einzelnen Gebieten recht zuverlässig vorausgesagt

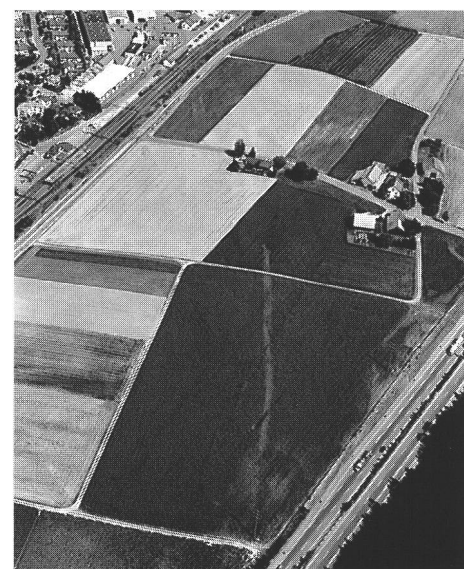


Abb. 2
Die römische Strasse zwischen Vitodurum (Oberwinterthur) und Ad Fines (Pfyn) im Bereich der Gemeinde Wiesendangen ZH.
La voie romaine reliant Vitodurum à Ad Fines, observées dans la commune de Wiesendangen ZH.
La strada romana fra Vitodurum e Ad Fines nella zona del Comune di Wiesendangen ZH.

werden, so dass die Bildflüge zum optimalen Zeitpunkt stattfinden. Bei den beobachteten Strukturen handelt es sich neben geologischen Befunden¹⁷ vor allem um Einzelgruben bzw. Grubenkomplexe (Abb. 5), deren chronologische und funktionale Interpretation (Siedlungs-, Grabgruben, Kiesentnahmestellen usw.) meist erst mittels weiterer Prospektionsmethoden oder Sondierungen erfolgen kann (vgl. unten und weitere Beiträge in diesem Heft). Daneben finden sich auch Kreisstrukturen von Grabhügeln, Mauerreste römischer Gutshöfe, römische bis (früh)neuzeitliche

Abb. 3
Mittelalterliche Siedlungsstelle
mit Gruben- und Pfostenbauten
(Ossingen ZH, De Chreebuck).
*Site d'habitat médiéval compor-
tant des structures à fosses et à
trous de poteau (Ossingen ZH,
De Chreebuck).*
Insediamento medievale con
fosse e buchi di palo di edifici
(Ossingen ZH, De Chreebuck).



Weg- und Strassensysteme, militärische Befestigungen und anderes mehr. Infolge der Kleinteiligkeit unserer Landschaft (vgl. die Feldergrössen der Schweiz mit denjenigen der umliegenden Länder!) können grossflächige Strukturen (z.B. prähistorische Grabensysteme) nur in den seltensten Fällen ausgemacht werden.

Um genauere Informationen zu den dokumentierten Fundstellen zu erhalten, werden in der Folge umfassende Archivstudien und detaillierte Prospektionsarbeiten im Gelände (Feldbegehungen, Bohrungen, Phosphatuntersuchungen, Radar, Geoelektrik, Geophysik) durchgeführt. Feldbegehungen finden meist während der schneefreien Wintermonate statt¹⁸. Die besten Resultate erzielt man auf vegetationsfreien und gepflügten, im Idealfall bereits geegigten Ackerflächen, deren Oberfläche durch Frost und Niederschläge gut ausgewaschen ist (Abb. 6). Werden im Bereich eines Areals archäologische Funde geborgen, welche Anhaltspunkte zur Datierung und Funktion der mittels Luftbildprospektion entdeckten Fundstelle liefern, so sollte diese in der Folge keinesfalls wiederholt begangen und abgesucht werden. Untersuchungen haben nämlich gezeigt¹⁹, dass selbst in intensiv gepflügten Feldern anhand der Verteilung der Oberflächenfunde immer noch wichtige Aussagen zu Tätigkeitsbereichen früherer Zeiten gemacht werden können. Schöne Fundsammlungen hingegen haben bloss noch typologischen und chronologischen Ausgewert.

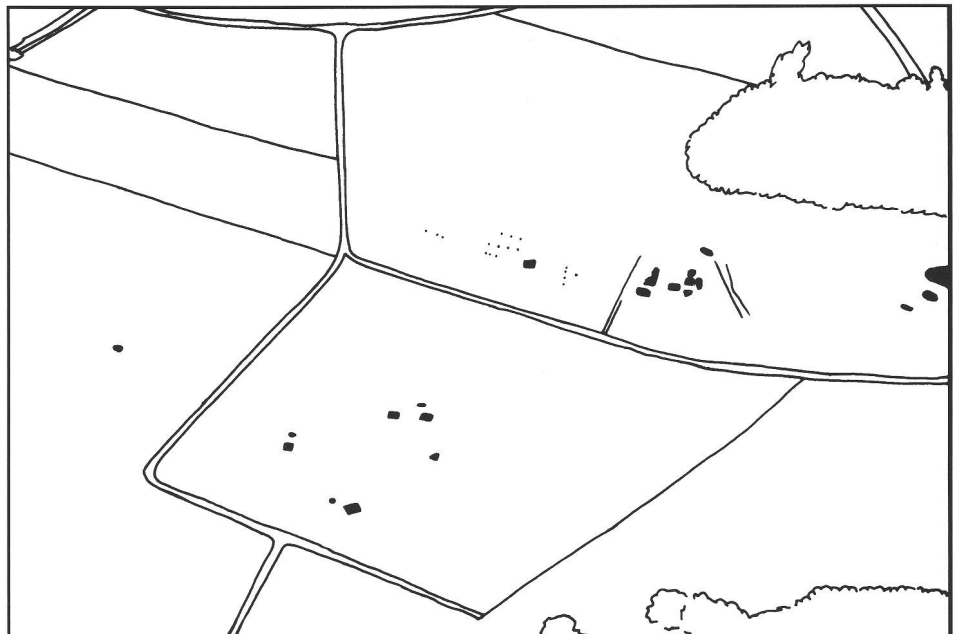


Abb. 4
Grabhügel unbekannter
Zeitstellung (Gemeinde
Henggart ZH).
*Tumulus d'époque indéterminée
(commune de Henggart ZH).*
Tumulo non databile (Comune di
Henggart ZH).

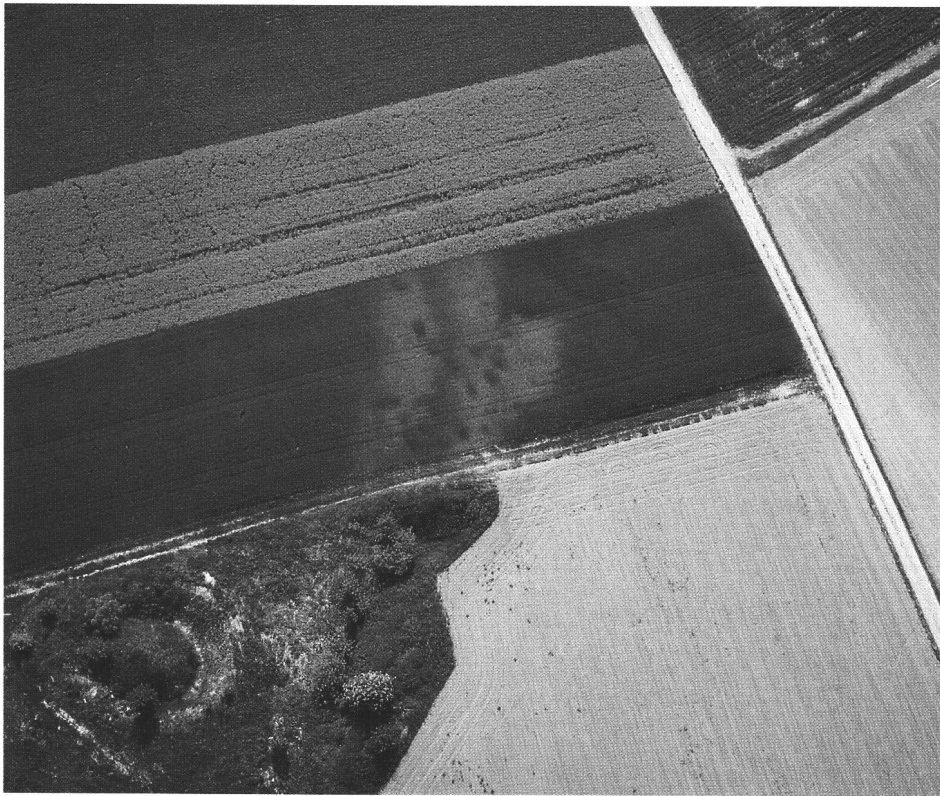


Abb. 5
 Latènezeitliche (?) Gräbergruppe
 (Gemeinde Flaach ZH).
 Groupe de tombe remontant
 éventuellement à la période
 de La Tène (commune de
 Flaach ZH).
 Gruppo di tombe del periodo di
 La Tène (?) (Comune di Flaach
 ZH).

Muss eine mittels Luftbildprospektion entdeckte Fundstelle wegen Baumassnahmen archäologisch untersucht werden, so besteht in der Kantonsarchäologie Zürich die Möglichkeit, mit einem Computerprogramm die Luftbilder zu entzerren²⁰. Dabei werden nicht nur die erkennbaren archäologischen Strukturen, sondern die gesamte Photographie entzerrt, so dass mit der Zeit durch sich ergänzende Aufnahmen ein ganzes Gebiet verarbeitet und die Resultate allmählich mosaikartig zu einem Ganzen zusammengefügt werden können. Von jedem Bildpunkt können sodann die genauen Landeskoordinaten abgelesen werden. Auf dem entzerrten Luftbild werden nachfolgend die sichtbaren archäologischen Strukturen markiert und interpretiert, welche im Anschluss ausgedruckt und als Kartenüberleger verwendet werden können.

Besonders interessante Befunde wurden u.a. im Bereich der Halbinsel Rheinau entdeckt: Die gesamte unbebaute Fläche ist mit Gruben- und Grabensystemen unterschiedlichster Zeitperioden übersät (Abb. 7). Die Untersuchung eines Grubenkomplexes im Bereich der Flur Franzosenacker im Jahre 1991 erbrachte ein reiches Inventar der späten Latènezeit²¹. Bei Feldbegehungen im Bereich von Gruben nördlich und östlich des Heidenhofes (Abb. 9) fand sich v.a. mittelalterliche Keramik. Diese Überreste könnten mit dem »Kugelhof« in Zusammenhang stehen, einer Siedlung, welche in einem Urbar des Klosters Rheinau um 1400 erwähnt wird (Abb. 8)²².

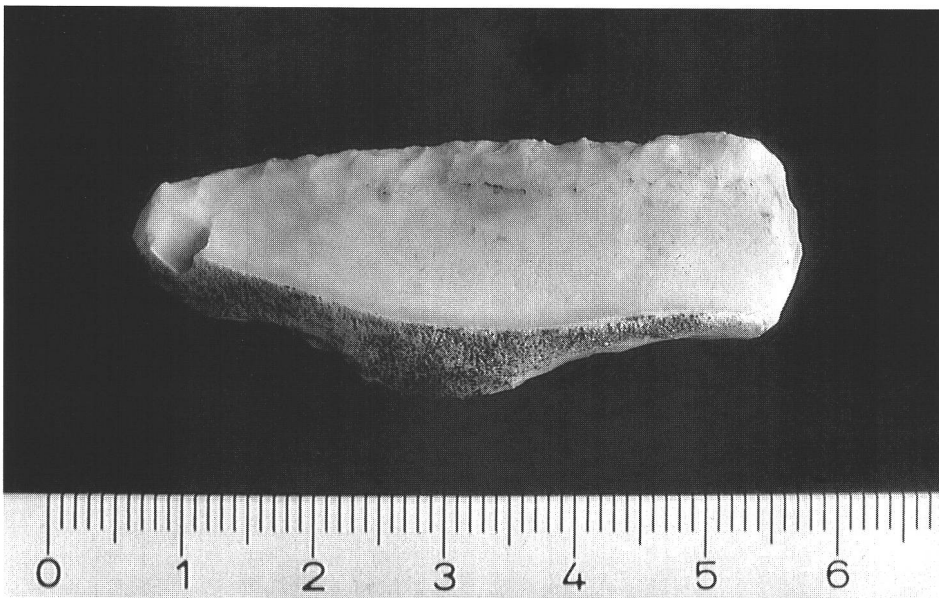


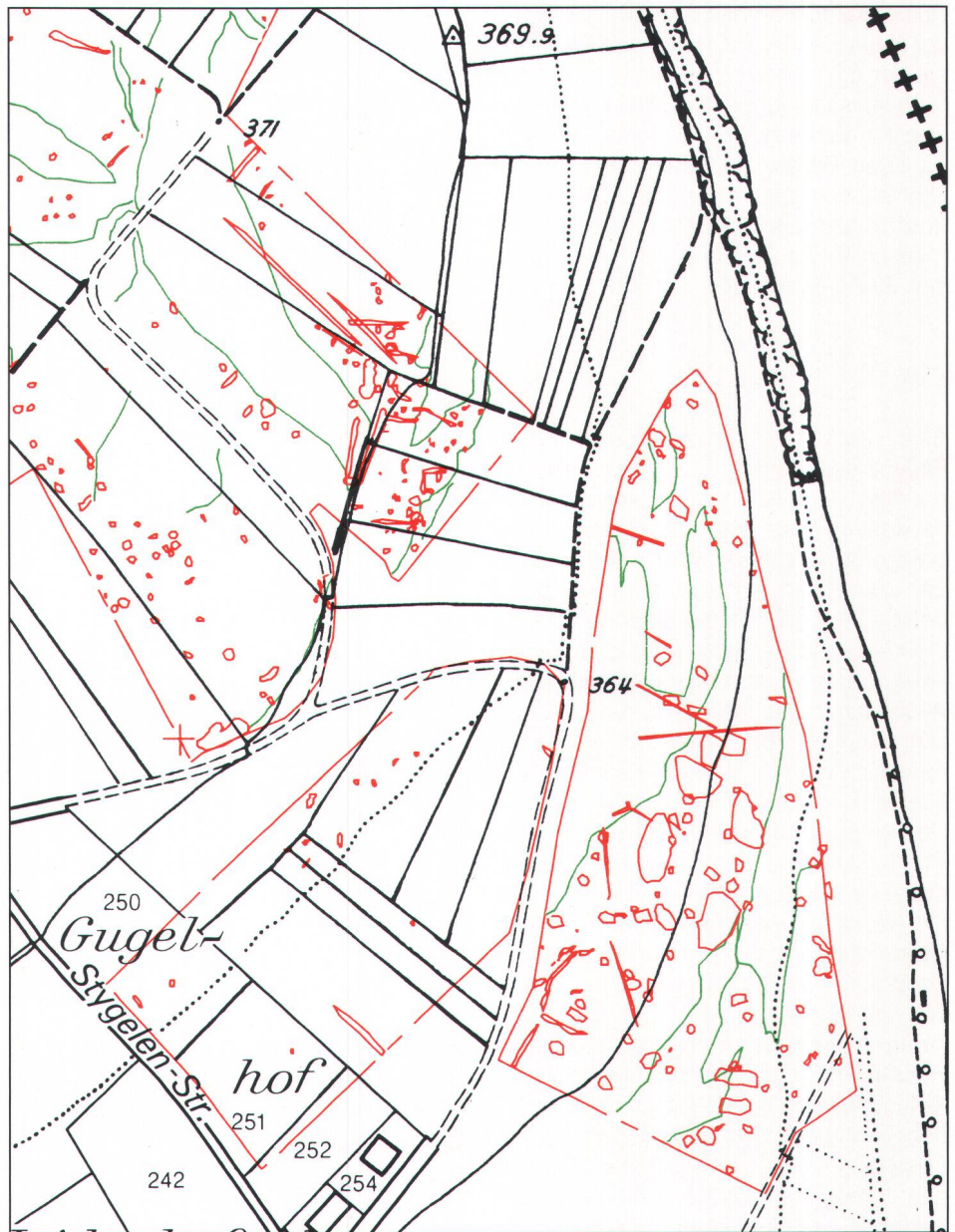
Abb. 6
 Silexmesser, gefunden anlässlich
 einer Feldbegehung in der
 Gemeinde Dachsen ZH.
 Lame de silex découverte lors
 d'une prospection au sol sur le
 terrain de la commune de
 Dachsen ZH.
 Coltello in selce, trovato durante
 un sopralluogo sul terreno nel
 Comune di Dachsen ZH.

Abb. 7
Mittels Rectify-Computerprogramm entzerrte archäologische Befunde im Bereich der Halbinsel Rheinau (grün: geologische Strukturen; rot: archäologische Strukturen).
Les observations archéologiques dans la région de la presqu'île de Rheinau. Leur distorsion est corrigée par un programme informatique du type »Rectify«.
Strutture archeologiche distorte per mezzo del programma computerizzato »Rectify« nella zona della penisola di Rheinau.

Abb. 8
Urbar der Klosters Rheinau um 1400 mit der Erwähnung der Siedlung Kugelhof.
Acte de fondation du cloître de Rheinau vers 1400 avec la mention de l'agglomération de Kugelhof.
Elenco dei beni del monastero di Rheinau verso il 1400 con la menzione dell'insediamento »Kugelhof«.

Geophysikalische Prospektionsmethoden

Die meisten geophysikalischen Methoden könnten zur Prospektion in der Archäologie eingesetzt werden. In der Praxis scheidet aber eine grosse Anzahl aus. Dies hängt einerseits damit zusammen, dass eine physikalische Eigenschaft des Bodens gemessen wird, die durch archäologische Überreste nicht verändert wird und andererseits gewisse Messungen im Feld so viel Zeit brauchen, dass sie nicht rentabel sind. So bleiben im wesentlichen die Methoden der Elektrik, Magnetik, Elektromagnetik und des Radars übrig. Die geophysikalischen Methoden bieten Vorteile: Im Gegensatz zur Luftbildarchäologie sind sie nur am Rande von Wetterbedingungen abhängig, so dass die Messungen jederzeit durchgeführt werden können. Sie erlauben detaillierte Aussagen über den Untergrund: Einerseits geben ausschliesslich sie - ohne einen Eingriff in den Boden - Auskunft über die Tiefen der archäologischen Strukturen und Funde, andererseits lassen sich mit ihnen flächendeckende Pläne über grosse Gebiete in kurzer Zeit erstellen. Dazu wird ein möglichst feines, gleichmässiges Raster über das zu erfassende Gebiet gelegt und für jeden Rasterpunkt eine Messung durchgeführt. Aus den Änderungen der gemessenen Bodeneigenschaften von Punkt zu Punkt lassen sich so dann die Strukturen im Untergrund ablesen. Voraussetzung dafür ist, dass die Bodeneigenschaft zwischen der Archäologie und dem umliegenden Erdmaterial einen messbaren Unterschied aufweist.



Der Auftrag von Drestenponen hat ge Rehen am Fuß ge
(Truchseon)
Natur vubli dunnidam pre an yichels halden
Hartma spruchma ist den Kugelhof mider oin
Der waltz huter des siblingers wingersen zu rotloben bi der
gülig affen
Hut en nullpo he vmea apuo ch wo
Für emert
Cmür vo zupfo za vuzach vor den rot den vnderen
aron vñ ge sarsen aufstufen wol zehen nicht aber auf vñ

An der Kantonsarchäologie Zürich werden vor allem Elektrik und Radar eingesetzt, da sie sich am besten für die schweizerischen Verhältnisse eignen. Für die Elektromagnetik und die Magnetik stehen nicht die richtigen Geräte zur Verfügung, und die Umweltbedingungen sind für Messungen des Erdmagnetfeldes sehr schlecht, da die meisten Fundstellen in der Nähe von grossen Störfeldern liegen.

Elektrik

An der Kantonsarchäologie Zürich wird die Elektrik seit Jahren mit Erfolg eingesetzt. Sie misst den Widerstand des Bodens, der im wesentlichen durch den Wasser- und Salzgehalt bestimmt wird. Sande, Tone und zum Beispiel auch Gräben mit ihrem hohen Feuchtigkeitsgehalt haben einen niedrigeren Widerstand als beispielsweise Felsen oder Mauern. Der Unterschied im Widerstand zwischen letzteren und der Umgebung ist ausserordentlich hoch, so dass sich die Elektrik zum Auffinden von Mauern besonders eignet.

Der Widerstand des Untergrundes lässt sich bestimmen, indem man einen Strom durch den Boden schickt und gleichzeitig die erzeugte Spannung misst. Die dafür nötige Verbindung zwischen dem Messgerät und dem Boden erfolgt über Eisenstäbe, den sogenannten Elektroden. Die heute verwendeten Geräte benützen Wechselstrom, da sich damit Schwierigkeiten, die sich mit Gleichstrom ergeben, beheben lassen.

Abbildung 10 zeigt, wie die ersten Messungen durchgeführt wurden. Die Elektroden stehen in einer Linie und über die beiden äusseren wird ein Strom geschickt. Dieser fliesst rechtwinklig zu den eingezeichneten Linien durch den Boden. Ändert man den Abstand zwischen den Elektroden, so bleibt der Verlauf der Linien gleich. Das bedeutet nun, dass man auf diese Weise die gemessene Tiefe bestimmen kann. Die Eindringtiefe gibt an, bis in welche Tiefe sich archäologische Strukturen noch nachweisen lassen und entspricht etwa dem Abstand der Elektroden. Das Umstecken der Elektroden nimmt allerdings sehr viel Zeit in Anspruch. Für eine Hektare brauchen zwei Leute rund eine Woche. Deshalb versuchte man, den Messvorgang zu beschleunigen. Dazu war aber eine Änderung der Elektrodenkonfiguration nötig, also der Art und Weise in welcher Reihenfolge und in welchem Abstand die Elektroden in den Boden gesteckt werden. Während man in England mit dem sogenannten Twin-Array auf etwa eine Hek-

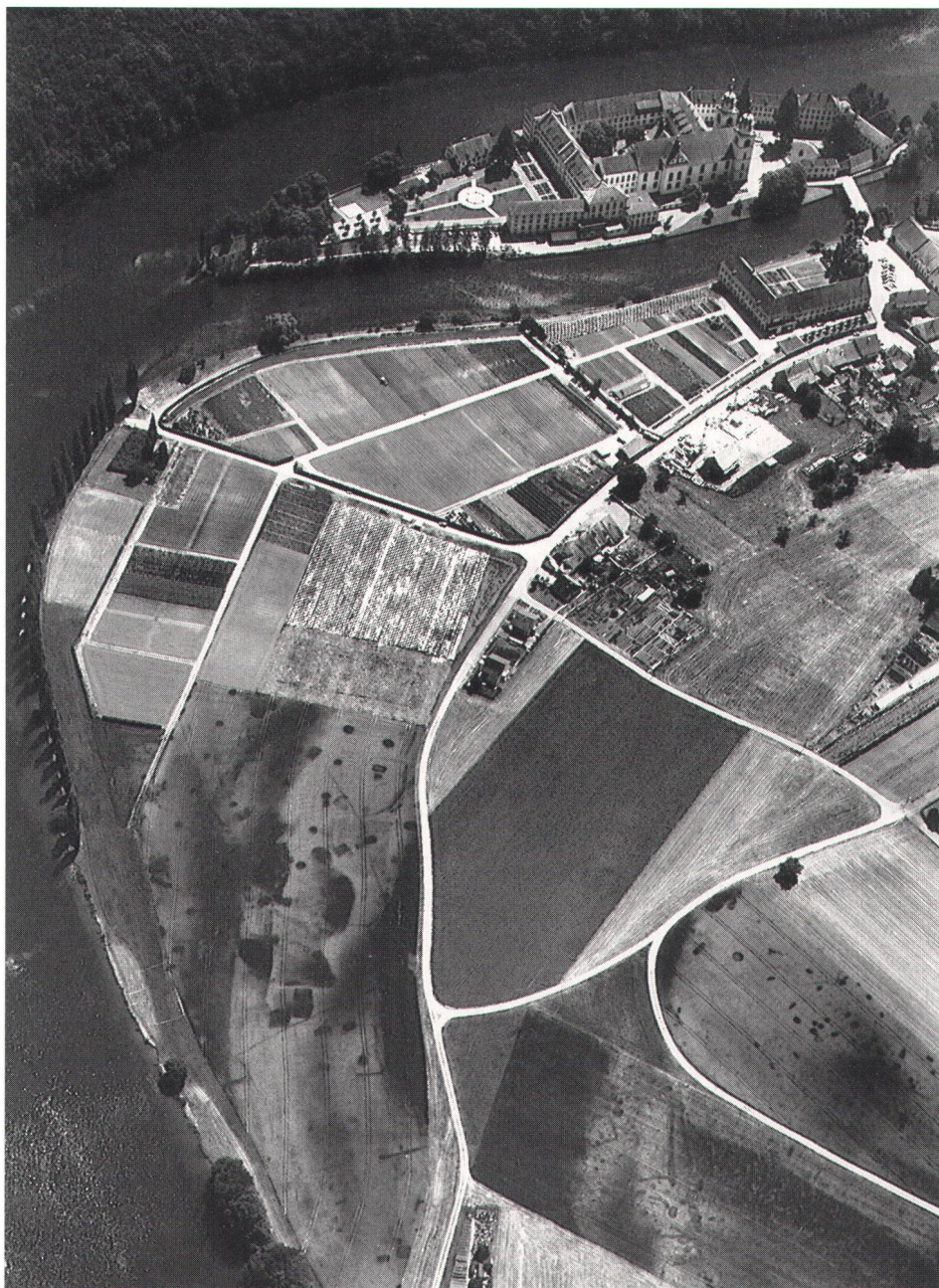
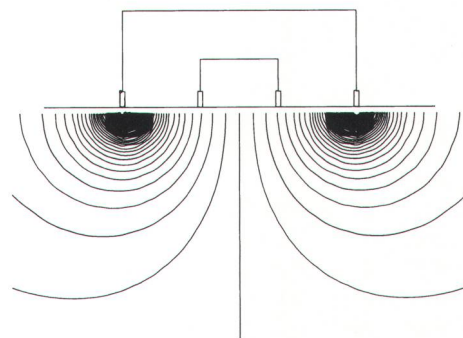


Abb. 9
Rheinau, Halbinsel Au. Eisenzeitliche und mittelalterliche Siedlungsstrukturen in der Umgebung des Heidenhofes.
Rheinau, presqu'île d'Au. Vestiges d'habitats médiévaux et de l'Age du Fer dans le voisinage de Heidenhof.

Rheinau, penisola Au. Strutture insediative dell'età del Ferro e medievali nei dintorni del »Heidenhof«.

Abb. 10
Die Anordnung der Elektroden und die dazugehörigen Linien in einem Untergrund ohne jeden Störkörper.
La disposition des électrodes et des lignes pour un sous-sol dépourvu de tout corps étranger.
Sistemazione degli elettrodi e le rispettive linee in un sottosuolo senza alcun corpo disturbante.



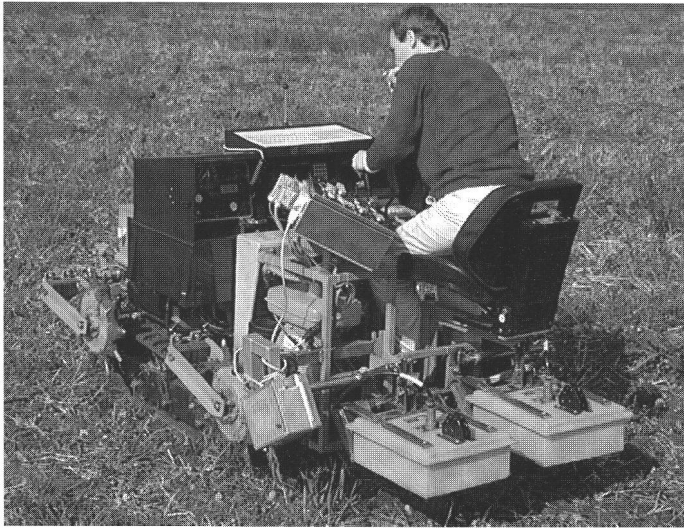


Abb. 11
Das an der Kantons-archäologie Zürich von R. Knecht entwickelte Fahrzeug (Dumper) für die Widerstandsmessungen und den Radar.
Le véhicule (Dumper) développé par R. Knecht pour les mesures de résistivité et le radar effectuées dans le cadre de l'archéologie cantonale zurichoise.
Il veicolo ideato all'Archeologia cantonale di Zurigo da R. Knecht (Dumper) per la misurazione della resistività e il radar.

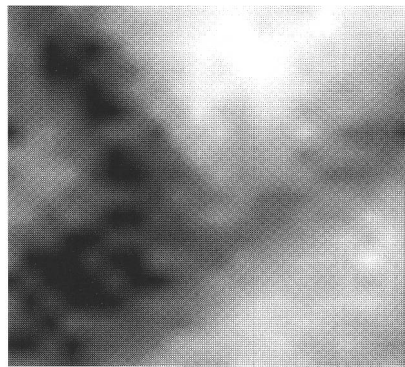
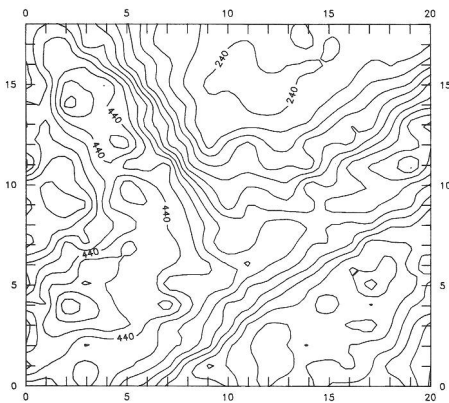


Abb. 12
Eine Darstellung der gleichen Fläche mit Isolinen und Grauwerten zeigt, wieviel zusätzliche Information aus den Graustufen ablesbar ist.
La représentation d'une surface identique par le biais de lignes isométriques et par des tonalités

de gris révèle la supériorité marquée des informations obtenues par l'emploi du second procédé.
L'illustrazione della stessa superficie con linee isoanomale e diversi tonalità di grigi mostra quante informazioni supplementari siano leggibili da queste.

tare im Tag kommt, wurde in Frankreich ein selbstregistrierendes, fahrbares System entwickelt²³. Es kann unter guten Bedingungen bis zu zwei Hektaren im Tag messen, ist also rund zehn Mal schneller als die Messungen von Hand. Dabei werden bis zu 200'000 Messungen registriert. Wir haben diese Anlage übernommen und weiterentwickelt (Abb. 11). Heute steht ein eigenes kleines Fahrzeug mit fest eingebauter Elektronik zur Verfügung. Die Steuerung und Registrierung der Messungen erfolgt automatisch, ebenso das Anheben und Absenken der Elektroden. Der Operateur kann sich daher ganz auf die Messungen und das Steuern des Fahrzeugs konzentrieren.

Für die Untersuchung einer Fundstelle mit Hilfe der Elektrik gibt es zwei verschiedene

Möglichkeiten, einerseits Messungen in einem Raster, um die Ausdehnung der Strukturen in der Horizontalen und andererseits Sondierungen entlang einer Linie, um die Tiefe erfassen zu können. Letztere sind enorm zeitaufwendig, und die Tiefe lässt sich nur mit komplexen Rechnungen angeben. Zum heutigen Zeitpunkt sind die mathematischen Grundlagen noch nicht soweit ausgereift, dass diese routinemässig eingesetzt werden könnten. Die Umsetzung der einzelnen Messwerte zu einer Fläche, zur Erfassung der Ausdehnung der Strukturen, bietet dagegen keine Probleme. Bei der flächenweisen Messung wird auf die zu untersuchende Fläche ein Meter-Raster gelegt und für jedes Quadrat ein Wert registriert. Mit dem Fahrzeug werden dann parallele Linien abgefahren.

Nachdem früher die Messungen mit mehr oder weniger befriedigenden Isolinen und Punktdichteschriften dargestellt wurden, werden die Messungen heute vom Computer in Grauwertbilder umgesetzt (Abb. 12)²⁴. Dadurch sind auch feinste Details noch zu erkennen. In den Bildern entsprechen helle Grautöne hohen Messwerten und könnten demnach auf eine Mauer hindeuten. Man muss sich allerdings zuerst etwas an die Darstellung gewöhnen, damit die Strukturen erkannt werden können. Das Hauptproblem bildet dabei die geringe Schärfe, die durch die Messungen selbst bedingt ist. Die meisten geophysikalischen Methoden lassen die Strukturen grösser erscheinen, als sie es wirklich sind, was besonders bei der Elektrik der Fall ist. Mit Hilfe der Computerprogramme lassen sich die Schärfe und die Lesbarkeit verbessern, was jedoch viel Erfahrung erfordert. Die gesamte Aufbereitung, auch von grossen Messflächen, von den rohen Daten bis zum interpretierten Bild, ist mit speziellen Programmen in weniger als einem halben Tag durchführbar.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass sich die Elektrik für die Lokalisierung von Mauern eignet (Abb. 13), aber auch Gruben oder Gräben mit einem Durchmesser grösser als 0,50 m erfasst werden können (Abb. 14). Meistens ist die Elektrodenkonfiguration so ausgelegt, dass die Eindringtiefe rund einen Meter beträgt. Die räumliche Auflösung beträgt nur 0,50 m, dafür ist aber die Interpretation der Messungen sehr einfach.

Radar

Im Verlaufe der Arbeiten mit der Elektrik hat sich aber immer wieder gezeigt, dass es Fälle gibt, in denen man mit dieser Methode keine Aussicht auf Erfolg hat, und dass die Auflösung nicht ausreicht. Zudem wäre eine Information über die Tiefe der Strukturen manchmal sehr hilfreich. Aus der Menge der geophysikalischen Methoden bot sich der Radar an. Es handelt sich dabei um eine der neuesten Methoden. Sie bietet zum heutigen Zeitpunkt vermutlich am meisten Informationen über eine Fundstelle, einerseits in der Fläche und auch über die Tiefe der Strukturen. Die Geräte arbeiten mit Radarwellen, die von Antennen senkrecht in den Boden geschickt, an den verschiedenen Schichtgrenzen im Boden reflektiert und an der Oberfläche wieder registriert werden. Durch Ziehen der Antenne über den Boden, kann ein Profil gemessen werden. Wie tief dieses Profil in den Boden hineinreicht, kann mit

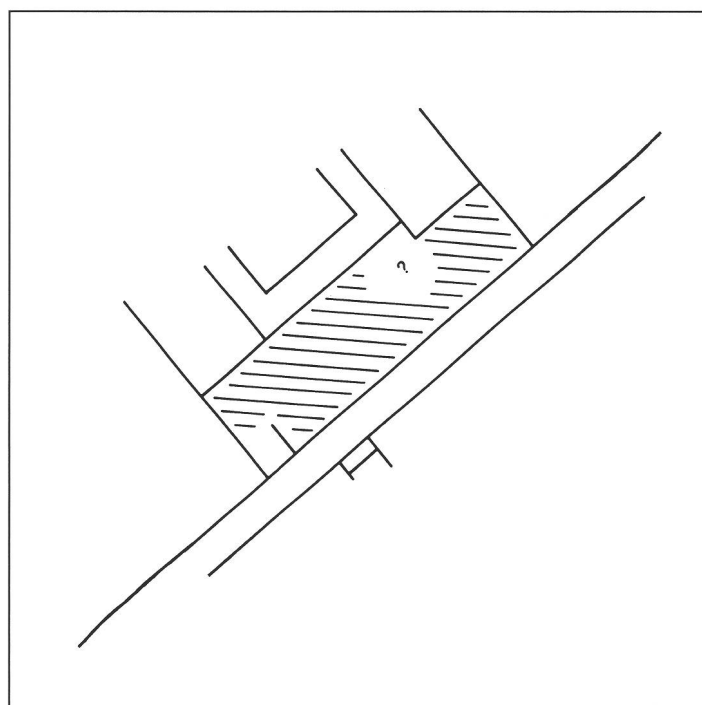
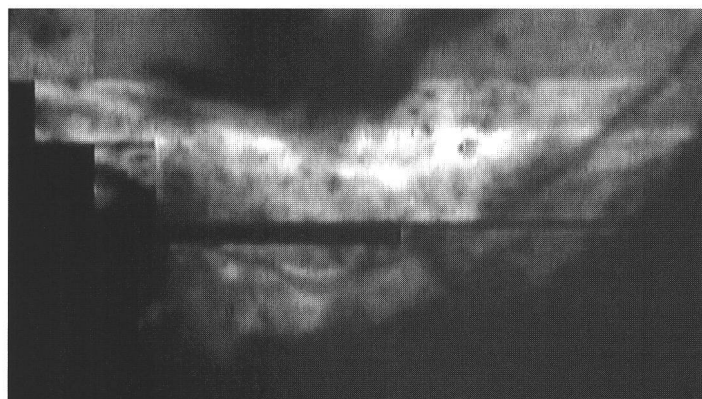


Abb. 13 (oben)
Neftenbach ZH. Resultate der ersten Messungen, die vollständig von Hand durchgeführt wurden. Interpretation: Es handelt sich um die Villa des römischen Gutshofes, dessen Inneneinteilung sich gut ablesen lässt. Neftenbach ZH. Le résultat et l'interprétation des premières mesures entièrement effectuées à la main sur le site de la villa romaine. Neftenbach ZH. Risultati e interpretazione delle prime misurazioni che vennero effettuate completamente a mano. Si tratta della villa della fattoria romana.

Abb. 14 (rechts)
Unterstammheim ZH. Widerstandsmessungen mit dem Dumper. Die gesamte untersuchte Fläche beträgt 220 x 95 m. Bei den dunklen Punkten handelt es sich um die Gruben mittelalterlicher Häuser. Sie werden auf der unteren Seite durch einen leicht geschwungenen Graben abgegrenzt. Unterstammheim ZH. Mesures de résistivité réalisées avec le Dumper. Unterstammheim ZH. Misurazione delle resistività con il Dumper.



Hilfe der Frequenz der Radarwellen und der Registrierung bestimmt werden. Theoretisch können Tiefen von 0,50 m bis mehrere hundert Meter abgedeckt werden. Eine wesentliche Einschränkung kann sich aus dem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens ergeben. Sind nämlich sehr nasse Schichten vorhanden, so können die Radarwellen nicht hindurchdringen und werden absorbiert.

Die Geschwindigkeit der Messungen ist mit der Elektrik zu vergleichen. Daher wurde die Apparatur ebenfalls auf das Fahrzeug montiert. Heute können mit Radarmessungen Flächen von bis zu zwei Hektaren pro Tag abgedeckt werden. Da die Radarmessungen eine sehr viel höhere Auflösung als die Elektrik haben, werden die einzelnen Messlinien in einem Ab-

stand von 0,50 m gelegt. Die Menge an Daten ist aber nicht zu vergleichen mit der Elektrik. Eine Hektare ergibt etwa 500 Millionen Messwerte und braucht einen Speicherplatz von rund 500 MB. Daraus wird klar, dass die Auswertung und Interpretation der Daten sehr viel mehr Zeit in Anspruch nimmt als bei Widerstandsmessungen (Elektrik). Heute stehen Programme zur Verfügung, mit denen die zeitaufwendigen Arbeiten über Nacht erledigt werden können. Dabei werden die Profile in horizontale Flächen umgewandelt, was für eine zuverlässige Interpretation absolut notwendig ist. Für jede wählbare Tiefe im Boden kann ein Plan der Strukturen erzeugt werden. Die Interpretation bei solchen Datenmengen ist sehr komplex. Die Darstellung der Messwerte erfolgt ent-

weder über Messkurven, mit Graustufen oder mit kodierten Farben. Je nach der Stärke der zurückkommenden Signale werden andere Farben eingesetzt. Die Umsetzungen in die Flächen geschieht dagegen nur in Graustufen oder Farbe. Die Radardaten werden, wie in der Elektrik, im Feld am Bildschirm angezeigt (Abb. 15). Während eine einzige Widerstandsmesslinie wenig aussagt, lässt sich aus einem Radarprofil, das im Gegensatz zur Elektrik ein zweidimensionales Abbild des Bodens darstellt, schon sehr viel ablesen. Daher können beschränkte Aussagen über die Strukturen und auch deren Tiefe bereits an Ort und Stelle gemacht werden. Die kleinst mögliche Fläche, die noch eine klare Interpretation zulässt, kann, gegenüber rund 30x30 m bei der Elektrik, auf wenige Qua-

dratmeter reduziert werden. Die sehr variable Eindringtiefe erlaubt ein entsprechend grosses Einsatzgebiet. Es reicht in der Archäologie von Untersuchungen in den Häusern bis zu grossflächigen, noch gut erhaltenen Anlagen, wie zum Beispiel Augusta Raurica. Die Messungen sind zudem unempfindlich gegen Störungen. Daher kann auch in Kellern, auf Strassen oder sogar auf dicken Betonschichten gearbeitet werden (Abb. 16). Erste Tests haben gezeigt, dass sich mit Hilfe des Radars sogar die Kulturschichten, einzelne Hölzer und Pfahlschuhe von Seeufersiedlungen feststellen lassen (Abb. 17). Dabei genügt es, die Antennen in einem Boot an der Wasseroberfläche mitzuführen. Gleichzeitig kann auch die Wassertiefe bestimmt werden. Die hohe Auflösung erlaubt, Objekte in der Grösse weniger Zentimeter oder gar einzelne Schichtgrenzen zu erkennen²⁵.

Abb. 15
Die Radaranlage besteht im wesentlichen aus einem feldtauglichen Computer mit einer speziellen Karte und eingetragener Software.
Un ordinateur capable d'opérer sur le terrain à l'aide d'un programme et d'une carte spécialement conçus sont les éléments centraux de l'installation radar.
L'impianto radar è costituito essenzialmente da un computer da campo con una carta speciale e software integrato.

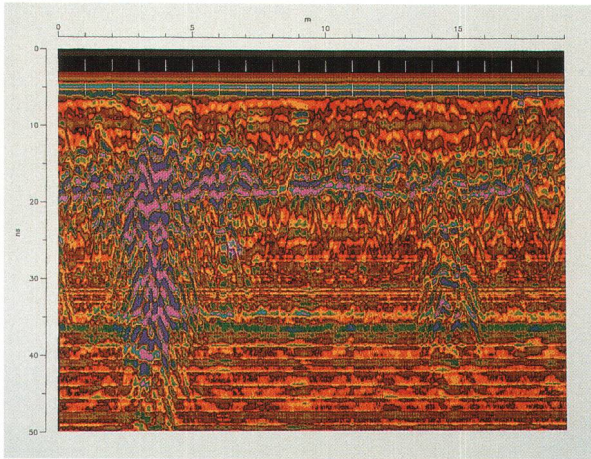


Abb. 16
Predigerkirche ZH. Die Messungen im Chor der Predigerkirche wurden auf einer rund 0,70 m dicken Betonschicht durchgeführt, deren Unterkante auf dem Profil zu erkennen ist. Darunter konnten die Reste von drei Mauern (violett/rosa) festgestellt werden, die ausserhalb des Gebäudes bereits in Grabungen erfasst worden sind. In der Achse sind in der Flächen-darstellung weitere Fundamente zu erkennen (violett/rosa), die vermutlich von einem Altar stammen.

Predigerkirche ZH. Les mesures entreprises dans le chœur ont permis de reconnaître les maçonneries enfouies sous une dalle de béton épaisse de 0,7 m dont la limite inférieure apparaît sur le profil.
Predigerkirche ZH. Le misurazioni nel coro vennero effettuate su uno strato di cemento con uno spessore di ca. 0,7 m. Di quest'ultimo è ben riconoscibile il limite inferiore nella sezione.

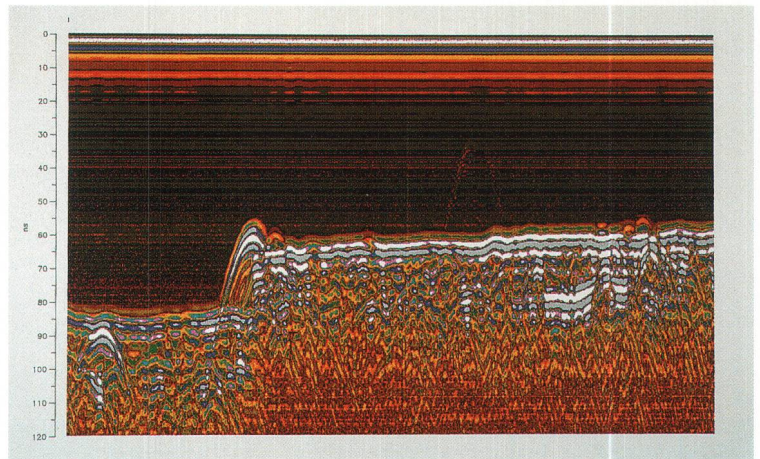


Abb. 17
Greifensee ZH. Erste Versuche während den laufenden Grabungen zeigten, dass sowohl die Wassertiefe wie Kulturschichten und Hölzer erfassbar sind. Die dunkle linke Hälfte des Profils zeigt eine bereits ausgegrabene Fläche. Durch die Hyperbel eines Eisenrohres (Grabungsgrenze) getrennt, befinden sich auf der rechten Seite noch intakte Schichten (weiss/grau). In der Seekreide, dem unteren Bereich des Profils, sind starke Reflexionen zu sehen (grau/weiss), die von einem Pfahlschuh und dem dazugehörigen Pfosten stammen.

Greifensee ZH. Les premiers essais entrepris pendant les campagnes de fouilles ont démontré la possibilité de reconnaître tant la profondeur des eaux que les couches d'occupation et les bois. La moitié gauche du profil illustre une surface déjà fouillée; à droite on voit un pieu avec sa semelle.
Greifensee ZH. Primi tentativi durante il corso degli scavi hanno mostrato che sia la profondità dell'acqua che gli strati antropici e i legni sono stati rilevati. La metà sinistra della sezione mostra una zona già scavata.

- ¹ L. Deuel, *Flights into Yesterday. The Story of Aerial Archaeology* (London 1969); G. Alvisi, *La Fotografia aerea nell'indagine archeologica. La Nuova Italia Scientifica* 11 (Rom 1989).
- ² O.G.S. Crawford, *Air Survey and Archaeology. Ordnance Professional Papers, New Series 7* (Southampton 1924); O.G.S. Crawford, *Air Photography for Archaeologists. Ordnance Survey Professional Papers, New Series 12* (London 1929); O.G.S. Crawford und A. Keiller, *Wessex from the Air* (Oxford 1928).
- ³ R. Agache, *La Somme Pré-Romaine et Romaine. Mémoires de la Société des Antiquaires de Picardie XXIV* (Amiens 1978); J. Albertz, *Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern* (Darmstadt 1991); R. Christlein und O. Braasch, *Archäologie in Bayern* (Stuttgart 1982); J. Leckebusch und P. Nagy, *Prospektionsmethoden in der Archäologie* (Zürich 1991); D.N. Riley, *Air Photography and Archaeology* (London 1987); I. Scollar, *Archäologie aus der Luft. Schriften des Rheinischen Landesmuseums Bonn* (Düsseldorf 1965); I. Scollar, *Archaeological Prospecting and Remote Sensing. Topics in Remote Sensing 2* (Cambridge 1990); D.R. Wilson, *Air Photo Interpretation for Archaeologists* (London 1982).
- ⁴ Optimal für die bei der Luftbildprospektion besonders häufig nachweisbaren Bewuchsmerkmale ist ein wasserdurchlässiger grobbis feinkörniger Untergrund, womit ein Grossteil des zürcherischen Gebietes für Luftbildarchäologie als günstig angesehen werden kann. Vgl. hierzu auch Scollar 1990 (Anm. 3) 9-25; Christlein/Braasch (Anm. 3) 35, Abb. 20; Leckebusch/Nagy (Anm. 3) 6-7.
- ⁵ Als besonders geeignet haben sich im Laufe der Zeit Hochdecker mit stabilem Flugverhalten und guten Langsamflugeigenschaften erwiesen. Das Seitenfenster muss unbedingt geöffnet werden können, ein Einziehfahrwerk ist wünschenswert (z.B. Cessna 152 / Cessna 172 / Piper Super Cub).
- ⁶ Die meisten Luftbildarchäologen benutzen für ihre Prospektionsarbeit einfache und vor allem handliche Kleinbildkameras (Leica, Contax, Nikon). Für die Aufnahmen wird meist ein 50mm Normal- und ein 80mm Teleskopobjektiv verwendet. Jede Fundstelle wird sowohl mit einem fein auflösenden Diafilm (Kodachrome Professional 25 ASA), als auch mit einem Schwarzweiss-Film (Kodak Technical Pan) dokumentiert. Im Gegensatz zu den archäologischen Schrägaufnahmen, welche von den Luftbildarchäologen freihändig durch das geöffnete Fenster gemacht werden, stehen für Senkrechtaufnahmen Flugzeuge mit eingebauter Kamera (z.B. WILD AVIOPHOT RC-20 / RC-30 mit Bildwanderungskompensation (FMC)) zur Verfügung (als Film kommt hier z.B. der Agfa Avichrome 200 ASA zur Anwendung).
- ⁷ Die Flugplanung umfasst neben der Reservation des Flugzeuges die Auswertung der Flugwetterlage sowie der augenblicklich in den einzelnen Regionen vorherrschenden Bedingungen bezüglich der kumulativen Wasserbilanz, eine daraus folgernde grobe Festlegung der Flugroute, sowie die Bereitstellung von Karten-, Photo- und Filmmaterial. Im Rahmen des Luftbildprospektionsprojektes des Kantons Zürich wird der geplante Flugbereich zusätzlich mit der SWISSCONTROL abgesprochen. Heutzutage kann der Luftbildarchäologe anstatt einer konventionellen Kartierung auch mittels eines GPS (Global Positioning System) den neu dokumentierten Fundpunkt während des Fluges speichern und nachträglich Route und Koordinaten der Fundpunkte bearbeiten.
- ⁸ Scollar 1990 (Anm. 3) 50-77.
- ⁹ SWISSAIR Photo und Vermessungen AG - Archiv, Obstgartenstr. 19, 8006 Zürich; Bun-

desamt für Landestopographie, L + T Flugaufnahmen der Schweiz, Seftigenstr. 264, 3084 Wabern.

- ¹⁰ Ungeschulte Bearbeiter sprechen häufig unwichtige Verfärbungen infolge Unkenntnis als archäologische Überreste an, insbesondere dort, wo Fundstellen erhofft werden oder solche bereits bekannt sind. W. Gebers und H. Schwarz, *Luftbildarchäologie in Niedersachsen - Erfahrungen bei der Auswertung amtlicher Senkrechtaufnahmen. Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen* 3, 1989, 154-156.
- ¹¹ Im Jahre 1981 führte die SWISSAIR im Auftrag des Vermessungs- und Meliorationsamtes Zürich ausnahmsweise zwischen Juni und August Vermessungsflüge durch. Dabei wurde das gesamte Gebiet des Kantons Zürich abgeflogen. Vor allem im nördlichen Kantonsteil konnten anhand dieser Luftbilder im Massstab 1:10000 zahlreiche zusätzliche archäologische Fundstellen als Bewuchsmerkmale entdeckt und dokumentiert werden.
- ¹² Noch schwieriger ist der Nachweis auf Aufnahmen im Massstab 1:25000 - 1:35000, wie sie die Landestopographie anfertigt; hier sind archäologische Strukturen mit einem Durchmesser unter 5 m kaum mehr auszumachen.
- ¹³ Ziel des vorerst auf fünf Jahre beschränkten Pilotprojektes der Kantonsarchäologie Zürich ist eine umfassende Inventarisierung neuer sowie bereits bekannter archäologischer Fundstellen. Im nächsten Jahr werden auch im Auftrag der Kantone Schaffhausen und Zug Luftbildflüge durchgeführt. Über die Fortführung des Projektes wird 1994 entschieden werden. Leckebusch/Nagy (Anm. 3); P. Nagy, *Unterstammheim-Äpelhusen, a Deserted Village in the Northern part of the Canton of Zurich: First Results of our Aerial Photography Project. Aerial Archaeology Research Group News* 2, 1991, 15-23; P. Nagy, *Luftbildarchäologie im Kanton Zürich*, in: *Archäologie im Kanton Zürich 1987-1992. Zürcher Denkmalpflege*, 12. Ber. 1. Teil (in Vorbereitung).
- ¹⁴ Besonderer Dank gilt an dieser Stelle einerseits O. Braasch für seine engagierte Betreuung unserer Luftbildprospektionsequipe, andererseits der Motorfluggruppe Zürich, welche für die Durchführung der Flüge gut ausgebildete Piloten und optimales Flugmaterial zur Verfügung stellt.
- ¹⁵ Das Kantonsgebiet wird mehrheitlich von Ablagerungen der Molasse sowie von quartärzeitlichen Schotter- und Moränenablagerungen überdeckt. Vgl. hierzu R. Hantke, *Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete* (Zürich 1967); *Bodeneignungskarte der Schweiz, Grundlagen für die Raumplanung. Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement - Bundesamt für Raumplanung* (Bern 1980).
- ¹⁶ Bei der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt Zürich kann ein agrarmeteorologisches Wochenbulletin bezogen werden, welches die Daten für die Berechnung der Wasserbilanz enthält. Die Wasserbilanz ist das Mass aus Niederschlag minus Evapotranspiration (Summe von Oberflächen-, Pflanzen- und Bodenverdunstung).
- ¹⁷ Bei einem Grossteil der geologischen Befunde handelt es sich um Fluss- und Bachaltläufe, welche bei der Untersuchung landchaftsgeschichtlicher Entwicklungen unseres Gebietes vom Spätglazial bis heute von grosser Bedeutung sind.
- ¹⁸ M. Aston, *Interpreting the Landscape. Landscape Archaeology in Local Studies* (London 1985); A. Brown, *Fieldwork for Archaeologists and Local Historians* (London 1987); P.J. Fasham, *Approches de la Prospection*

systematique, in: *La Prospection archéologique, Paysage et peuplement. Actes de la table ronde des 14 et 15 mai 1982, Paris*, publiés sous la direction d'A. Ferdière et d'E. Zadora-Rio. *Documents d'Archéologie Française* 3 (Paris 1986).

- ¹⁹ Brown (Anm. 18) 23-43.
- ²⁰ Eine Entzerrung der Luftbilder ist nötig, weil durch den schrägen Aufnahmewinkel die entdeckten Strukturen in ihrer Form und Lage falsch beurteilt werden. Durch die Entzerrung können die archäologischen Befunde im Gelände genauestens lokalisiert werden. Das Computerprogramm »Rectify« wurde von I. Herzog in Bonn entwickelt und uns freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Das Programm wurde in der Folge für ein IBM-kompatibles Computersystem umgeschrieben. Zur Luftbildentzerrung vgl. auch P.P. Vértessalji, *Neue Wege der Luftbildauswertung. Denkmalpflege in Baden-Württemberg* 3, 1993, 185-190.
- ²¹ Die Ausgrabungsergebnisse im Bereich der Flur Franzosenacker werden durch Stephan Schreyer in *Archäologie im Kanton Zürich 1987-1992. Zürcher Denkmalpflege*, 12. Ber. 1. Teil (in Vorbereitung) publiziert.
- ²² Zum Kugelhof vgl. Staatsarchiv Zürich J 281 und K. Wanner, *Siedlungen, Kontinuität und Wüstungen im nördlichen Kanton Zürich (9.-15. Jahrhundert)* (Bern 1984) Kapitel 3.2, Anm. 56.
- ²³ A. Hesse, A. Jolivet, A. Tabbagh, *New Prospects in Shallow Depth Electrical Surveying for Archaeological and Pedological Applications. Geophysics* 51, 1986, 585-594.
- ²⁴ I. Scollar, B. Weidner, K. Segeth, *Display of Archaeological Magnetic Data. Geophysics* 51, 1986, 623-633.
- ²⁵ Weiterführend hierzu: I. Scollar, A. Tabbagh, A. Hesse, I. Herzog, *Archaeological Prospecting and Remote Sensing* (Cambridge 1990); W. Neubauer, *Geophysikalische Prospektion in der Archäologie. Mitteilungen der anthropologischen Gesellschaft in Wien* 120, 1990, 1-60.

Les méthodes de prospection archéologiques: l'exemple du canton de Zurich

Des vestiges encore inconnus, à ciel ouvert ou enfouis, d'activités humaines, peuvent être découverts et documentés grâce à l'aide de prospections archéologiques menées par le biais de la photographie aérienne. Les conditions climatiques et géologiques rencontrées dans le canton de Zurich sont à priori favorables à ce genre de recherche. Les sites identifiés par vue aérienne, souvent indéterminées sur le plan chronologique et fonctionnel, peuvent par la suite être interprétés de manière plus précise grâce à des recherches en archives, des prospections au sol, des carottages, des analyses géophysiques ou des phosphates, ou encore par des sondages. Des programmes informatiques de correction des distorsions permettent enfin une localisation précise des découvertes sur le terrain.

Parmi les nombreuses méthodes géophysiques, l'électrique et le radar sont employés routinièrement. Elles permettent de mesurer les propriétés physiques des terrains et ne sont que marginalement dépendantes des conditions météorologiques. Ces deux techniques de mesure ont été automatisées de manière à permettre l'analyse de surfaces pouvant comprendre jusqu'à deux hectares par jour.

La mesure électrique sert à déterminer la résistivité du terrain. La force de pénétration atteint environ un mètre avec la configuration d'électrodes employée. Les profils obtenus tous les mètres sont ensuite réunis sous forme d'images aux différentes tonalités de gris. L'ensemble de ces images fournit la base d'un plan. Cette technique se prête particulièrement bien pour la découverte de murs et en partie également pour les fossés et les fosses dont le diamètre est supérieur à 0,5 m.

Le radar envoie des ondes électromagnétiques dans le sol, qui sont réfléchies par les interfaces des couches rencontrées. La profondeur des profils obtenus peut être déterminée par l'opérateur de l'installation. Les profils qui en résultent rendent possible la détermination de surfaces enfouies à des profondeurs diverses. La résolution des mesures radar est de l'ordre de quelques centimètres seulement; elles sont très peu sensibles aux perturbations. Leur emploi va de l'analyse de maçonneries à la mensuration de routes en passant par l'archéologie sous-marine.

M.-A. H.

Prospezione archeologica sull'esempio del Cantone di Zurich

Per mezzo della prospezione archeologica con fotografia aerea è possibile scoprire e documentare resti di sconosciute attività antropiche a livello del suolo e sottoterra. Le condizioni climatiche, geologiche e pedologiche del Cantone di Zurigo formano buone premesse per tale ricerca. Grazie a successivi lavori di archivio, sopralluoghi, trivellazioni, analisi del fosfato, analisi geofisiche e sondaggi è possibile interpretare le strutture individuate con la fotografia aerea, le quali spesso non sono databili né la loro funzione determinabile. Programmi computerizzati per la correzione delle distorsioni permettono la precisa localizzazione delle strutture nel terreno.

Dei diversi metodi geofisici esistenti, la geoelettrica ed il georadar sono i due applicati regolarmente. Viene misurata così la proprietà fisica del terreno; le misurazioni sono inoltre pressoché indipendenti dalle condizioni climatiche. Entrambi i metodi sono stati automatizzati il più possibile e sono in grado attualmente di misurare un'area fino a due ettari nell'arco di una giornata.

La geoelettrica permette di misurare la resistenza elettrica del terreno. Col nostro apparecchio viene investigato il sottosuolo fino ad un metro di profondità. Dopo la registrazione in campagna i profili, distanti un metro l'uno dall'altro, vengono combinati per poi produrre un'immagine digitale dell'area studiata. Il prodotto finale sarà una mappa, la geoelettrica è particolarmente adatta per cercare muri, ed in parte anche per fosse e buche di dimensioni maggiori di mezzo metro.

Il georadar consiste in due antenne: una trasmette al sottosuolo onde elettromagnetiche, che vengono riflesse da cambiamenti di strato alla superficie dove vengono poi registrate dalla seconda antenna e memorizzate. Il risultato di queste misurazioni sono dei profili, la cui profondità può venire controllata dall'operatore. Dai profili combinati possono venire create immagini digitali a diverse profondità dell'area misurata. Le misurazioni col georadar permettono una risoluzione di pochi centimetri e sono poco sensibili a disturbi esterni. L'impiego di questo apparecchio va da studi di opere murarie, misurazioni su strade fino all'investigazione archeologica di fondali lacustri.

A.M./L. Jemmi