

**Zeitschrift:** Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte  
= Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie =  
Annuario della Società Svizzera di Preistoria e d'Archeologia

**Herausgeber:** Schweizerische Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte

**Band:** 76 (1993)

**Artikel:** Gefrierkern-Bohrungen und geophysikalische Prospektionsmethoden :  
Erfahrungen der Zuger Kantonsarchäologie

**Autor:** Frey, Peter / Hochuli, Stefan / Huber, Bruno

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-117372>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.04.2025

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

Peter Frey, Stefan Hochuli und Bruno Huber\*

## Gefrierkern-Bohrungen und geophysikalische Prospektionsmethoden

### Erfahrungen der Zuger Kantonsarchäologie

#### Zusammenfassung

*Im Jahre 1991 erfolgten im Bereich der Zuger Vorstadt bauliche Eingriffe in den Untergrund, und im folgenden Jahr wurde mit der Realisierung der Neugestaltung des Seeufers nordwestlich der Altstadt begonnen. Beide Massnahmen betreffen ein archäologisch sensibles Gebiet. Damit die dort bekannten vier neolithischen Fundplätze genauer lokalisiert und allenfalls auch noch unbekannte Dorfstellen entdeckt werden können, hat die Kantonsarchäologie Zug begonnen, geophysikalische Prospektionsmethoden zu prüfen: Geoelektrik und Georadar. Bei unseren Versuchen mit den beiden Messmethoden ging es primär darum, die Einsatzmöglichkeiten der Methoden im Feld zu testen. Unser Hauptziel war es, zwei Fragen zu beantworten: Sind prähistorische Kulturschichten vorhanden? Wie gestaltet sich ihr räumlicher Verlauf? Zudem sollte die Erkundung des Untergrundes soweit betrieben werden, dass moderne Störungen (wie Leitungen, Mauerfundamente usw.) von den genannten Schichten unterschieden und ebenfalls räumlich festgehalten werden konnten. Die gemachten Erfahrungen lassen sich insgesamt als positiv bezeichnen.*

*Sowohl im besprochenen Untersuchungsgebiet als auch auf der Bahnstrecke Cham-Rotkreuz von «Bahn 2000» haben wir während mehrerer Male insgesamt 250 Gefrierkern-Bohrungen durchgeführt, auch hier mit dem Ziel, prähistorische Siedlungsreste aufzuspüren. Die bereits andernorts eingesetzte Gefrierkern-Bohrung haben wir dahingehend weiterentwickelt, dass die Handhabung einfacher wurde und grössere Eindringtiefen erreicht werden. Die Verwendung eines Kompressors zum Einrammen des Bohrgestänges und die Kühlung des Rohres mit Flüssigstickstoff sind als wichtigste Neuerungen zu bezeichnen. Die Methode scheint uns heute derart ausgereift, dass entsprechende Untersuchungen sehr effizient, zielgerichtet und umweltschonend eingesetzt werden können.*

*Für die Zukunft haben wir die Weiterführung ähnlicher Untersuchungen geplant.*

#### Résumé

*En 1991, des travaux de construction en profondeur ont eu lieu aux abords de la ville de Zoug, et l'année suivante, la restructuration du rivage du lac a été commencée au nord-ouest de la vieille ville. Ces deux ouvrages concernent un territoire sensible du point de vue archéologique. Dans le but de localiser exactement les quatre sites archéologiques connus et d'autres sites éventuels, l'Archéologie Cantonale du canton de Zoug a entrepris des essais de prospection géophysique, géoélectrique et par géoradar. Nos essais avec ces deux méthodes visaient à évaluer leurs possibilités sur le terrain. Notre but principal était de détecter la présence de couches d'habitat et de déterminer leur extension. De plus, l'étude devait être suffisamment détaillée pour détecter les perturbations modernes (conduites, fondations de murs, etc.) et indiquer leur parcours. Dans l'ensemble, les résultats peuvent être qualifiés de satisfaisants. Sur le même terrain et sur le parcours de la voie de chemin de fer Cham-Rotkreuz (Rail 2000), nous avons effectué 250 forages à basse température, également dans le but de détecter des vestiges préhistoriques. Cette méthode, déjà utilisée ailleurs, a été améliorée dans le but de la rendre plus pratique et d'atteindre de plus grandes profondeurs. L'utilisation d'un compresseur pour enfoncer les tubes de forage et le refroidissement des tubes avec de l'azote liquide sont les modifications principales que nous avons apportées à cette méthode. Nous considérons cette technique comme suffisamment rodée pour permettre des études très efficaces, précises et peu polluantes. Nous projetons d'autres études analogues à l'avenir.*

\* Publiziert mit Unterstützung des Kantons Zug.

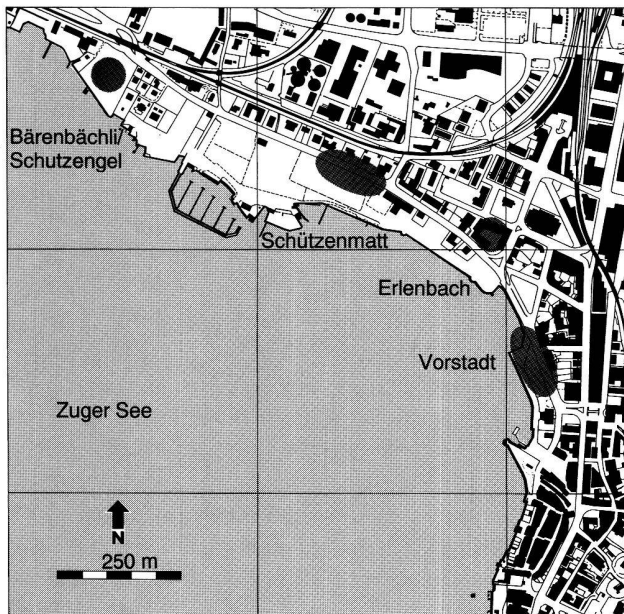


Abb. 1. Zug, Seeuferbereich nordwestlich der Altstadt. Lokalisierung der bisher bekannten jungsteinzeitlichen Fundplätze «Bärenbächli/Schutzengel», «Schützenmatt», «Erlenbach» und «Vorstadt».

## 1. Prospektionsmethoden im Dienste der Archäologie

Im Rahmen von geplanten Bauvorhaben sieht sich der Archäologe immer wieder vor die Situation gestellt, eine archäologische Bestandesaufnahme über ein bestimmtes Gebiet vorlegen zu müssen. Nebst der Aufarbeitung der Archivbestände, mit der die bereits bekannten Fundpunkte erfasst werden, sollten dabei aber auch die archäologisch «weissen Gebiete» auf der Landkarte erkundet werden. Wegen Zeitdruck, aber auch personellen und finanziellen Sachzwängen ist es in der Regel jedoch nicht vertretbar, ein zur Überbauung vorgesehenes Gebiet in seiner Gesamtheit mittels Ausgrabungen zu untersuchen. Damit trotzdem eine flächendeckende Beurteilung eines Baugebietes vorgenommen werden kann, bedient man sich archäologischer Prospektionsmethoden. Sie haben zum Ziel, die Ausdehnung bekannter Fundplätze einzugrenzen und zu neuen Entdeckungen zu führen, ohne dass dabei teure und zeitaufwendige Ausgrabungen vorgenommen werden müssen.

Verschiedene Bauvorhaben in der Stadt Zug, die in archäologisch sensiblen Gebieten am Zugerseeufer liegen, und der im Rahmen von «Bahn 2000» geplante Ausbau der Bahnstrecke von Cham nach Rotkreuz haben die Kantonsarchäologie Zug veranlasst, archäologische Prospektionsmethoden anzuwenden. Dabei hat die «tradi-

tionelle» Methode der Begehung von Äckern innerhalb kurzer Zeit zu einigen neuen Fundpunkten geführt. Ungünstige klimatische Bedingungen sind dafür verantwortlich, dass auf die ersten guten Resultate der Luftbildarchäologie, die im Kanton Zug erst seit Anfang 1991 betrieben wird, noch einige Zeit zu warten sein dürfte. Zur systematischen Erfassung der Projektgebiete haben wir auch zahlreiche Gefrierkern-Bohrungen vorgenommen. Mit den in regelmässigen Abständen in den Boden getriebenen Bohrungen liessen sich an mehreren Stellen organische Schichtreste feststellen, die in einigen Fällen von Seeufersiedlungen stammen.

Hinsichtlich der Überwachung grosser Gebiete haben wir auch begonnen, die Anwendbarkeit weiterer geophysikalischer Prospektionsmethoden in der Archäologie zu prüfen<sup>1</sup>. Es handelt sich hierbei in einer ersten Phase um die Geoelektrik und um den Georadar. Die beiden Methoden haben zum Ziel, mit Hilfe physikalischer Messmethoden und modernster Elektronik archäologische Strukturen im Boden aufzuspüren, die sich als Materialunterschiede im Untergrund messen lassen. Im Gegensatz zu den herkömmlichen archäologischen Prospektionsmethoden erfordern diese für die Archäologie teilweise neuen Techniken den Einsatz teurer Gerätschaften und den Beizug von Spezialisten. In Zusammenarbeit mit dem geophysikalischen Büro Peter Frey aus Zug, das diese Methoden in anderen Gebieten der Bodenuntersuchungen (z.B. Altlasten, Baugrund, Grundwasser) anwendet, konnte die Kantonsarchäologie Zug im Verlaufe der Jahre 1991/92 die erwähnten Methoden testen und zahlreiche Erfahrungen sammeln.

## 2. Fragestellung im Untersuchungsgebiet

Die bisherige archäologische Forschung hat eine dichte Abfolge von prähistorischen Siedlungen am Zugerseeufer erbracht. So kennen wir aus den nördlich an die Zuger Altstadt angrenzenden Gebieten «Vorstadt», «Erlenbach», «Schützenmatt» und «Bärenbächli/Schutzengel» sicher vier neolithische Siedlungsplätze (Abb. 1)<sup>2</sup>.

### 2.1. Vorstadt

Aus der Vorstadt sind erste «Pfahlbau»-Funde bereits seit 1862 bekannt. Weitere Funde konnten dann anlässlich der Vorstadtkatastrophe beobachtet werden. Im Jahre 1887 rutschte als direkte Wirkung von unsachgemäss vorgenommenen Uferaufschüttungen ein breiter Uferstreifen mit zahlreichen Häusern in den See (Abb. 2). An der Abbruchkante der Rutschung konnten zwei durch ein

Seekreideband getrennte prähistorische Kulturschichten beobachtet werden<sup>3</sup>. Die noch übriggebliebenen Häuser auf der Seeseite der Vorstadtstrasse wurden wegen des instabil gewordenen Ufers bis zum Regierungsgebäude abgerissen. Die Fundamente und Kellergeschosse dieser Bauten liegen noch heute unter der dort befindlichen «Rössli-Wiese».

Im Verlaufe des Sommers 1991 konnten auf der seegewandten Seite der Vorstadtstrasse erneut Siedlungsablagerungen im Profil eines Leitungsgrabens beobachtet werden (Abb. 3.5)<sup>4</sup>. Das daraus stammende archäologische Fundmaterial lieferte wiederum den Nachweis jungsteinzeitlicher Siedlungsüberreste. Eine kleine Flächengrabung zeigte, dass die Kulturschichten hangwärts auskeilten. Die Annahme lag nun nahe, dass sich die Kulturschichten auf die seeseits der Vorstadtstrasse liegende «Rössli-Wiese» ausdehnen könnten. Diese Parkanlage war wie erwähnt bis 1887 mit einer Häuserzeile bebaut, die aber in der Folge der genannten Vorstadtkatastrophe aus Sicherheitsüberlegungen geschleift wurde.

Obwohl im Sommer 1991 eine akute Gefährdung der Siedlungsreste durch Bauvorhaben nicht gegeben war, stellte sich für uns die Frage, auf welche Weise man die Ausdehnung der Kulturschicht unter dieser Wiese ohne teure Grabungen feststellen könnte. Erfolgversprechend schien schliesslich eine Kombination aus zwei geophysikalischen Methoden, deren Ergebnisse mit Gefrierkern-Bohrungen verifiziert werden sollten. Als Haupt-Untersuchungsmittel wurde ein ausserordentlich hochentwickelter Puls-Radar mit einer Frequenz von 200 MHz eingesetzt, der ein sehr hohes Auflösungsvermögen in oberflächennahen Schichten hat. Diese Messungen wurden ergänzt durch eine neuartige Geoelektrik-Messanordnung, die Aufschlüsse über kleinräumige Inhomogenitäten im Untergrund geben sollte. Nach Abschluss der Messungen wurden im Oktober 1991 für Fundationsarbeiten eines Baukranes ohne Wissen der Kantonsarchäologie vier Gruben in die in unserem Messgebiet vermuteten Kulturschichten eingetieft und diese in der Folge zerstört. Einzig in einem Fundamentgraben konnten sie zuvor mit einer Rettungsgrabung untersucht werden<sup>5</sup>. Im Profil zeigten sich zwei Kulturschichten, die in Form von Keramik, Steinbeilen, Silexklingen, Knochen und Hirschgeweihen ein reiches Fundmaterial geliefert haben (vgl. Abb. 12). Anhand von kalibrierten C14-Daten lassen sich die beiden Schichten in den Zeitraum von 3400 v. Chr. bis 3100 v. Chr. datieren. Die noch nicht abgeschlossene dendrochronologische Untersuchung hat für Eichenpfähle aus der Grabungsfläche eine vorläufige Waldkanten-Datierung von 3541 v. Chr. und eine weitere, durch die Ergänzung von Splintholzjahren vermutete Schlagphase um 3030 v. Chr. ergeben. Inwieweit diese beiden Schlagdaten mit den beiden angetroffenen Schichten zu korrelieren sind, lässt sich im Moment noch nicht beantworten.



Abb. 2. Zug, Die Zuger Vorstadt unmittelbar nach der Katastrophe vom 5. Juli 1887. In der Bildmitte die Überreste der später abgerissenen seeseitigen Häuserzeile der Vorstadtstrasse – Standort der heutigen «Rössli-Wiese», wo unsere Untersuchungen durchgeführt wurden (Blick gegen Süden).

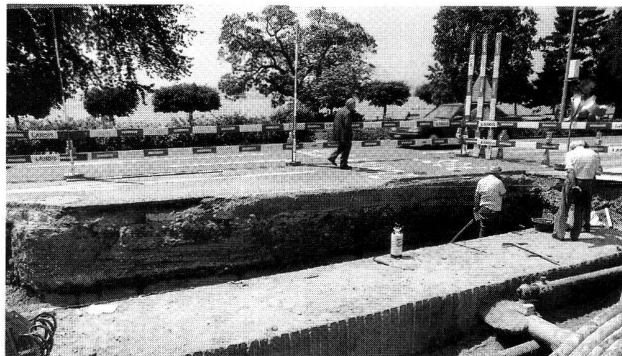


Abb. 3. Zug-Vorstadt. Der ausgehobene Leitungsgraben zeigt östlich der Vorstadtstrasse im Profil eine jungsteinzeitliche, schwarze Kulturschicht. Jenseits der Strasse befindet sich die «Rössli-Wiese» – das Areal der im Anschluss an die Vorstadtkatastrophe von 1887 abgerissenen seeseitigen Häuserzeile und Standort unserer geophysikalischen Untersuchungen (Blick gegen Westen).

## 2.2. Schützenmatt, Bärenbächli/Schutzengel

Rund 400 m nordwestlich der Vorstadt sieht das Projekt «Seeufergestaltung der Stadt Zug» eine teilweise umfassende Neugestaltung des Seeufers auf einer Länge von ca. 700 m vor. Dieses Bauprojekt tangiert das Gebiet der beiden neolithischen Siedlungsplätze «Bärenbächli»/«Schutzengel» und «Schützenmatt» (Abb. 1). Da mit den ersten Bauarbeiten bereits im Verlaufe des Jahres 1992 begonnen werden sollte und damit die Bauherrschaft ihre Planung möglichst gut auch auf die Bedürfnisse der Archäologie abstimmen konnte, hat die Kantonsarchäologie Zug ein archäologisches Bohrsondierungsprojekt erarbeitet und mit Hilfe von Gefrierkern-Bohrungen umgesetzt. Mit den Sondierungen wollten wir die genaue Lage, die Ausdehnung und die Zusammensetzung allfällig vorhandener archäologischer Fundschichten feststellen.

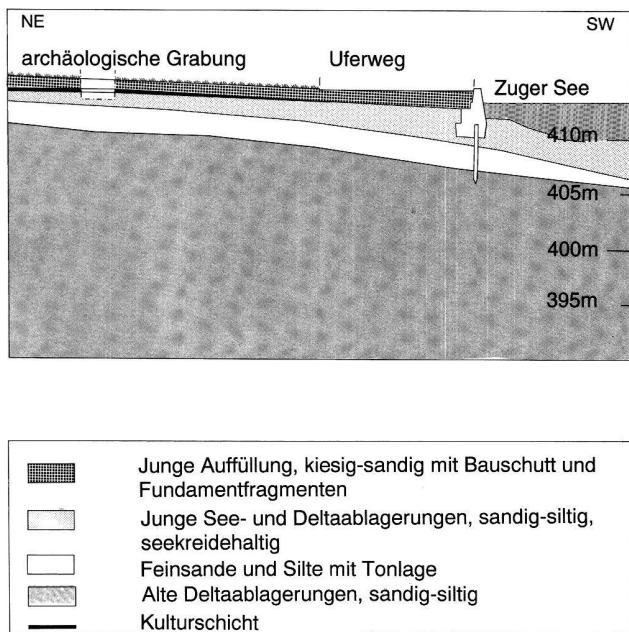


Abb. 4. Zug-Vorstadt. Schematischer geologischer Schnitt durch das Untersuchungsgebiet (Blick gegen Süden).

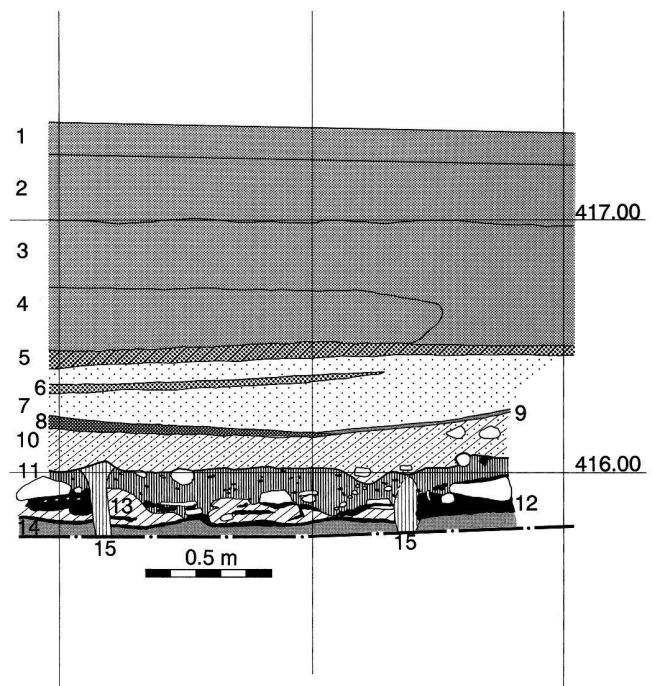


Abb. 5. Zug-Vorstadt, «Rössli-Wiese». Grabung 1991, Schnitt IV. Ausschnitt aus dem West-Profil: 1-4 neuzeitliche Auffüllschichten; 5-10 Kies-, Sand- und Siltschichten; 11-13 Kulturschicht (11 organisch; 12 Holzkohle; 13 Lehmlinse); 14 Feinsand mit Seekreide; 15 Pfostenloch.

### 3. Geologische Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die geologischen Verhältnisse im Vorstadtgebiet in Zug sind als Folge der dramatischen Ereignisse des Jahres 1887 gut bekannt (Abb. 4). Der Untergrund zeigt dort ältere siltige und sandige Deltaablagerungen. Darüber liegen junge See- und Deltaablagerungen, die im unteren Teil aus lehmigen Feinsanden bestehen. Gegen oben gehen sie in seekreideartige Sedimente über, die sich mit feinsandigen Schichten abwechseln und stellenweise organische Komponenten enthalten. Über dieser seekreidehaltigen Schicht liegt eine geringmächtige Strate aus Sand und Kieselsteinen, welche dem früheren Strand entspricht. Im Bereich des Übergangs von der Seekreide zu den Strandsedimenten und unmittelbar darüber wurden bisher die Kulturschichten erschlossen (Abb. 5). Die in unserer Ausgrabung angetroffenen prähistorischen Holzpfosten stecken alle in der weichen Schicht aus Seekreide und Seebodenlehm. Über den Kulturschichten liegt heute Aufschüttungsmaterial mit den Gebäuderesten der ehemaligen seeseitigen Häuserzeile der Vorstadtstrasse. Dieser Schichtaufbau entspricht nicht nur den aus bau-

technischen Gründen in diesem Gebiet ausgeführten Bohrungen, sondern wurde auch sehr genau von unseren geoelektrischen Messungen wiedergegeben, welche wiederum durch den Aufschluss im erwähnten Fundamentgraben in ihrer Genauigkeit bestätigt wurde (siehe dazu Abb. 12).

Westlich der Vorstadt bleibt der Untergrund im Wesentlichen gleich, nur fehlen die Gebäude- resp. Fundamentreste. Im nordwestlich anschliessenden Gebiet sind von der Schützenmatte an westwärts immer wieder Auffüllungen (vor allem Ziegelscherben der ehemaligen Ziegelei Brandenburg) anzutreffen. Die nördlich an den Bootshafen angrenzenden Plätze zeigen Auffüllungen mit organischem Material und Metallresten. Bachablagung mit hohem Kies- und Sandanteil im Gebiet des Siehbaches und Schwemmlagerungen der Lorze weiter westlich sind bezüglich der obengenannten Seeablagerungen ein- und aufgelagert. Kulturschichten wurden wiederum im Bereich der Delta- resp. Strandbildungen angetroffen.

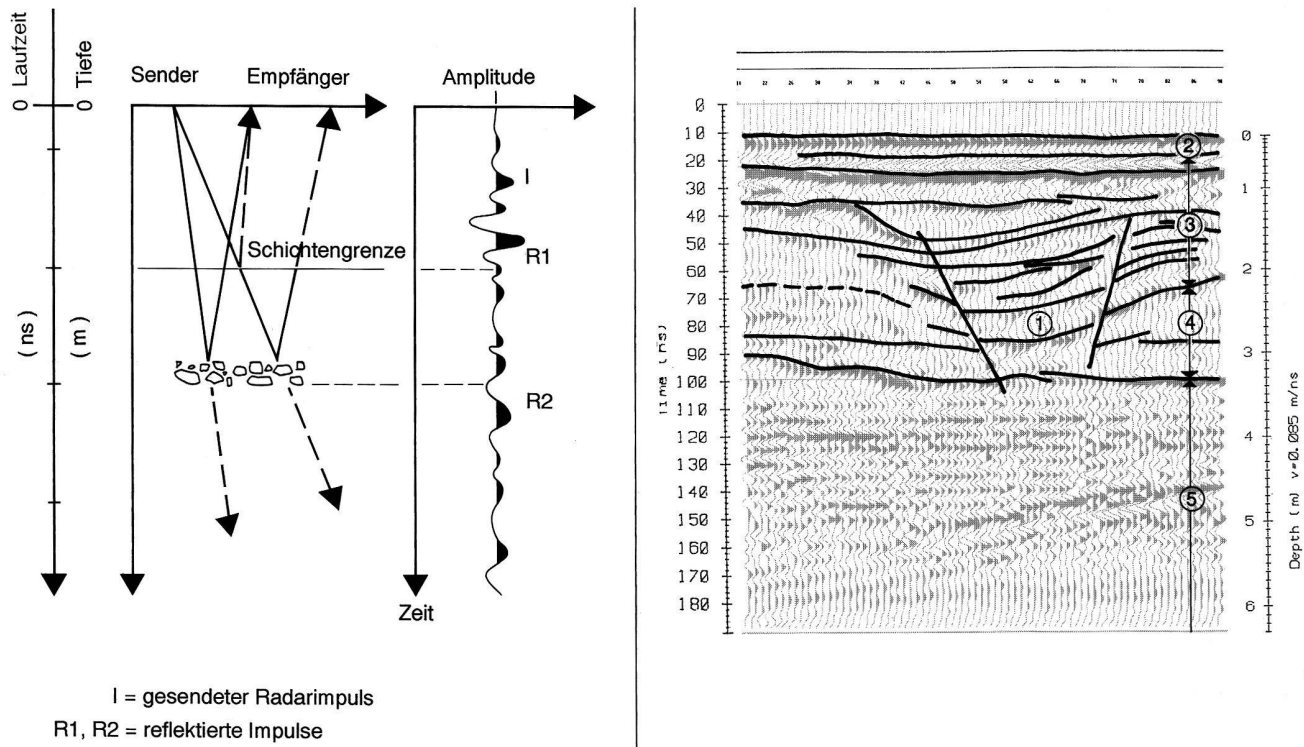


Abb. 6. Messprinzip des Bodenradars (linke Abbildungshälfte): I = gesendeter Radarimpuls; R = reflektierter Impuls; Ergebnis einer Radarmessung und Interpretation eines Radargramms (rechte Abbildungshälfte): 1 mit Bauschutt aufgefüllte Grube; 2 Humusschicht; 3 heterogene Auffüllung mit Mauerresten; 4 siltig-tonige Seekreide mit Kulturschichten; 5 nicht interpretierbarer Tiefenbereich.

## 4. Bodenradar

### 4.1 Generelle Beschreibung des Bodenradars

Das Elektromagnetische Reflexionsverfahren (EMR) wird in Form des Bodenradars zur Erkundung des Erdbodens in geringer Tiefe angewendet. Dabei wird die Reflexion von hochfrequenten elektromagnetischen Wellen mit Frequenzen von 10 bis 500 MHz an Materialgrenzen genutzt, an denen sich die elektrischen Eigenschaften ändern (Abb. 6). Bei den Messungen werden Sender und Empfänger über den zu untersuchenden Untergrund bewegt, wobei ein kontinuierliches Profil registriert wird. Bodenradarmessungen sind eine schnelle und hochauflösende Untersuchungsmethode für oberflächennahe Objekte oder Schichten bis einige Meter Tiefe. Voraussetzung sind trockener, homogener Untergrund, möglichst mit hohem elektrischem Widerstand, und geringe Objektiefe. Mit dem Bodenradar kann die Ortung von metallischen und nichtmetallischen Einzelobjekten wie Rohrleitungen, Kabeln, Fundamenten, archäologischen Objekten und Hohlräumen erfolgen. Die Methode eignet

sich somit speziell zum Einsatz an archäologischen «Verdachtsflächen» mit geringmächtiger Überdeckung der gesuchten Objekte. Bodenradarmessungen liefern fast immer eine grosse Zahl von anomalen Reflexionen, die auf kleinräumige Struktur- und Texturveränderungen des Bodens hinweisen, jedoch nicht in jedem Falle auf Einlagerungen von (archäologisch relevanten) Objekten oder Schichten zurückgehen. Bei der Auswertung dieser Methode ist deshalb besondere Sorgfalt und Vorsicht geboten und reiche Erfahrung erforderlich.

### 4.2. Durchgeführte Radarmessungen

Am 30.9.1991 wurden auf der «Rössli-Wiese» in der Zuger Vorstadt sechs Profile mit einem Puls-Bodenradar vermessen (vgl. Abb. 17), was bei einem Abstand von 1 m zwischen Sender- und Empfängerantenne, eine Eindringtiefe von ca. 3–5 m erlaubte. Von Messpunkt zu Messpunkt wurde die Anlage jeweils um 10 cm auf der Profillinie verschoben. So wurden ein sehr dichter Messpunkte-

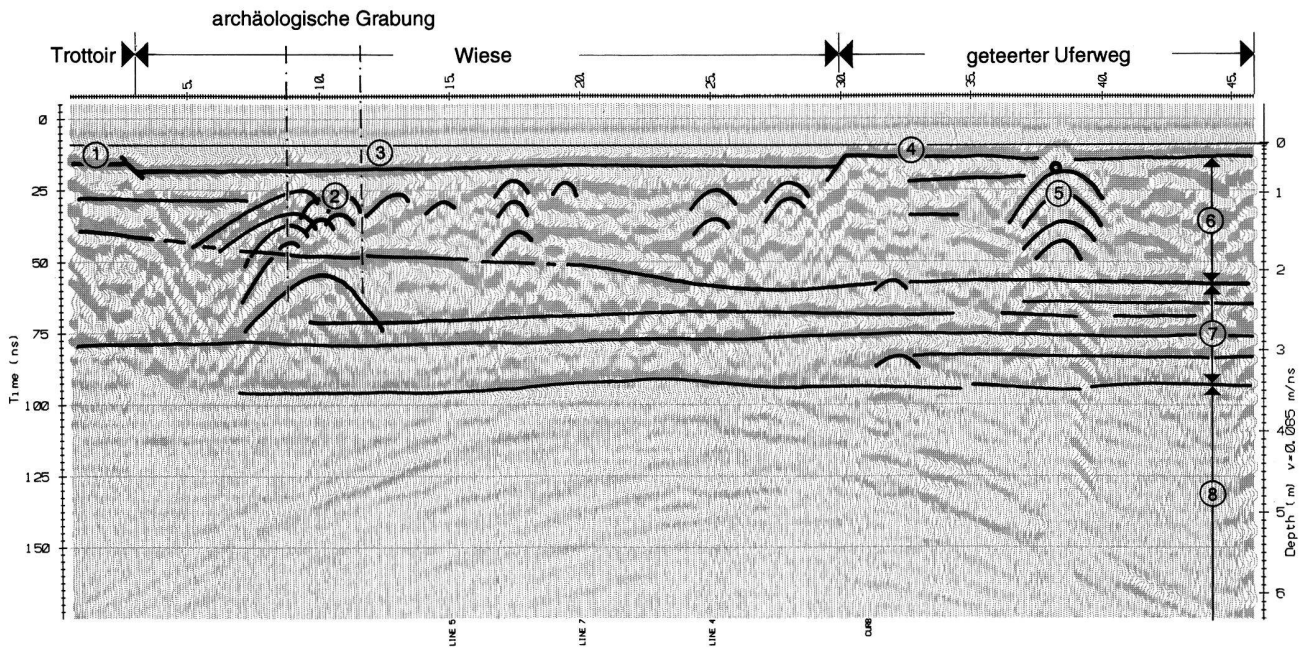


Abb. 7. Zug-Vorstadt. Bodenradar-Untersuchung. Ausschnitt aus dem Radargramm der Messlinie 2 (vgl. Abb. 16): 1 Trottoirbankett; 2 Diffraction von Fundamentresten; 3 Humusschicht; 4 Bankett des geteerten Uferweges; 5 Diffraction einer Wasserleitung; 6 heterogene Auffüllung mit Mauerresten; 7 siltig-tonige Seekreide mit Kulturschicht; 8 nicht interpretierbarer Tiefenbereich.

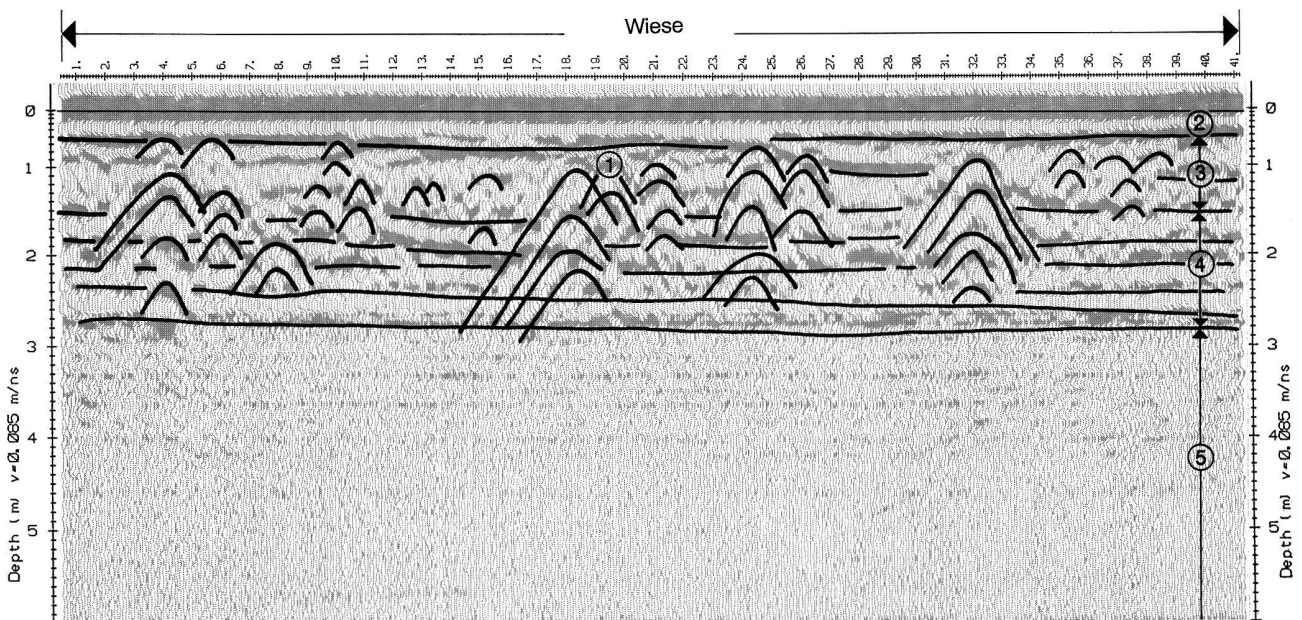


Abb. 8. Zug-Vorstadt. Bodenradar-Untersuchung. Ausschnitt aus dem Radargramm der Messlinie 5 (vgl. Abb. 16): 1 Diffraction von Fundamentresten; 2 Humusschicht; 3 Heterogene Auffüllung mit Mauerresten; 4 siltig-tonige Seekreide mit Kulturschicht; 5 nicht interpretierbarer Tiefenbereich.

raster und eine entsprechend hohe Auflösung erzielt. Da die Aufzeichnung der Radarechos nicht einfach das massstäbliche Abbild der Bodenschichten wiedergibt, sondern primär den Geschwindigkeitsverlauf der elektromagnetischen Wellen und deren Diskontinuitäten im Untergrund spiegelt, müssen durch eine spezielle Messanordnung die unterschiedlichen Wellengeschwindigkeiten in den Schichten bestimmt werden. Es handelt sich dabei um eine sog. CMP/WARR-Messung (Common MidPoint/Wide Angle Reflection and Refraction). Diese Messung wurde auf dem Profil 5, nahe dem Kreuzungspunkt mit dem Profil 3 angelegt (vgl. Abb. 17).

Die eine Gesamtstrecke von 260 m umfassenden Radarmessungen konnten innerhalb eines halben Tages abgeschlossen werden.

#### 4.3. Ergebnisse der Radarmessungen

Die Radarprofile 1–3 laufen quer zur Vorstadtstrasse in WSW-Richtung zum See. Sie und die im rechten Winkel dazu verlaufenden Messlinien 4, 5 und 7 bestätigen wechselseitig das gewonnene Bild (Abb. 7 und 8): Bis in ca. 4 m Tiefe zeigt sich das sanfte Abfallen der Sedimentschichten zum See hin deutlich. Auf diesen weitgehend ungestörten Schichten liegen bis in Tiefen von ca. 1–3 m alte Fundamentreste der geschleiften Vorstadt-Häuserzeile. Diese Mauerreste ergeben ein sehr hektisches Radarbild, das von einer Vielzahl sich überschneidender Diffraktionen gekennzeichnet ist. Gegen den See zu wird das Radarbild deutlich ruhiger. Dies lässt sich damit erklären, dass in diesem Bereich früher eher Gärten und evtl. hölzerne Bootshütten angelegt waren. Ca. 7,5 m vom Seeufer entfernt erscheint dann in den Profilen 1 und 2 sehr deutlich die Diffraktion einer Wasserleitung, die bei Profil 3 schon deutlich weiter landeinwärts auftritt.

Die Schichten mit einer Tiefe von mehr als 3–4 m werden in den Radarprofilen nicht mehr erfasst. Die Radarechos, die nach einer Laufzeit von länger als ca. 75–100 ns aufgezeichnet werden, müssen als multiple Reflexionen und zum Teil auch als Störungen aus der Luft interpretiert werden. Diese Begrenzung der Eindringtiefe der elektromagnetischen Wellen rührt einerseits von der gewählten Frequenz von 200 MHz her und ist auch bedingt durch die hohe Leitfähigkeit und damit den geringen Widerstand der hier vorliegenden stark durchfeuchteten feinkörnigen Seesedimente.

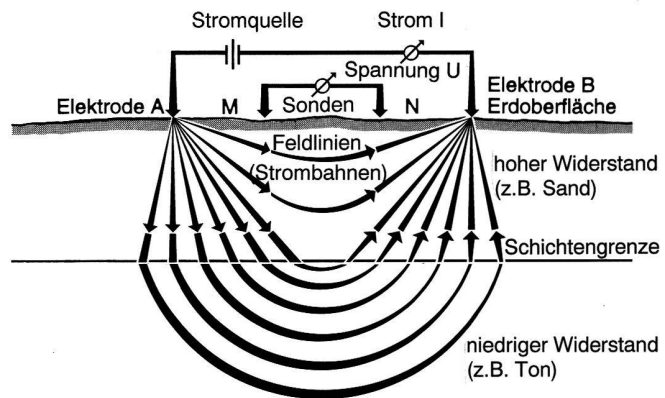


Abb. 9. Prinzipskizze der Geoelektrik.

## 5. Gleichstrom-Geoelektrik

### 5.1. Generelle Beschreibung der Gleichstrom-Geoelektrik

Die Gleichstromverfahren der Geoelektrik machen sich die unterschiedlichen spezifischen elektrischen Widerstände der Minerale, Gesteine und der Inhaltsstoffe von Schichten (z.B. archäologischen Kulturschichten) zu Nutze. Die massgebende Materialeigenschaft ist der spezifische elektrische Widerstand, der in Ohm-Meter angegeben wird. Grundlage der Messungen ist das Ohmsche Gesetz. Dieses beschreibt den Zusammenhang zwischen Stromstärke und Spannung, wenn durch einen räumlich begrenzten Leiter ein Gleichstrom fließt.

In verschiedenen Messanordnungen wird dem Untergrund über zwei geerdete Metallelektroden «A» und «B» ein Gleichstrom «I» (gemessen in Ampère) zugeführt, wodurch sich ein Potentialfeld ausbildet (Abb. 9). Dieses wird von der Verteilung des spezifischen Widerstandes im Untergrund bestimmt. Mit wachsendem Elektrodenabstand wird das Feld von tiefer liegenden Strukturen beeinflusst. Aus der Messung des Potentialunterschiedes «U» (= elektrische Spannung, gemessen in Volt) zwischen zwei geerdeten Sonden «M» und «N» können Angaben über die Verteilung der spezifischen Widerstände und zugehörigen Strukturen im Untergrund abgeleitet werden.

Die Geoelektrischen Gleichstromverfahren werden für zwei Zielrichtungen eingesetzt:

1. Geoelektrische Kartierung entlang von Linien: Ermittlung der horizontalen Widerstandsverteilung in bestimmten Tiefenniveaus. Die gemessenen Unterschiede geben Aufschluss über das Vorhandensein von Mauern, Gruben, Gräben usw. sowie über die randliche Begrenzung von Schichten. Dies ist jedoch nur



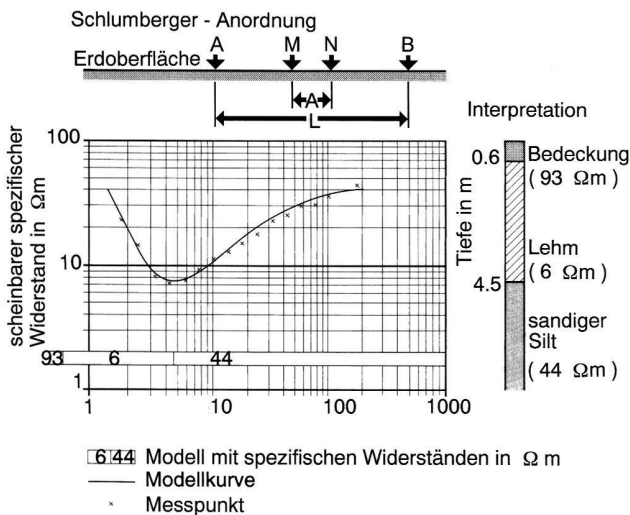


Abb. 10. Geoelektrik. Beispiel für eine Sondierkurve und Interpretation mit computerberechneter Modellkurve nach einer Tiefensondierung in Schlumberger-Anordnung.

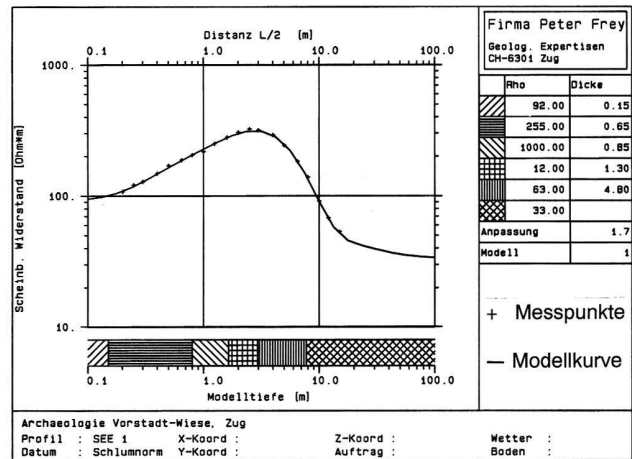


Abb. 11. Zug-Vorstadt. Geoelektrik, Schlumberger-Tiefensondierung: Messkurve.

möglich, wenn sich der Widerstand der zu beobachtenden Schicht von den Widerständen des Nebengesteins deutlich unterscheidet. Da das Verfahren durch metallische Leitungen und Installationen im Untergrund beeinträchtigt wird, können besonders in besiedelten Gebieten erhebliche Messschwierigkeiten auftreten.

2. Geoelektrische Tiefensondierung in Vierpunkt-Anordnung (z.B. sog. Schlumberger-Anordnung): Ermittlung des Widerstandes und der Mächtigkeit horizontaler Schichten in vertikaler Richtung (Abb. 10).

### 5.2. Durchgeführte geoelektrische Messungen

Am Schnittpunkt der beiden Georadar-Messlinien Nrn. 1 und 5 wurde eine Geoelektrik-Messung positioniert (vgl. Abb. 17). Diese sollte Aufschluss darüber geben, ob im vorliegenden Untersuchungsgebiet eine geoelektrische Messkonfiguration die vermuteten Kulturschichten oder eine damit direkt vergesellschaftete geologische Einheit verlässlich erkennen lässt. Es war zu erwarten, dass die geoelektrischen Messungen nach der Schlumberger-Methode wohl die potentiell Kulturschicht-führende Schicht mit genügendem Auflösungsvermögen zu erkennen und deren laterale Ausdehnung zu verfolgen vermag. Es ist aber unwahrscheinlich, dass die geoelektrischen Methoden direkt zwischen fundführenden und sterilen Schichten der gleichen lithologischen Ausbildung unterscheiden können. Mit speziellen Elektrodenanordnungen, die eigens zu diesem Zweck entwickelt wurden, sollte es aber möglich sein, eine sehr hohe laterale Auflösung zu erreichen. Dies erlaubt dann zu erkennen, ob eine Schicht in ihrer Lagerung ungestört ist.

In einer solchen Situation kann auch mit einer ungestörten Fundsituation gerechnet werden. Zeigen sich Störungen in der lateralen Ausbreitung einer bestimmten Schicht, liegt der Verdacht von anthropogenen Eingriffen wie z.B. Siedlungsresten nahe.

Im Gegensatz zu der üblicherweise in der Archäologie verwendeten geoelektrischen Kartierung, welche nur für Übersichtsmessungen zur Lokalisierung grösserer Strukturen angewendet werden kann und die nur qualitative Resultate erbringt, handelt es sich bei den hier durchgeführten Messungen um eine hochauflösende quantitative Geoelektrik.

### 5.3. Ergebnisse der geoelektrischen Messungen

Die messtechnisch und auswertungsmässig aufwendige Kombination der geoelektrischen Messverfahren zeigt sehr gute Resultate, die auch eindeutig interpretiert werden konnten. Die normale Schlumberger-Tiefensondierung mit sehr fein abgestuften Elektrodenabständen hat ein detailliertes Abbild der geologischen Schichtenabfolge erbracht (Abb. 11). Der so bestimmte Schichtaufbau wurde in dem kurz darauf ausgehobenen Fundations-schacht, der nur ca. 2 m neben dem Sondierpunkt liegt, vollauf bestätigt (Abb. 12). Mit Hilfe derartiger Tiefensondierungen, die in einem geeigneten Raster auf dem Untersuchungsgebiet verteilt werden, kann der Verlauf selbst dünner Schichten flächenmässig verfolgt werden. Damit lassen sich auch die Ergebnisse der Georadar-Messungen kontrollieren und besser auswerten.

Die Frage nach Störungen im Schichtverlauf kann mittels spezieller Elektrodenanordnungen gezielt beantwortet werden. Wie die Abbildung 13 im Vergleich mit der

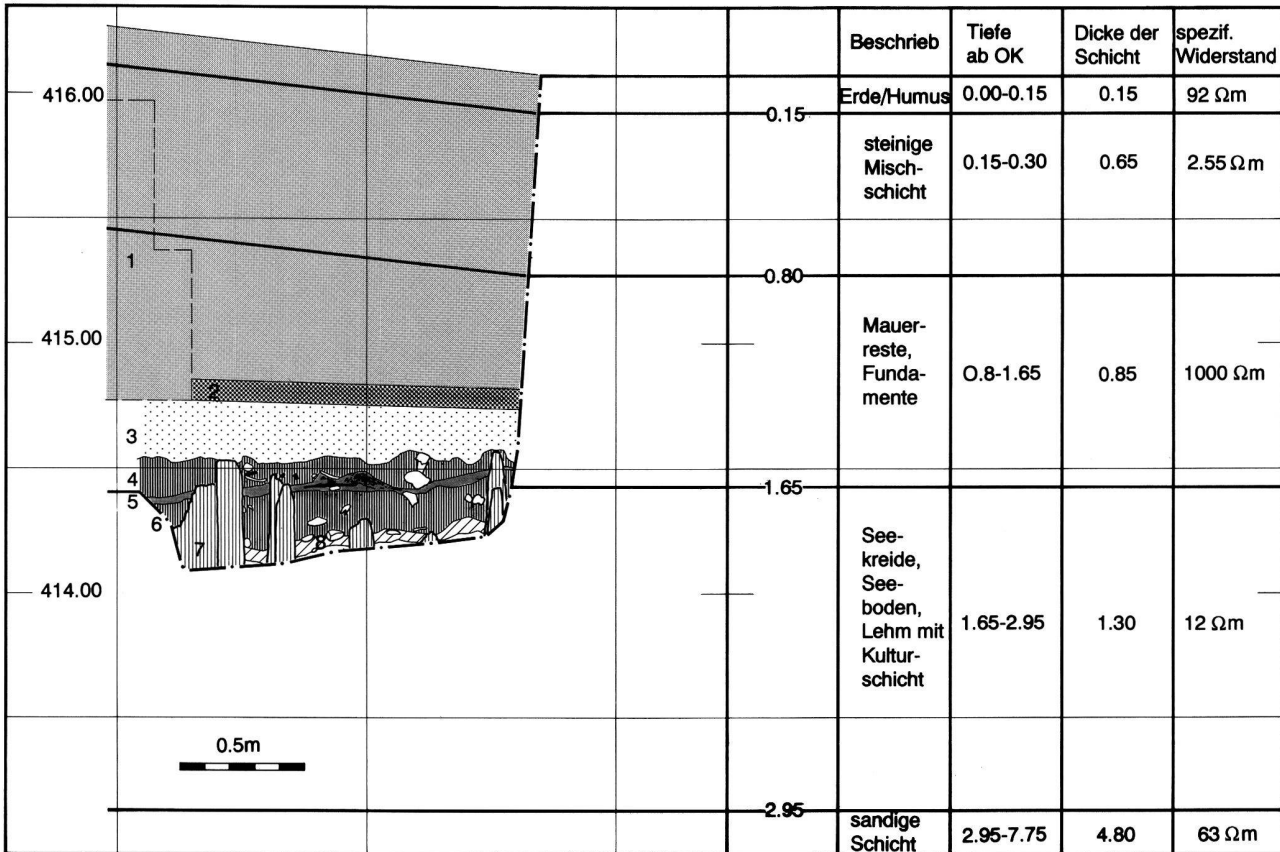
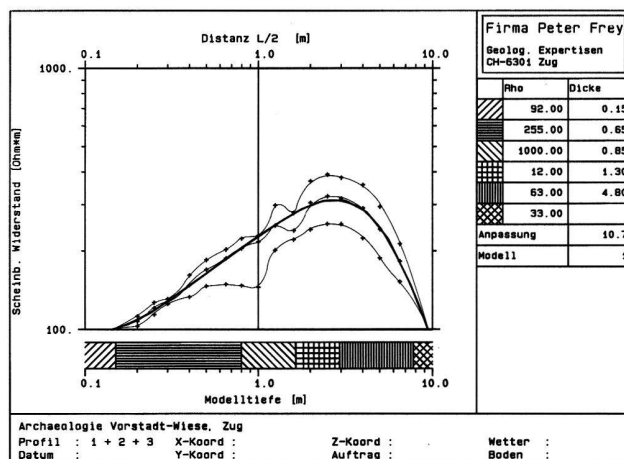


Abb. 12. Zug-Vorstadt. Geoelektrik, Schlumberger-Tiefensondierung: Resultate der geoelektrischen Messung und deren Interpretation (rechte Abbildungshälfte). Im Vergleich dazu das unmittelbar daneben gelegene archäologische Südprofil des Fundamentgrabens (linke Abbildungshälfte): 1 Humus und neuzeitliche Auffüllschichten mit Fundamentresten; 2,3 Kies- und Sandschichten; 4 Kulturschicht 1; 5 Sandschicht; 6 Kulturschicht 2; 7 Holzpfosten; 8 Sandschicht.

Abbildung 11 deutlich zeigt, ist die laterale Widerstandsverteilung sehr inhomogen. Dies lässt sich im vorliegenden Fall als Gebäudefragmente und Mauerreste in unterschiedlichen Tiefen interpretieren. In diesen Zonen mit vermuteter mittelalterlicher und sicherer neuzeitlicher Besiedlung sind auch die Aussichten auf ungestörte prähistorische Fundsituationen gering.

Im vorliegenden Fall gelingt es der Geoelektrik erwartungsgemäss nicht, die eigentliche fundführende Zone gegen das sterile Gebiet in der selben Schicht abzugrenzen, weil die Kulturschichten hier nur durch einzelne Keramik- und Knochenfragmente, Brandspuren und vereinzelte Holzreste repräsentiert werden. Hingegen zeigt die Geoelektrik ihre Leistungsfähigkeit eindrücklich beim Verfolgen von potentiell fundführenden Schichten und bei der Abgrenzung von gestörten und ungestörten Zonen dieser Straten.

Der festgestellte Schichtverlauf und die geoelektrisch erkannten Störungen decken sich sehr gut mit den Ergebnissen der Radarmessungen und wurden durch den im Herbst 1991 untersuchten Fundamentgraben nachträglich bestätigt.



- + Messpunkte
- Messkurve, Normal-Schlumberger Tiefensondierung
- Messkurven, differenzierte Lateralsondierungen

Abb. 13. Zug-Vorstadt. Geoelektrik, Schlumberger-Tiefensondierung: Inhomogene laterale Widerstandsverteilung.

## 6. Gefrierkern-Bohrungen

### 6.1. Generelle Beschreibung der Gefrierkern-Bohrungen

Das von uns eingesetzte und weiterentwickelte Verfahren der Gefrierkern-Bohrungen wurde in seinen Grundzügen schon mehrmals beschrieben. Die Methode wurde für Flachwassersedimentproben von der Universität Berlin benutzt und wurde im archäologischen Bereich in etwas anderer Form unseres Wissens erstmals vom Büro für Archäologie der Stadt Zürich eingesetzt<sup>6</sup>. Es bietet gegenüber herkömmlichen Bohr- und Sondiermethoden die Möglichkeit, in situ hartgefrorene Proben in ihrem ungestörten Verband aus dem Boden zu ziehen, Schichtabfolgen ohne Verfälschung studieren zu können und auch in ihrer wahren Tiefenlage mit weiteren Bohrungen zu korrelieren.

Wir haben diese Methode übernommen und dahingehend weiterentwickelt, dass die Handhabung einfacher wurde und grössere Eindringtiefen erreicht werden. Wir verwendeten dazu eine Ausrüstung, die sonst zur Erstellung von Sprenglöchern benutzt wird. Die gesamte Ausrüstung ist, abgesehen vom Kompressor, tragbar und kann mehrere hundert Meter von einem Fahrzeug weg betrieben werden (Abb. 14). Vor allem in bewaldetem oder dicht besiedeltem Gebiet bietet dies grosse Vorteile und es entstehen keine Landschaftsschäden. Die von uns eingesetzten Geräte unterscheiden sich von den bisher bekannten Ausrüstungen in einigen Punkten und funktionierten folgendermassen:

Als Bohrgestänge, das als Träger für das Bodenprofil dient, verwenden wir 1,5-Zoll- bis 2-Zoll-Rohre, deren unteres Ende durch eine Hartmetallspitze verschlossen ist. Die in Längen von 1–4 m verfügbaren Rohre sind gegen oben offen und weisen eine Querbohrung zur Aufnahme eines Dornes auf. Die Rohre werden nun mit einem pressluftbetriebenen Schlaghammer in den Boden gerammt. Wenn das Rohr die gewünschte Tiefe erreicht hat, wird flüssiger Stickstoff aus einem Druckgefäss durch einen Speziialschlauch in das Rohr eingespritzt und im Rohr durch gleichmässige Auf- und Abbewegungen der Düse während rund 10–20 Minuten gekühlt. Unsere Erfahrungen haben gezeigt, dass sich mit dem bei seiner Verdampfung eine Temperatur von  $-196^{\circ}\text{C}$  messenden Flüssigstickstoff bessere Resultate erzielen liessen, als mit der andernorts verwendeten Kohlensäure. Insbesondere bei heissen Sommertemperaturen erweist sich die Kühlkraft der Kohlensäure als recht gering. Nachdem das um den Bohrkern liegende Erdmaterial mehrere Zentimeter dick an das Gestänge angefroren ist, ziehen wir das Bohrrohr mit dem daran «klebenden» Erdmantel mit einem Dreibein und einem Flaschenzug von mindestens 500 kg Zugkraft aus dem Boden. Der so gewonnene



Abb. 14. Zug-Seeufergestaltung. Gefrierkern-Bohrung: Einrammen des Bohrgestänges mit einem Presslufthammer. Das Kühlen des Rohres geschieht mit Flüssigstickstoff aus dem im Vordergrund sichtbaren mobilen Druckgefäss, das beim grossen Tank auf dem Fahrzeug jeweils wieder aufgefüllt werden kann. Das Ziehen des gekühlten Bohrrohres erfolgt anschliessend mit Flaschenzug und Dreibein.

Bohrkern wird nun mit einer scharfen Kelle oder mit Wasser gereinigt. Es liegt nun eine völlig verzugsfreie Schichtabfolge vor, die auch feinste Straten problemlos erkennen lässt (Abb. 15). Hier erfolgt nun die fotografische, zeichnerische und beschreibende Dokumentation<sup>7</sup>. Das Bohrgestänge steht anschliessend für einen erneuten Einsatz zur Verfügung.

Einmal mehr hat sich bestätigt, dass das Verfahren in feinkörnigem, feuchtem Untergrund besser funktioniert als in steinigem und/oder trockenem Boden. In zähem Lehmboden war es auch möglich, etappenweise am gleichen Standort mehrere Kerne zu ziehen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Dauer der Kühlung nach der ersten Ziehung etwas verkürzt wurde. Damit sollte verhindert werden, dass sich der nachfolgende Kern beim Ziehen verklemmt. In steinigem oder kiesigem Boden war es in der Regel notwendig, zuerst die oberste Deckschicht manuell zu entfernen und anschliessend im tieferen Untergrund die Bohrung anzusetzen. Auch zu trockener Boden konnte die Haftung beim Kühlen stark beeinträchtigen. In solchen Fällen zogen wir den Bohrer ohne Kühlung wieder heraus und füllten das Loch mit Wasser. Nachdem sich das umliegende Erdreich vollgesogen hatte, gelang oft nach erneutem Abtiefen des Rohres eine erfolgreiche Kühlung.

### 6.2. Durchgeführte Gefrierkern-Sondierungen

Eine erste Erprobung der Gefrierkern-Bohrungen fand in Zug in den Monaten Oktober und November 1991 statt. Im Rahmen von «Bahn 2000» führten wir im Gebiet des Chamer Seeufers rund 120 Gefrierkern-Bohrungen

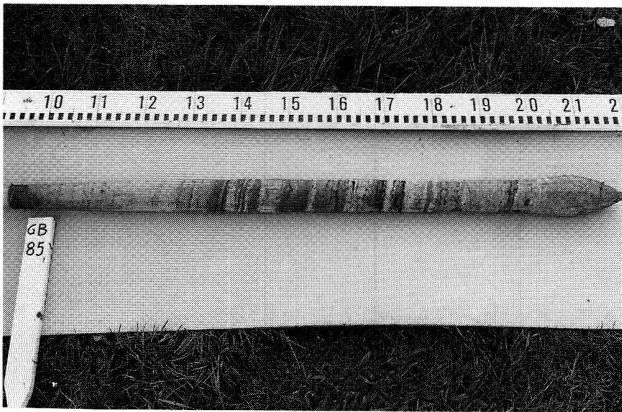


Abb. 15. Zug-Seeufergestaltung. Gefrierkern-Bohrung Nr. 85 (Abschnitt: 0,95–2,2 m Tiefe). Der am Bohrrohr festgefrorene Erdmantel lässt eine verzugsfreie, feinteilige Schichtabfolge erkennen. Deutlich sichtbar sind die organischen Ablagerungen (dunkle Straten).

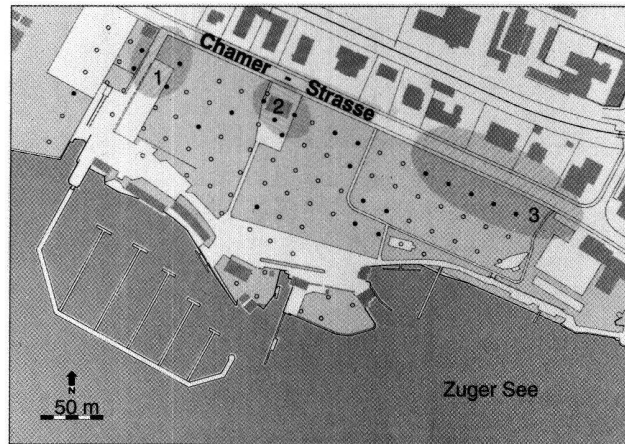


Abb. 16. Zug-Seeufergestaltung. 1. Sondierungskampagne. Lage der Gefrierkern-Bohrungen (Kreis), Nachweis von organischen Schichten (schwarzer Punkt) und Ausdehnung vermuteter und nachgewiesener Siedlungsstandorte (Raster): 1 Jugendbeiz; 2 Bürgerasyl; 3 Schützenmatt (Horgener Siedlung).

durch<sup>8</sup>. Die Abtiefungen wurden normalerweise in einem Abstand von 20 m angelegt. Falls die Situation es erforderte, wurde der Abstand auf etwa 10 m verringert. Der genaue Standort der Bohrungen ergab sich aus den lokalen Gegebenheiten wie Leitungen, Böschungen, Bäumen usw. Aufgrund unserer Erfahrungen sind bei grossflächig angelegten Sondierungen mit Baggerschnitten bessere Ergebnisse zu erwarten als mit Bohrungen. Dass wir im Rahmen unserer Projekte trotzdem fast nur mit Bohrungen arbeiteten, hat zwei Hauptgründe. Einerseits erlaubten die Platzverhältnisse nicht überall den Einsatz eines Baggers. Andererseits verursachen Baggermaschinen durch den Eingriff selber wie auch durch ihre Anfahrt grössere Flurschäden.

Ebenfalls im Herbst 1991 versuchten wir, in der Zuger Vorstadt einige Gefrierkern-Bohrungen durchzuführen. Sie sollten dazu dienen, die Interpretation der hier vorgelegten Ergebnisse der Radar- und Geoelektriklinien zu erleichtern. Der Untergrund in diesem Untersuchungsgebiet erwies sich aber für Gefrierkern-Bohrungen als recht problematisch: Unter der Humusschicht folgt oft Blockschutt der nach der Katastrophe von 1887 abgebrochenen Gebäude. Diese Steine und Blöcke verhinderten meist das Ziehen eines zusammenhängenden Kerns.

Weit bessere Bedingungen fanden sich im Bereich der geplanten «Zuger Seeufergestaltung». Obwohl auch hier direkt unter der Erdoberfläche Geröll- und Auffüllschichten angetroffen wurden, die zuerst manuell entfernt werden mussten, konnten wir im Verlaufe des Monats März 1992 nochmals rund 120 Gefrierkern-Bohrungen durchführen (vgl. Abb. 16). Im archäologisch sensiblen Gebiet führten wir in einer ersten Etappe Bohrungen nur östlich des Hafens durch. Die Bohrpunkte

ergaben sich aus den Schnittpunkten eines Gitternetzes mit 20 m Abstand.

### 6.3. Ergebnisse der Gefrierkern-Sondierungen

Die von uns im Herbst 1991 und im Frühjahr 1992 durchgeführten Sondierungskampagnen mit Gefrierkern-Bohrungen erbrachten an mehreren Stellen den Nachweis organischer Schichten. Anhand dieser Straten liess sich jeweils die Existenz einer oder mehrerer prähistorischer Seeufersiedlungen vermuten. So ergab die erste Bohretappe im Bereich der «Zuger Seeufergestaltung» drei fundträchtige Gebiete, wovon das südöstlichste der bereits bekannten Horgener Fundstelle Schützenmatt entspricht. Die im Rahmen von «Bahn 2000» durchgeführten Bohrungen lassen im Bereich des Chamer Vilette-Parkes eine prähistorische Siedlung vermuten. Weiter liessen sich anhand der Bohrkern für die im Jahre 1990 in Teilen ausgegrabene Horgener Siedlung Hünenberg-Chämleten, Dersbachstrasse, erstmals zwei, durch eine Seekreidelage getrennte Schichten mit organischem Material beobachten<sup>9</sup>.

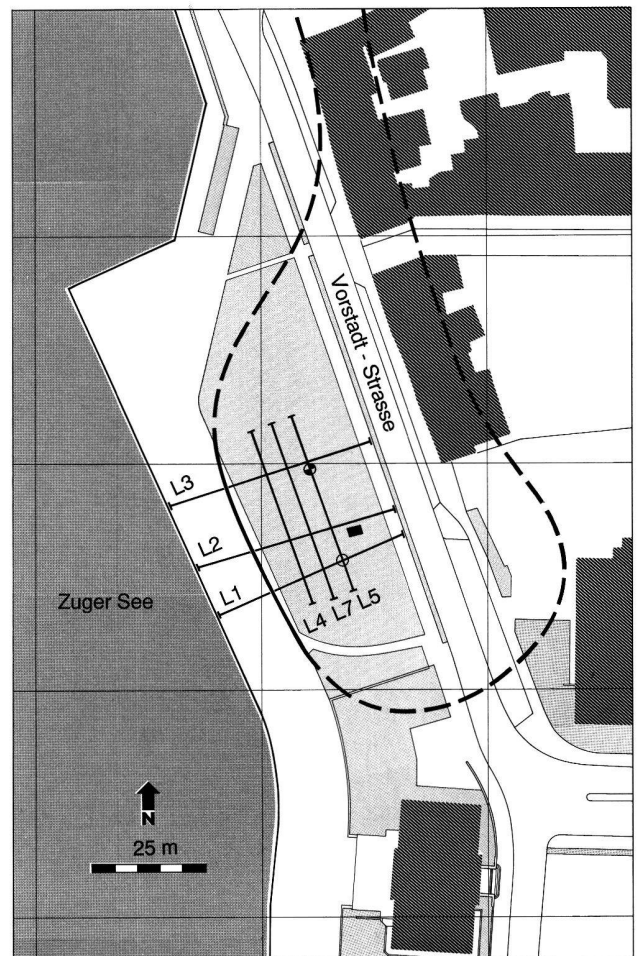
Da der Ausschnitt der in den Bohrkernen zu beobachtenden Schichten allerdings sehr klein war, konnte nicht immer definitiv entschieden werden, ob die festgestellten organischen Schichten wirklich auf menschliche Aktivitäten (Siedlungsresten) zurückzuführen sind. Erst weitere, gezielte Untersuchungen werden die genauere Umschreibung der Schichten ermöglichen. Bei den geplanten Untersuchungen wird es sich vorwiegend um kleinflächige Hand- und Baggersondagen handeln.

## 7. Ergebnisse

Die eingangs formulierte Zielsetzung der auf der Rössliwiese in der Zuger Vorstadt durchgeführten geophysikalischen Prospektionsuntersuchungen wurde erreicht. So konnte der Nachweis erbracht werden, dass sich die fundführenden Schichten auf der Westseite der Vorstadt-Strasse Richtung See fortsetzen, und gleichzeitig wurden die durch die spätere Überbauung stark gestörten Flächen erkannt (Abb. 17). Trotz der Behinderung der Prospektionsarbeiten durch die erwähnten Überbauungsreste konnte die Leistungsfähigkeit der Messmethoden für archäologische Fragestellungen erprobt und unter Beweis gestellt werden. Die im Rahmen unseres Versuches in einem groben Raster durchgeführten Messungen ergeben schöne Hinweise über den räumlichen Verlauf der archäologischen Fundschichten und liefern als «Nebenprodukt» auch Informationen über den geologischen Schichtverlauf, den Wasserspiegel und über die Lage von Leitungen. Obwohl die in der Zuger Vorstadt durchgeführten geophysikalischen Untersuchungen ihre grundsätzliche Leistungsfähigkeit aufgezeigt haben, müsste für eine detaillierte Aufnahme des Untersuchungsgebietes der Messraster, insbesondere derjenige der Geoelektrik, in Zukunft deutlich verfeinert werden. Die so ausgeschiedenen «fundhöffigsten» Areale könnten dann vor Inangriffnahme allfälliger Grabungen durch gezielte Gefrierkern-Sondierungen präziser lokalisiert werden.

Die Durchführung der Gefrierkern-Sondierungen erwies sich im Gebiet der «Rössli-Wiese» allerdings als sehr schwierig, wurden doch die Sondierungen durch die oberflächennahe reichlich vorhandenen Mauerreste und Hausfragmente stark behindert. Das Zusammenspiel von zwei speziell auf die Fragestellung adaptierten geophysikalischen Methoden mit der Gefrierkern-Methode hat sich aber grundsätzlich als zuverlässig und erfolgreich erwiesen und eröffnet so ein breites Feld von weiteren Einsatzmöglichkeiten.

Die Gefrierkern-Prospektion im Gebiet der «Seeufergestaltung» und des Projektes «Bahn 2000» erlaubte mit vertretbarem Aufwand, ein grosses Gebiet zu erkunden und in archäologisch sensible und unergiebigere Zonen einzuteilen. Besonders zu erwähnen ist, dass durch unsere Feldarbeiten praktisch keinerlei Landschaftsschäden entstanden; was vor allem im Gebiet der in der Zuger Schützenmatt gelegenen Sportplätze von grosser Wichtigkeit war.



- Aufgrund der Radarmessung nachgewiesene Kulturschichten
- - - Aufgrund früherer Beobachtungen vermutete Kulturschichten
- Radar-Messlinien
- ⊕ Tiefensondierung / Geschwindigkeitsbestimmung
- ⊕ Geoelektrik (Sondierung)
- Archäologische Grabung

Abb. 17. Zug-Vorstadt. Schematische Darstellung der Georadar-Messlinien, der geoelektrischen Tiefensondierung und Ausdehnung der archäologisch relevanten Schichten.

## 8. Ausblick

Die in der Kantonsarchäologie Zürich mit Erfolg eingesetzte Geoelektrik wie auch unsere Gefrierkern-Bohrungen zeigen, dass der Einsatz schneller und flächendeckender, geophysikalischer Prospektionsmethoden bereits heute zur Routine werden könnte<sup>10</sup>. Bei der Arbeit mit dem Georadar müssen u.E. noch weitere Erfahrungen gesammelt werden. Da das erste Ergebnis dieser geophysikalischen Messungen Daten sind, die bearbeitet, interpretiert, korreliert und im Raume dargestellt werden müssen, liegen die Möglichkeiten für Fortschritte insbesondere bei einer verfeinerten Interpretation der Messdaten. Die Entwicklung neuer, den Fragestellungen der Archäologie angepasster Computer-Auswertungsprogramme wird hier sicherlich weiterhelfen. Die Erfahrungen mit den Gefrierkern-Bohrungen sind als derart positiv zu bewerten, dass entsprechende Untersuchungen heute sehr effizient und zielgerichtet eingesetzt werden können. Es zeigt sich, dass im Bereich von Seesedimenten mit diesem umweltschonenden Verfahren die Lage von Schichten, die mit organischen Bestandteilen angereichert sind, relativ schnell erschlossen werden kann. In der Kantonsarchäologie Zug ist der weitere Einsatz dieser Methode sicher für die Fortsetzung der begonnenen Sondierungen im Rahmen von «Bahn 2000» und der «Seeufergestaltung» für das Jahr 1993 vorgesehen.

Nebst den hier beschriebenen Methoden lassen sich auch weitere geophysikalische Prospektionsmethoden in den Dienst der Archäologie stellen. Je nach Fragestellung und Einsatzgebiet sind für die nähere Zukunft auch Messungen der thermischen Eigenschaften (geophysikalische Thermographie), der magnetischen Eigenschaften (Geomagnetik) oder der mechanischen Parameter (Mikroseismik) geplant; alles Methoden die für die geotechnische Fragestellung längst eingesetzt werden. Laufende Verbesserungen entstehen auch im Bereich der Verarbeitung «Archäologie-spezifischer» Daten und deren Darstellung.

Insgesamt meinen wir, dass sich die Zusammenarbeit von Archäologie und Geophysik als sehr fruchtbar erweist und wesentliche Resultate zu tragbaren Kosten ergibt.

Peter Frey und Bruno Huber  
Büro Peter Frey,  
Geologische Expertisen  
Gartenstrasse 7  
6301 Zug

Stefan Hochuli  
Kantonsarchäologie Zug  
Hofstrasse 20  
6300 Zug

### Anmerkungen

#### Abbildungsnachweis

Kantonsarchäologie: Abb. 3.14f. Kantonsarchäologie (Salvatore Pungitore): Abb. 1.5.16. Kantonsarchäologie (Salvatore Pungitore)/Büro Frey: Abb. 6.9f.12f.17. Kantonsarchäologie (Sabina Nüssli Baltensweiler)/Büro Frey: 4.7f. Büro Frey: 11. Die Zuger Vorstadt. Gedenkschrift zum 100. Jahrestag der Vorstadtkatastrophe vom 5. Juli 1887 (Zug 1987), 29; Abb. 2.6

- 1 Erste geoelektrische Messungen im Auftrage der Kantonsarchäologie Zug wurden bereits 1989 durchgeführt (Tugium 6, 1990, 37–40).
- 2 Vorstadt: Pfyner und Horgener Kultur, diverse Aufsammlungen und Ausgrabungen (Kantonsarchäologie Zug und Museum für Urgeschichte, diverse Objekt-Nummern); Erlenbach: Pfyner Kultur, Aufsammlung aus dem Jahre 1914 (Kantonsarchäologie Zug, Objekt Nr. 425); Schützenmatt: Horgener Kultur, Ausgrabung 1986, (Objekt Nr. 177; vgl. in diesem Band S. 145–153, Mitteilung St. Hochuli und T. Sormaz); Bärenbächli/Schutzengel: Horgener Kultur, JbSGUF 22, 1930, 33f.; 23, 1931, 28 (Museum für Urgeschichte, Objekt Nr. 1182).

- 3 Die Zuger Vorstadt. Gedenkschrift zum 100. Jahrestag der Vorstadtkatastrophe vom 5. Juli 1887, Zug, 1987, 51–55.
- 4 JbSGUF 75, 1992, 188.
- 5 JbSGUF 75, 1992, 188.
- 6 Mündliche Mitteilung des Instituts für Sedimentforschung der Freien Universität Berlin; Ruoff 1986.
- 7 Ist nach erfolgter Dokumentation der am Bohrohr klebende Sedimentmantel aufgetaut, besteht noch die Möglichkeit, Materialproben zu entnehmen. Ebenfalls kann bei Bedarf ein sogenannter Klebekern (Einbettung und Fixierung des Materials mit Harz und Trägergewebe) angefertigt werden.
- 8 Das Projekt «Bahn 2000» sieht im Kanton Zug einen Ausbau der Strecke von Cham nach Rotkreuz vor. Da ein grosser Teil der auf 50000 m<sup>2</sup> geschätzten Baustelle von «Bahn 2000» in unmittelbarer Nähe zu heute bekannten archäologischen Fundstellen liegt, muss grundsätzlich auf der gesamten Baufläche mit archäologischen Funden gerechnet werden. Wir haben deshalb ein Projekt «Archäologie und Bahn 2000 im Kanton Zug» in die Wege geleitet (Hochuli und Weiss 1992).
- 9 Tugium 7, 1991, 27.
- 10 Leckebusch und Nagy 1991.

### Bibliographie

Gerbothé, D., Lassau, G., Ruckstuhl, B. und Seifert, M. (1990) Thayngen SH-Weier: Trockeneis Sondierungen 1989. JbSGUF 73, 1990, 167–175.

Hochuli, St., und Weiss, J. (1992) Das Projekt «Archäologie und Bahn 2000 im Kanton Zug». Tugium 8, 1992, 55–63.

Lassau, G. und Riethmann, P. (1988) Trockeneis Sondierungen, ein Prospektionsverfahren im Seeuferbereich. JbSGUF 71, 1988, 241–248.

Leckebusch, J. und Nagy, P. (1991) Prospektionsmethoden in der Archäologie. Zürich.

Leute, U. (1987) Archeometry. New York.

Ruoff, U. (1986) Die Erforschung der Seeufersiedlungen. Bericht der Zürcher Denkmalpflege 10/2, 1986, 19–23, bes. 19f.

Vaughan, C. J. (1986) Ground-Penetrating Radar Surveys used in Archaeological Investigations. Geophysics 51, 595–605.