

Magnetische Prospektion in der Archäologie

Helmut Becker, BLfD, München

1. Einführung

Eine erste magnetische Prospektion im Dienste der Archäologie führte Aitken 1958 durch: Mit einem Protonenmagnetometer prospektierte er römische Brennöfen, wobei beobachtet werden konnte, daß sich auch Gruben magnetisch prospektieren lassen. Aitken gründete in Oxford das Research Laboratory for Archaeology and the History of Art. Der "Klassiker" zur physikalischen Archäometrie stammt ebenfalls aus seiner Feder: *Physics and Archaeology* (1961, 1974). Ähnlich geniale Pioniere auf dem Gebiet der geophysikalisch-archäologischen Prospektion waren in Frankreich (Hesse, 1966) und in Italien (Lerici, 1961; Herausgeber der Zeitschrift *Prospezioni Archeologiche* seit 1966) tätig. Die Einführung moderner Prospektionsverfahren in die deutsche Landesarchäologie seit 1965 war vor allem das Verdienst von Scollar am Rheinischen Landesmuseum Bonn.

Seit 1976 beteiligt sich der Verfasser an der Entwicklung der magnetischen Prospektion für die Archäologie. 1977 bis 1982 konnte ein Differenzen-Protonenmagnetometer und später ein Cäsium-Magnetometer mit Unterstützung der Volkswagen-Stiftung am Institut für Geophysik der Universität München aufgebaut werden. Die Arbeiten zur magnetischen Prospektion werden 1982 am Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege (BLfD) weitergeführt.

Den Prospektionsprojekten des BLfD im Ausland - hier wird über Troia, Qantir-Piramesse und Ostia berichtet - kommen eine besondere Bedeutung hinsichtlich der Weiterentwicklung und Erprobung der Methoden zu. Die weltweit beachtete Messung in Troia 1992 beispielsweise markiert einen "Quantensprung" in der Meßempfindlichkeit vom Nanotesla- (0.1 nT) zum Picotesla-System (0.001 nT), während ein erster Test im etwa 30 km² großen Qantir-Piramesse die Prospektierbarkeit auch von Lehmziegelarchitektur offenbart. Die jeweils einwöchigen Messungen 1996 und 1997 auf insgesamt 30 ha bisher nicht untersuchten Äckern in Ostia demonstrieren dagegen die schnelle Prospektion großer Flächen.

Die magnetische Prospektion in der Archäologie ist heute weit verbreitet. Die Cäsium-Magnetometrie im größerem Rahmen wird von den Arbeitsgruppen in München, Wien, Zürich und Nitra eingesetzt. Der „Rest der Welt“ arbeitet mit Fluxgate-Gradiometern und Förstersonden, wobei besonders die Kieler Arbeiten zu erwähnen sind. Es gibt auch eine Reihe von Firmen, die die magnetische Prospektion für die Archäologie anbieten.

2. Cäsium-Magnetometrie

Als wichtigstes Prospektionsverfahren am Boden hat sich die hochempfindliche Cäsium-Magnetometrie erwiesen. Die teilweise rasante Entwicklung der Mikroelektronik und Computertechnik hat die Verbesserung der magnetischen Prospektionsverfahren von den Nanotesla- (Varian/Scintrex V101) zu den Picotesla-Systemen (Picodas/Scintrex, Scintrex, Geometrics) ermöglicht. Die Prozessoren, Stromversorgung und Datenspeicher für ein Differential-Protonenmagnetometer

mußte Scollar in den 70er Jahren noch in einem VW-Bus unterbringen. Dieselben Komponenten für das Cäsium-Magnetometer Varian V101 benötigten 10 Jahre später nur noch eine Aluminium-Kiste, die mit einem Kabelsatz mit der Sensor-Einheit verbunden war. Seit 1996 kann ohne die Trennung zwischen Sensor, Magnetometerprozessor und Datenspeicher gearbeitet werden und alle Komponenten getragen werden: Der Inhalt des VW-Busses ist auf eine kleine Konsole geschrumpft.

Am Münchner Labor sind die Cäsium Magnetometer CS2/MEP720 (Scintrex/Picodas, Kanada) und SM4G-Spezial (Scintrex) in Duo- oder Quadro-Sensor Konfigurationen mit einer Empfindlichkeit im Picotesla-Bereich (10⁻⁸ der Stärke des Erdmagnetfeldes) bei 0,1 sec Meßzyklus im Einsatz. Bei der 1995 entwickelten Duo-Sensor Konfiguration werden beide Sensoren eines Gradiometers horizontal zur Totalfeldmessung eines Doppelstreifens geführt. Die Meßzeit (20 Messungen pro Sekunde) im Gelände reduziert sich dabei auf die Hälfte.

Eine nochmalige Steigerung der Meßgeschwindigkeit der Cäsium-Magnetometrie gelang dann im Frühjahr 1996 durch die Einführung von Scintrex SMARTMAG SM4G Magnetometern: Bis zu vier vollständige Magnetometersysteme können nun auf einem neu konstruierten Meßwagen untergebracht werden. Die Auswertungsverfahren entsprechen denen einer doppelten Duo-Sensor Konfiguration. Extrem starke geomagnetische Variationen während magnetischer Stürme werden durch ein fünftes, synchronisiertes Magnetometersystem als Basisstation kompensiert. Im rauen Gelände kann das SMARTMAG SM4G-Special als Duo-Sensor getragen werden. Diese neuen halbautomatisierten Systeme erlauben die Prospektion von weit über 100 ha pro Jahr (1998 etwa 180 ha).



Abb. 1 Qantir Piramesse 1996. Cäsium Magnetometer SMARTMAG SM4G-Spezial des Bayer. Landesamtes für Denkmalpflege in Duo-Sensor Konfiguration.

Abb. 2 Meßwagen "Magnetoscanner" Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (4 Cäsiummagnetometer Scintrex SMARTMAG SM4G-Spezial in der Quadro-Sensor-Konfiguration) bei der magnetischen Prospektion in Ostia Antica 1996

3. Magnetisierungsprozesse im Boden

Die Dominanz der Magnetik in der geophysikalisch-archäologischen Prospektion am Boden hat ihren Grund in der Vielzahl von Magnetisierungsprozessen im Boden. Dadurch wird die Archäologie gleichsam über dem Boden abgebildet. Das Magnetfeld der Erde wird durch den Kontrast der magnetischen Eigenschaften verschiedener Materialien z.B. Böden, Siedlungs-, Brandschutt, Lehmziegel, gebrannte Ziegel, Gesteine etc. gestört. Während man bisher die magnetischen Anomalien archäologischer Objekte mit dem sogenannten "Le Borge Effekt" - einer Anreicherung magnetischer Mineralien wie Magnetit oder Maghemit im Oberboden durch anthropogene Einwirkung - erklärte, blieben die mit Cäsium-Magnetometern meßbaren sehr schwachen Störungen von Palisaden und Holzpfosten unverstanden. Faßbinder und Stanjek erforschten einen weiteren Magnetisierungsprozeß durch magnetische Bakterien, der alle archäologischen Strukturen, die bei der Verrottung von organischem Material (z.B. Holz) im Boden entstehen, als Anomalien im erdmagnetischen Feld abbildet. Die Magnetometer sind in der Zwischenzeit derart empfindlich, daß ein Fe-Gehalt von $10^{-6}\%$ im Boden magnetisch bereits nachweisbar ist. Insbesondere für Mitteleuropa bedeutet dieser Effekt die Prospektierbarkeit beinahe des gesamten Spektrums der Holz-Erde Archäologie.

Die Komplexität der Magnetisierungsprozesse spiegelt sich auch in den hier zu behandelnden Beispielen wider: Während in Mitteleuropa hauptsächlich eine Kombination von LeBorgne-Effekt und biogenem Magnetismus eine Rolle spielen dürfte, müssen für Troia, Piramesse und Ostia andere Prozesse gesucht werden. Wahrscheinlich ist eine Konzentration von geologischem oder biogenem Magnetit in den Straßen und Abwasserkanälen antiker Städte durch äolische und fluviatile Sedimentation. Die Lehmziegelarchitektur im Nildelta zeigt sich dagegen als negative Lineamente der magnetischen Anomalien. Die Steinbauten in Piramesse hatten Sandfundamente, die einen guten Magnetisierungskontrast zum Nilschlamm aufweisen. Allen Plätzen gemeinsam ist jedoch die Prospektierbarkeit der Architektur durch die unterschiedliche Magnetisierung der Baumaterialien.

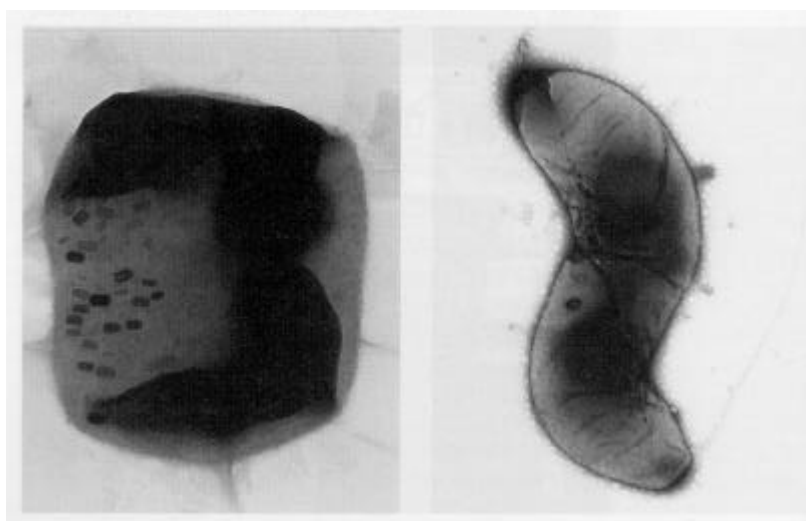


Abb. 3 "Magnetische" Bakterie mit Magnetit-Einkristallen (Magnetosome) im Raster-Elektronen-Mikroskop bei 20.000-facher Vergrößerung (Faßbinder/Stanjek/Wali 1990)

Abb. 4 "Magnetotaktische" Bakterie mit einer Kette aus Magnetit-Einkristallen im Raster-Elektronen-Mikroskop bei 10.000-facher Vergrößerung (Faßbinder/Stanjek/Wali 1990)

4. Datenverarbeitung und Visualisierung

Die Kunst der Datenverarbeitung der geophysikalisch-archäologischen Prospektion besteht vor allem darin, die archäologisch relevante Information der Messung so zu visualisieren, daß das Auge damit arbeiten kann. Die für das Auge adäquate Form der Darstellung ist das digitale Bild, mit dem die im Magnetogramm enthaltene Information zu archäologischen Strukturen am besten und direkt vermittelt werden kann. Der wichtigste Schritt vor der Umsetzung als digitales Bild ist das sogenannte "Resampling", d.h. der Abgriff der im Zehntelsekundentakt aufgenommenen Meßwerte in äquidistanten Abständen von 25,0 oder 12,5 cm.

Die Möglichkeiten zur Visualisierung extrem schwacher magnetischer Anomalien archäologischer Strukturen mit digitaler Bildverarbeitung sind bisher unerreicht. In der archäologischen Prospektion wird meist der invertierte Meßwert transformiert, da so positive Anomalien in einer stärkeren Schwärzung dargestellt werden, wodurch der Eindruck einer photographischen Aufnahme der archäologischen Strukturen im Untergrund simuliert wird. Tatsächlich unterscheiden sich in manchen Fällen Magnetogramm und Grabungsbefund kaum voneinander.

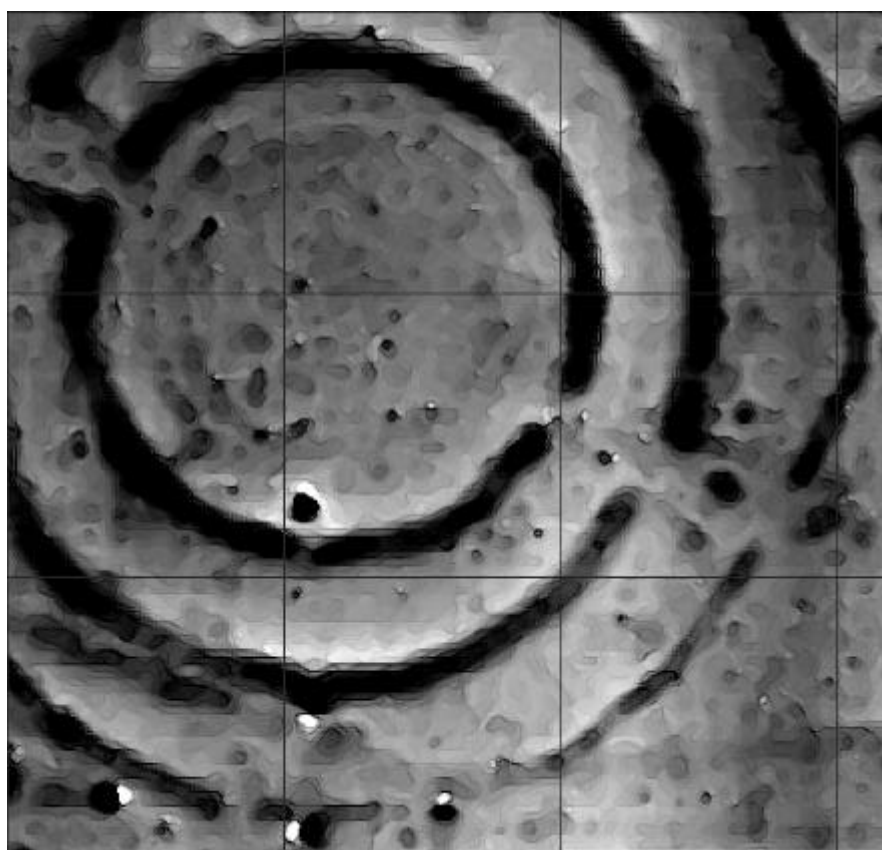


Abb. 5 Mittelneolithische Kreisanlage von Schmiedorf (5. Jahrht.). Magnetogramm (Ausschnitt) in digitaler Bilddarstellung. Rondell mit 3 Kreisgräben, 2 konzentrischen Innenpalisaden, Toranlagen und Siedlungsspuren im Außenbereich. Cäsium-Magnetometer, Picotesla-System CS2/MEP720, ± 0.001 nT, Dynamik $-1.2/+2.0$ nT in 256 Graustufen, Raster 0.25/0.50m, Gradientenfilter, Variometeranordnung, Sensorhöhe 0.3m, 20m-Gitter, Norden unten, BLfD Magnetometerprospektion, Mag Nr. 7342/280-94A.

5. Einsatz der Cäsiummagnetometrie in der archäologischen Denkmalpflege in Bayern

Seit 1982 bedient sich das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege der Kombination von Luftbild mit Geophysik zur archäologischen Denkmalpflege. Das Erfolgsrezept der bayerischen Arbeitsweise besteht insbesondere in der Verwendung hochempfindlicher und schneller Cäsium-Magnetometer

(Scintrex/Picodas CS2/MEP720 und Scintrex Smartmag SM4G-Special) und der kombinierten Verarbeitung von Luftbild und Geophysik auf Bildcomputern.

Die Bodendenkmäler hierzulande repräsentieren überwiegend den Typ Holz-Erde-Archäologie, deren Magnetisierung hauptsächlich biogen (magnetische Bakterien) gebildet sein dürfte. Der zerstörungsfreie Nachweis derartiger Strukturen (Palisaden der Mittelneolithischen Rondelle und Pfosten neolithischer Langhäuser) bleibt ausschließlich der hochauflösenden Cäsium-Magnetometrie vorbehalten. In Bayern wird versucht, Denkmälergruppen möglichst vollständig zu erfassen (z.B. mittelneolithische Kreisgrabenanlagen, hallstattzeitliche Grabenwerke, keltische Viereckschanzen oder römische Kastelle).

6. Die Suche nach der Stadtmauer des homerischen Troia 1992 bis 1994

Die magnetische Prospektion in Troia markiert die Entwicklung der Cäsium-Magnetometrie von Nano- zu Picotesla Systemen, die vorher nur für die Aeromagnetik verfügbar waren.

Troia, die "gutummauerte", die "breitstraßige" Stadt Mit diesen schmückenden Worten wird Troia in der Ilias beschrieben. 1868 kam Heinrich Schliemann gleichsam mit der Ilias in der Hand nach Troia. Trotz zahlreicher Sondagen im vermuteten Stadtgebiet mußte er resigniert feststellen, daß sich Troja auf die kleine Fläche von Hissarlik beschränkt.

Mit den neuen Grabungen seit 1988 nahm von 1992 bis 1994 auch das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege mit einer je zehntägigen magnetischen Prospektionsmessung teil. Ziel war die Prospektion der bronzezeitlichen Stadtmauer von Troia VI. Die Feldmessung 1992 (Becker, Faßbinder) mit dem Cäsium-Magnetometer Varian V101 erfolgte auf einem abgeernteten Getreidefeld südlich der Burg. Der Baumbestand auf dem Feld zwang zum Verzicht auf den in Bayern üblichen Meßwagen. Die Sensoranordnung mußte daher getragen werden.

Die Magnetogramme zeigen deutlich die Einteilung der römischen Stadt durch gerade Straßen in langrechteckige insulae. Offensichtlich führt die Überlagerung der hellenistischen, römischen und byzantinischen Stadtanlagen zu einem verwirrenden Bild. Weniger Probleme bereitete erstaunlicherweise die Identifikation der gesuchten spätbronzezeitlichen Stadtbefestigung von Troia VI: Sie war im südlichen Bereich der prospektierten Fläche etwa 400 m von der Burgmauer entfernt gut durch ihre gänzlich abweichende Struktur und Orientierung unter dem rechtwinkligen Baumuster der späteren antiken Städte gut zu erkennen. Es handelt sich hierbei um eine positive magnetische Störung, deren Ursache verbrannte Lehmziegel sein könnten.

Statt der vermuteten verbrannten Lehmziegelmauer kam in der Grabung 1993 jedoch ein gewaltiger in den Fels eingeschnittener Graben mit Kulturschichten aus Troia VI ans Tageslicht. Mit der Weiterführung der Prospektion im August 1993 (Becker, Jansen) gelang die Kartierung des "Stadtgrabens" von Troia VI auf einer Länge von 350 m nach Südwesten.

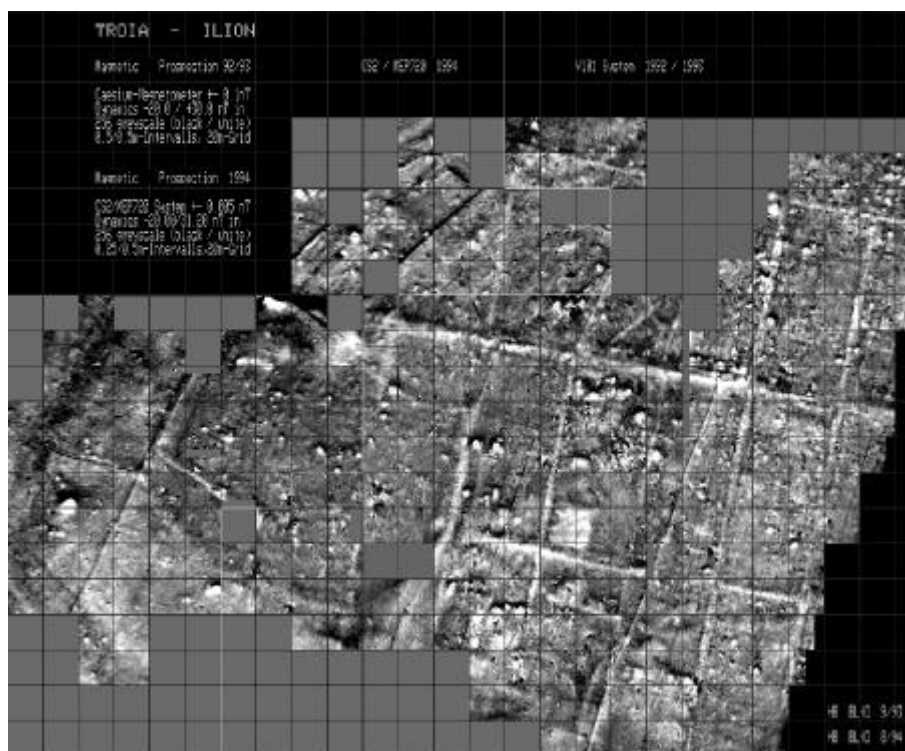


Abb. 6 Troia 1992-1994. Ausschnitt aus den Magnetogrammen von Troia (Cäsium-Magnetometer ± 0.05 nT) als Digitalbild mit einer Dynamik von $-20.0 / +31.2$ Nanotesla (weiß nach schwarz) in 256 Graustufen, 0.5/0.25m-Raster, 20m-Gitter genordet.

1994 (Becker, Jansen) kam erstmals das hundertfach empfindlichere Picotesla-System CS2/MEP720 in einer Variometer Konfiguration zum Einsatz. Damals handelte es sich weltweit um das empfindlichste System zur archäologischen Prospektion. Neue Verfahren bei der Datenaufnahme im Gelände und der Verarbeitung als digitales Bild lassen noch Details archäologischer Strukturen im Dezimeterbereich erkennen.

Auf der Suche nach den Nekropolen Troias wurden 1994 auch weite Flächen außerhalb der hellenistisch/römischen Stadtbefestigung magnetisch prospektiert. Buchstäblich im allerletzten Meßquadranten im Südwesten der Fläche ergab sich etwa 500 m von der Burg entfernt sehr klar der Verlauf eines weiteren in den Fels geschlagenen Grabens, der in der anschließenden Sondage ebenfalls der homerischen Stadt Troia VI zugeordnet werden konnte.

Das Stadtgebiet von Troia VI hat sich mit dem äußeren Graben auf weit über 300.000 m^2 bei einem Umfang über 2 km vergrößert. Die schon von Schliemann gesuchte Unterstadt von Troia ist hiermit gefunden. Die heute zur Verfügung stehende Multi-Sensor Technik würde die magnetische Prospektion des restlichen Stadtgebiets von Troia in einer 14-tägigen Kampagne erlauben.

7. Piramesse - Die verschwundene Hauptstadt Ramses II. im Nil-Delta (Ägypten)

Die nördliche Hauptstadt Altägyptens Piramesse "Haus-des-Ramses-groß-an-Macht", in der Zeit der Ramessiden (ca. 1300 - 1100 v. Chr.) von Memphis in das östliche Nildelta verlegt, war auch die Hauptstadt Ramses II. Sie befindet sich mit einer geschätzten Gesamtausdehnung von 30 km^2 mitten im Bauernland des Ost deltas nahe dem modernen Ort Qantir, etwa 100 km nördlich von Kairo entfernt. Sie kann als eine der größten Metropolen der Antike bezeichnet werden - etwa

vergleichbar mit Babylon oder Ninive. Heute scheint sie buchstäblich vom Erdboden verschwunden: Die Hauptstadt war nach Memphis zurückverlegt und die monumentale Steinarchitektur teilweise in Tanis wiederaufgebaut worden.

Im Rahmen des von der Volkswagen-Stiftung geförderten Projekts "Archäoprospektion Ägypten" (Institut für Geophysik der Universität München, Bayer. Landesamt für Denkmalpflege München und National Research Institute for Astronomy and Geophysics Helwan) und der Grabung "Ramses-Stadt" (Pelizaeus Museum Hildesheim) konnten im Oktober 1996 Vergleichsmessungen zur archäologischen Prospektion in Sakkara und Qantir-Piramesse mit Cäsium Magnetometern SMARTMAG SM4G-Spezial und Geoscan Fluxgate Gradiometer FM36 durchgeführt werden. Dabei sollte geklärt werden, ob sich unverbrannte Lehmziegel-Architektur überhaupt magnetisch prospektieren läßt.

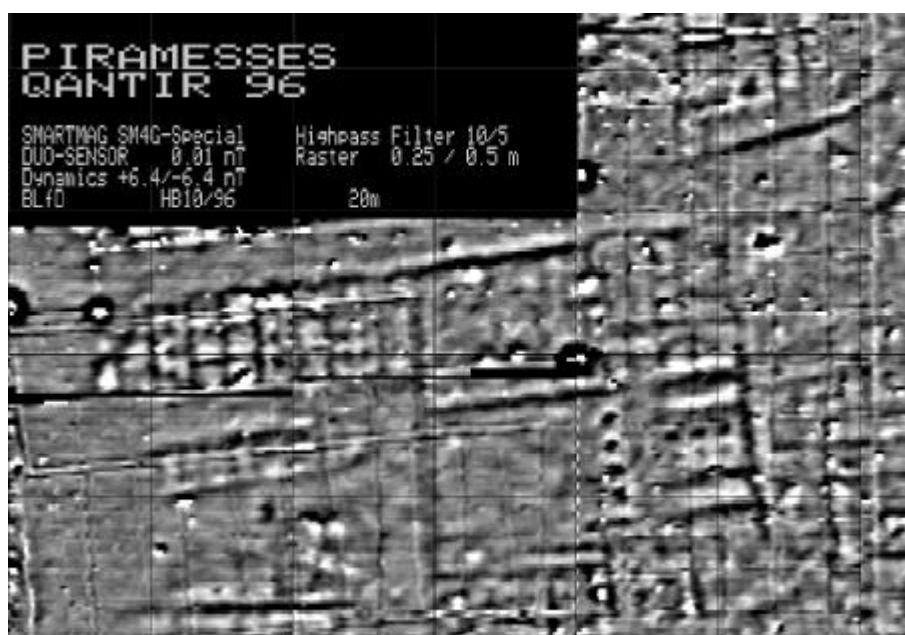


Abb. 7 Qantir Piramesse 1996. Magnetogramm nach Hochpaßfilterung. Cäsium Magnetometer SMARTMAG SM4G-Spezial in Duo-Sensor Konfiguration. Empfindlichkeit 10 Picotesla, Raster 0,5/0,25 m, Dynamik des Totalfeldes -6.4 / +6.4 nT (schwarz / weiß), Quadrantenmittel, Desloping, 40m-Gitter, BLfD Magnetometerprospektion, Mag Nr QAN96-A

Dabei zeigte sich, daß Lehmziegelmauern und Sandfundamente der Steinbauten sowohl mit Cäsium- als auch mit Fluxgate-Magnetometern prospektiert werden können. Die hochempfindlichen Cäsium- Magnetometer erlauben jedoch als einzigstes Verfahren die Prospektion tiefer liegender Strukturen auch bei geringen Magnetisierungskontrasten. In der Duo-Sensor Konfiguration ist das Cäsium-Magnetometer außerdem mindestens vier mal schneller als das Fluxgate-Gradiometer.

In den Magnetogrammen zeichnen sich die Lehmziegelmauern und Sand-/Steinfundamente (Säulenbasen) als negative Lineamente ab. Offensichtlich besteht ein negativer Magnetisierungskontrast zwischen Lehmziegel (steriler Nilschlamm) und dem Kulturschutt mit Brand- und organischen Resten, der möglicherweise noch durch einen biogenen Magnetisierungsprozeß verstärkt wird.

Jedenfalls läßt sich schon heute festhalten, daß die Lehmziegel-Architektur in Qantir Piramesse größtenteils bis in die Raumaufteilung und sogar Säulenstellungen magnetisch prospektiert werden können. Diese Erkenntnis ist sowohl für die Methode der magnetischen Prospektion als auch für die Ägyptologie von immenser Bedeutung: Die Meßtechnik speziell der Cäsium Magnetometrie ist in der Zwischenzeit so fortgeschritten, daß in verhältnismäßig kurzer Zeit (1-2 ha pro Tag)

auch große Flächen mit hoher archäologischer Detailgenauigkeit prospektiert werden können. Die Erstellung eines "Stadtplanes" von Piramesse oder anderen versinkenden Städten im Delta durch eine zerstörungsfreie magnetische Prospektion ist damit möglich geworden.

8. Testmessung zur magnetischen Prospektion in Ostia Antica (Italien) mit einem Quadro-Sensor-System

Seit 1996 leitet das Deutsche Archäologische Institut Rom unter Beteiligung der Soprintendenza Archeologica di Ostia, der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (Kommission zur Erforschung des antiken Städtewesens), der Technischen Universität München (Photogrammetrie) und des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege (geophysikalische Prospektion) ein interdisziplinäres Forschungsvorhaben zur kaiserzeitlichen Urbanistik Ostias. Im August 1996 konnte erstmals ein hochempfindliches Cäsiummagnetometer des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege mit Mehrfachsensoren (4 + 1 Sensoren) auf einem 15 Hektar großen Acker (7 Tage Meßzeit) im südlichen Stadtgebiet Ostias getestet werden. Die Messung war als Test zur Prospektierbarkeit der Stadtstruktur geplant. Dieses von BMW 1996 gesponserte Magnetometer-System zur archäologischen Prospektion erlaubt bis zu 1 Million Messungen pro Tag. Die Oberfläche wird in 30 cm Höhe mit einem Meßwagen im Raster 10/50 cm oder 10/25 cm abgescannt. Die unterschiedliche Magnetisierung der Mauerfundamente, Straßen, Grabbauten, Kanäle etc. bildet den archäologischen Befund über dem Boden gleichsam ab.



Abb. 8 Ostia Antica 1996. Magnetogramm (Ausschnitt) mit der Basilika von Konstantin I. Cäsiummagnetometer SM4G-Special in Quadro-Sensor Konfiguration, Empfindlichkeit ± 10 Picotesla ($10 \text{ pT} = 0.01$ Nanotesla nT), Dynamik - $50.0/+50.0$ nT in 256 Graustufen (weiß / schwarz), Raster nach Resampling $0.5/0.25$ m, 1 Hz Bandpaßfilter, Reduktion der Tagesvariation durch Zeilenmittel, 40m-Gitter, BLfD Magneto-meterprospektion, Mag. Nr. OS96-A

Neben den Straßen und Abwasserkanälen kann man auch den südlichen Verlauf der Stadtmauer, die an mehreren Stellen bereits in der Antike überbaut wurde, und ein Stadttor in den Magnetogrammen erkennen. Der südliche Straßenabschnitt vor der Stadtmauer ist

dicht von Grabbauten gesäumt. Mehrere große Bauwerke, aber auch kleinräumige Insulabebauungen geben bereits einen Eindruck der urbanen Struktur Ostias.

Den klarsten Befund im Magnetogramm zeichnet jedoch eine Basilika innerhalb der Stadtmauer, die weder nach den Straßen noch nach der Stadtmauer orientiert zu sein scheint. Die Baumaße, Größe und Ausrichtung des Bauwerkes aus gebrannten Ziegeln deuten darauf hin, daß die Entdeckung der lange gesuchten Basilika Kaiser Konstantins aus dem Beginn des 4. Jahrhunderts gelungen ist. Das Amphitheater Ostias, das sich noch immer in den weiten unausgegrabenen Flächen der Stadt versteckt, wurde auch 1997 und 1998 gesucht. Da nun alle offenen Flächen innerhalb der Stadtmauer in Ostia magnetisch prospektiert sind, muß wohl auch noch außerhalb gemessen werden.

9. Ausblick

Mit der Entwicklung der Picotesla-Systeme ist die Grenze der magnetischen Prospektion hinsichtlich der Meßempfindlichkeit erreicht. Auch die Multisensor Technik mit vier Magnetometern auf einem Meßwagen läßt sich kaum noch im Meßfortschritt verbessern. Weitere Entwicklungsarbeit muß jedoch bei der Datenverarbeitung geleistet werden. Ungelöst ist nach wie vor die Visualisierung der hohen Dynamik der Picotesla-Systeme. Automatische Modellierung durch Inversionsverfahren sind von der Wiener Arbeitsgruppe entwickelt worden. Erfolgversprechend scheinen Versuche zur Mustererkennung zu sein, da damit die Basis zur Automatisierung der Interpretation und Generierung digitaler Pläne gelegt ist. Die bisherigen Erfahrungen bei der geophysikalisch-archäologischen Prospektion haben außerdem gezeigt, daß die alleinige Anwendung der Magnetik oft zu unzureichenden Ergebnissen führt und durch eine Kombination verschiedener Verfahren wie Elektrik, elektromagnetische Induktion und Radar ergänzt werden sollte.

10. Ausgewählte Literatur:

- M.J. Aitken: Physics and Archaeology. London (1961) und Oxford (1974).
 H. Becker: From Nanotesla to Picotesla - a new window for magnetic prospecting in archaeology. Archaeological Prospection 2, 1995, 217-228.
 - (Hrsg.) Archäologische Prospektion - Luftbild und Geophysik. Arbeitsh. Bayer. Landesamt f. Denkmalpfl. 59, 1996.
 - Magnetische Prospektion archäologischer Stätten am Beispiel Troia (Türkei), Piramesse (Ägypten) und Ostia Antica (Italien). Nürnberger Blätter zur Archäologie 13, 1998, 85-106.
 - Duo- and Quadro-sensor Configuration for High Speed/High Resolution Magnetic Prospecting with Caesium Magnetometer. Arbeitsh. Bayer. Landesamt f. Denkmalpfl. 108, 1999, 100-105.
 A. Clark: Seeing beneath the soil - prospecting methods in archaeology. London (1990).
 M. Doneaus und W. Neubauer: Archäologische Prospektion in Österreich. Archäologie Österreichs, Sonderausgabe 1997, 19-33.

- A. Eder-Hinterleitner, W. Neubauer und P. Melichar: Reconstruction of archaeological structures using magnetic prospection. *Analecta praehistorica Leidensia* 28, 1996, 131-137.
- J.W.E. Faßbinder, H. Stanjek and H. Vali: Occurrence of magnetic bacteria in soil. *Nature* 343, 1990, 161-163.
- J.W.E. Faßbinder, W.E. Irlinger (eds.): *Archaeological Prospection*. Arbeitsh. Bayer. Landesamt f. Denkmalpfl. 108, 1999.
- A. Hesse: *Prospections géophysiques a faible profondeur. Applications à l'archéologie*. Paris (1966).
- C.M. Lerici: *I nuovi metodi di prospezione archeologia alla scoperta delle civiltà sepolte*. Milano 1961
- E. Le Borgne: *Les propriétés magnétiques du sol. Application à la prospection des sites archéologiques*. *Archaeo-Physika* 1, 1-20, 1965
- W. Neubauer: *Geophysikalische Prospektion in der Archäologie*. *Mitt. Anthrop. Ges.* 120, 1990, 1-60.
- I. Scollar, A. Tabbagh, A. Hesse und I. Herzog: *Archaeological prospecting and remote sensing*. Cambridge: Cambridge University Press (1990)
- Stümpel, H: „*Untersuchungen in KUSAKLI 1992-1995, geophysikalische Prospektion*“, *Mitt. Deutsche Orient Ges.*, 127, 1995, 5-36
- B. Zickgraf: *Geomagnetische und elektrische Prospektion in der Archäologie*. *Internationale Archäologie, Naturwissenschaft und Technik* 2, 1999.