

GEOPHYSIKALISCHE PROSPEKTION – EIN BEITRAG ZUR REKONSTRUKTION DES SEEHOFER PARKS

Heute unsichtbare archäologische Strukturen lassen sich häufig durch geophysikalische Methoden erkunden. Der Erfolg jeder geophysikalischen Prospektion beruht auf einem meßbaren Unterschied der physikalischen Eigenschaften eines Zielobjektes und seiner Umgebung. Von der Intensität des Kontrastes hängt die Deutlichkeit ab, mit der die archäologische Struktur sichtbar gemacht werden kann. Als Prospektionsmethoden stehen uns in erster Linie die Widerstandskartierung sowie die Magnetometerprospektion zur Verfügung. Letztere ist derzeit die effektivste Technik, da sie im Gegensatz zu den anderen Verfahren (unabhängig vom Wassergehalt des Bodens) Feuerstellen, Mauerreste, Gräben und Gruben, Palisadenspuren, Baumsetzungen sowie Wegeführungen durch ihre spezifischen magnetischen Eigenschaften detektieren kann.

Obwohl diese Methode in der archäologischen Prospektion mit großem Erfolg angewandt wurde, kam sie bisher sehr selten bei der Untersuchung ehemaliger Gartenstrukturen zum Einsatz. Der Grund dürfte in der Annahme liegen, daß diese Strukturen keine oder nur vage Spuren im Boden hinterlassen. Hinzu kommt, daß die Flächen in der Regel stark bewachsen, mit Gebäuden überbaut oder durch technische Anlagen wie Wasser- oder Stromleitungen gestört sind. Eine erfolgreiche Prospektion wird durch diese äußeren Einflüsse häufig verhindert. Neue Arbeiten zur Gartenarchäologie konzentrieren sich daher zumeist auf topographische oder historische Quellen. Nur wenige stützen sich auf Ergebnisse, die durch Luftbilder oder durch geophysikalische Methoden gewonnen werden konnten.

Im Sommer 1996 ergab sich die Möglichkeit einer ersten Testmessung im Gartenareal von Schloß Seehof. Ziel war es, ehemalige Gartenstrukturen, wie sie nach dem sog. Seinsheimplan von 1770 (S. 67, Abb. 3) und dem sog. Frankfurter Plan von 1773 (S. 68, Abb. 4) zur Ausführung gekommen waren, zu verifizieren bzw. das, was davon noch als Spur im Boden erhalten ist. Das Unternehmen war zunächst mit Skepsis betrachtet worden, denn bis dahin war keine einzige erfolgreiche Prospektion aus der Literatur bekannt und die Anlage von Pflanzungen im Oberboden sollte kaum oder nur geringe Spuren im Magnetfeld hinterlassen. Gerade die Erfahrungen in der archäologischen Prospektion beweisen ja, wie wenig der Nachweis archäologischer Strukturen durch den Jahrhunderte dauernden landwirtschaftlichen Feldbau gestört wird. Andererseits hatte jedoch bereits 1990 die Abteilung Bodendenkmalpflege erste Gartengrabungen durchgeführt und dabei historische Strukturen freigelegt. Waren aber Gartenstrukturen in einer archäologischen Grabung zu belegen, so dürften sie auch einer geophysikalischen Prospektion nicht verborgen bleiben.

Die Geophysik bietet der Archäologie bzw. der Gartenarchäologie im wesentlichen drei Prospektionsverfahren, die Magnetometerprospektion, die elektrische Kartierung sowie die Radarprospektion.

DIE MAGNETOMETERPROSPEKTION

Die Magnetometerprospektion ist generell auf einen Kontrast bzw. einen Unterschied in der Magnetisierung (remanente Magnetisierung) und der Magnetisierbarkeit (magnetische Suszeptibilität) zwischen ungestörtem Boden und der archäologischen Struktur, in diesem Fall der ehemaligen Gartenstruktur, angewiesen. Sowohl die Remanenz als auch die magnetische Suszeptibilität bestimmen die Intensität der meßbaren Magnetfeldanomalie über dem Boden. Für den Unterschied in der Magnetisierung bzw. der Magnetisierbarkeit sind im wesentlichen die Minerale Maghemit und Magnetit verantwortlich.

Die obersten Bodenschichten weisen allgemein einen höheren Anteil magnetischer Minerale auf als die jeweiligen Unterböden, denn hier werden die magnetischen Eisenoxide Maghemit bzw. Magnetit neu gebildet. Ersterer entsteht durch den natürlichen Gebrauch von Feuer. Magnetit dagegen wird in den humusreichen Oberböden durch magnetische Bakterien gebildet. Deren sog. Magnetofossilien reichern sich im A-Horizont von Böden an. Beide Minerale gelangen beispielsweise durch den Aushub einer Pflanzengrube oder Wegebau in die tieferen Bodenschichten und bilden einen magnetischen Kontrast zum ungestörten Boden.

Zur Magnetometerprospektion verwendet das Referat Archäologische Prospektion und Luftbildarchäologie im Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege das hochempfindliche Cäsium Magnetometer CS2 der Firma Scintrex und der Firma Picodas aus Kanada (Abb. 3). Das optisch gepumpte Magnetometer hat gegenüber den herkömmlichen Protonen- oder Fluxgate-Magnetometern wesentliche Vorteile. Die Empfindlichkeit der Apparatur liegt bei +/- 10 pico (10^{-12}) Tesla. Zum Vergleich: Die Stärke des natürlichen Erdmagnetfeldes variiert in unseren geographischen Breiten von ca. 46 000-48 000 nano (10^9) Tesla. Das Gerät wurde vom Referat Archäologische Prospektion und Luftbildarchäologie speziell für den Einsatz in der archäologischen Prospektion modifiziert. Mit dieser Empfindlichkeit lassen sich selbst geringe Mengenunterschiede magnetischer Minerale in Bodenschichten (Bereich von 10^6 Gewichtsprozent Magnetit) registrieren. Damit Eisenoxide und -hydroxide vom menschlichen Auge als farbgebend wahrgenommen werden, müßten sie dagegen Konzentrationen von nahezu einem Gewichtsprozent aufweisen. Bezüglich der farblichen Unterscheidung verschiedener Bodenschichten

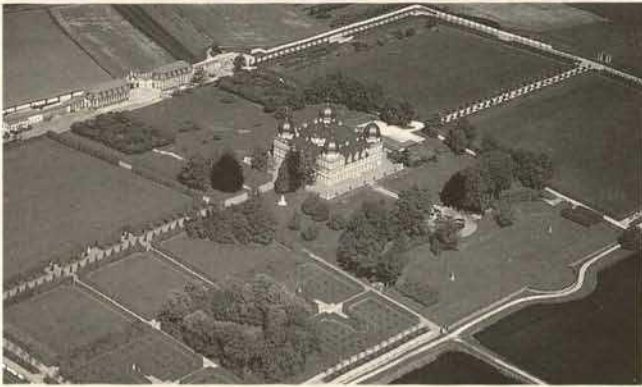


Abb. 1 und 2, Seehofer Parkanlage von Südwesten, Luftbilder

Abb. 3, Meßapparatur für die Magnetometerprospektion: Der Geräteaufbau zeigt den unmagnetischen Holzwagen mit dem Magnetometer. Über ein Kabel ist die Meßsonde mit der Stromversorgung und einem Computer zur Datenaufzeichnung verbunden.



ist damit die Magnetometrie einer Grabung überlegen. Das erklärt auch eine vielfach beobachtete Abweichung zwischen Grabungsbefund und Ergebnis der magnetischen Prospektion.

Neben der großen Empfindlichkeit ist die Meßgeschwindigkeit ein weiterer wesentlicher Vorteil des Geräts. Es ermöglicht relativ große Flächen mit einer großen Meßpunktdichte in kürzester Zeit zu vermessen. So wurde beispielsweise die gesamte als Wiese genutzte Fläche des Seehofer Labyrinth-Quartiers (ca. 4 ha) in etwa zwei Tagen in einem Meßpunktabstand von nur 25 x 50 cm untersucht.

Zur Aufzeichnung der Magnetfeldstörungen kam das Cäsium-CS2-Magnetometer in der sog. Dou-Sensor-Konfiguration zum Einsatz. In einem Meßraster von 20 x 20 cm und mit einem Profilabstand von 50 cm werden zwei Sonden in einer Höhe von 30 cm parallel über dem Boden geführt (Abb. 3). Beide Sonden werden zur Aufzeichnung der gartenarchäologisch bedingten Magnetfeldstörung genutzt. Auf eine Basissonde wird verzichtet, indem man die natürliche Variation des Erdmagnetfeldes durch eine Reduktion auf das Quadrantenmittel rechnerisch berücksichtigt und eliminiert. Die Daten – im Meßzyklus von 1/5 sec. gespeichert – werden in Profilrichtung mittels eines Resamplingprogrammes rechnerisch auf die 25 cm Marke gesetzt. Zur Bildverarbeitung werden den invertierten Daten Grauwerte von 0 = schwarz bis 255 = weiß zugeordnet. Eine Weiterverarbeitung mit speziellen Filterverfahren "desloping, edgematch, und median", erfolgt mit dem Programm Geoplot und Incos (von den Firmen Geoscan, Bradford und Signum, München). Dies ermöglicht es, etwa 96% aller Meßdaten in einem Wertebereich von +/- 5000 n Tesla in 256 Graustufen darzustellen. Jede Graustufe entspricht damit einem Wert von 30 pico Tesla. Die Geräteempfindlichkeit kann so im Wesentlichen auch für das Auge sichtbar gemacht werden. Das Magnetogramm dient als Grundlage zur Interpretation und Darstellung der Ergebnisse in einer digital geführten Karte.

DIE ELEKTRISCHE PROSPEKTION

Die Methode der elektrischen Kartierung beruht auf der Messung des scheinbaren spezifischen Widerstands. So hat im Idealfall beispielsweise ein lehmiger Boden einen um den Faktor 100 niedrigeren Wert als Kalkstein oder Sandstein. Diese Methode kommt vorzugsweise dann zur Anwendung, wenn Mauerreste oder Fundamente im Boden zu erwarten sind. Allerdings ist die Messung naturgemäß stark von der Bodenfeuchte abhängig, d.h. durch einen kurzen sommerlichen Gewitterregen kann ein Meßvorhaben stark beeinträchtigt oder ganz vereitelt werden.

Für die elektrische Prospektion kam das Widerstandsmeßgerät der RM-15 (Firma Geoscan, England) zur Anwendung. Über zwei Elektroden wird Strom in den Boden eingespeist. Aus der Spannung, dem eingespeisten Strom und den Sondenabständen läßt sich der sog. scheinbare, spezifische elektrische Widerstand des Bodens mit zwei weiteren Elektroden bestimmen. (Der Begriff «scheinbar» wird gebraucht, weil durch Inhomogenitäten im Boden der Meßwert immer über einen bestimmten Bereichen integriert wird). Die geometrische Anordnung der vier Elektroden erfolgte in einer sog. Zweipol-Anordnung. Dabei wird eine Strom- und eine Potentialelektrode im «Unendlichen» (prak-

tischerweise in einer Entfernung von ca. 50 m) positioniert. Zur Messung werden zwei Elektroden, die an einem Rahmen im festen Abstand von 50 cm montiert sind, nach der jeweiligen Messung systematisch um jeweils 50 cm in einem 20 x 20 m Raster versetzt. Damit erhält man auf einem Areal von 20 x 20 m 1600 Meßwerte und zugleich eine hinreichende Auflösung der Strukturen im Boden.

Die Visualisierung der Daten erfolgt wie in der Magnetik als Graustufenbild mit dem Bildverarbeitungsprogramm Geoplot (von Geoscan). Hohe Werte (dunkel) finden sich über Mauerresten, während sich der umgebende Boden durch eine hellere Grautönung darstellt. Anders als bei der Magnetik werden sog. high pass filter dazu eingesetzt, natürliche Unterschiede in der Bodenfeuchte auszugleichen, wie sie sich beispielsweise aus unterschiedlichem Bewuchs (unter Bäumen erhält man hohe Widerstandswerte durch die Evaporation) oder durch den Tagesgang der Sonne ergeben.

DIE RADARPROSPEKTION

Das Radarverfahren erfordert einen großen apparativen Aufwand und ist deshalb zugleich das teuerste Prospektionsverfahren für die Archäologie. Es stellt aber oft die einzige Möglichkeit dar, um Informationen über Strukturen unter versiegelten Flächen zu erhalten. Es bleibt jedoch vielfach in seinen Einsatzmöglichkeiten auf diese speziellen Fragestellungen beschränkt. Allgemein stellt sich bei der Radarmessung das physikalische Problem wie bei der Optik: Bei großer Eindringtiefe (2-3 m) ergibt sich eine geringe räumliche Auflösung bzw. umgekehrt, bei hinreichender Auflösung eine geringe Eindringtiefe. Für eine exakte Tiefenabschätzung müßten zuvor die physikalischen Eigenschaften des Bodens wie die Dielektrizitätskonstante bekannt sein. Für eine großflächige (d.h. mehr als ein Hektar) und gleichzeitig detaillierte Prospektion in einem vertretbaren Zeit-, Geld- und Geräteaufwand kann daher nur die Magnetometerprospektion und mit Einschränkungen die elektrische Methode in Frage kommen.

ERGEBNISSE DER PROSPEKTION IN DER GARTENANLAGE VON SCHLOSS SEEHOF

Die Gartenanlage mit einer west-östlichen Ausdehnung von etwa 600 m und einer nord-südlichen von 350 m ist in sechs etwa gleich große Quadrate unterteilt. Wie auf Luftbildern (Abb. 1 und 2) sehr schön zu sehen, befindet sich das Schloß im Mittelpunkt und zugleich auf der höchsten Erhebung eines von allen Seiten leicht ansteigenden Geländes.

MAGNETOMETERPROSPEKTION IM LABYRINTH-QUARTIER VON SCHLOSS SEEHOF

Im nordwestlichen Bereich der Gartenanlage befindet sich das Labyrinth-Quartier. Die gesamte Innenfläche mit etwa 150 x 180 m konnte im Frühjahr 1997 prospektiert werden. Das Ergebnis wird stark von drei großen Anomalien im Zentralbereich der Fläche dominiert. Hier handelt es sich um Eisenreste, aufgrund derer andere Baustrukturen nicht mehr sichtbar gemacht werden konnten.

Daneben bilden sich eine schon auf Luftaufnahmen unseres Archivs sichtbare Wasserleitung mit drei Kanaldeckeln

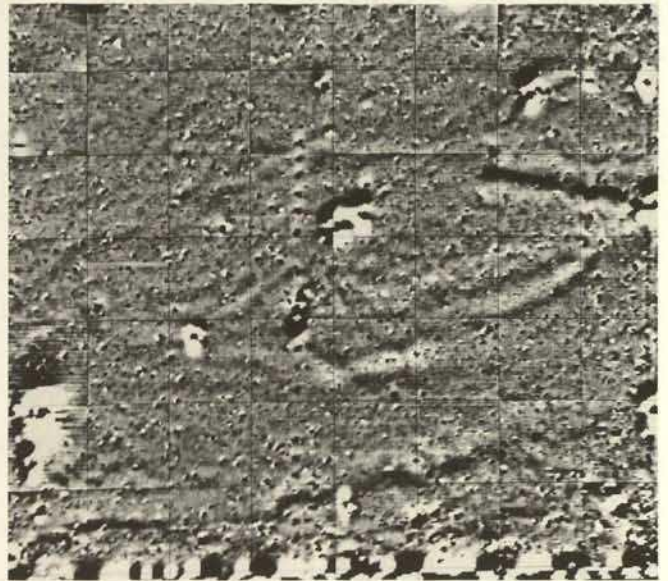


Abb. 4. Schloß Seehof, Magnetogramm der Meßfläche auf dem sog. Labyrinth-Quartier, Cäsium-CS2-Magnetometer, Duo-Sensor-Anordnung, high pass filter, Dynamik +/- 3.5 nT in 256 Graustufen, Empfindlichkeit +/- 10 pT, Meßpunktabstand 50 x 25 cm, Gitter, Mag.-Nr. 6130/009 (oben und unten)

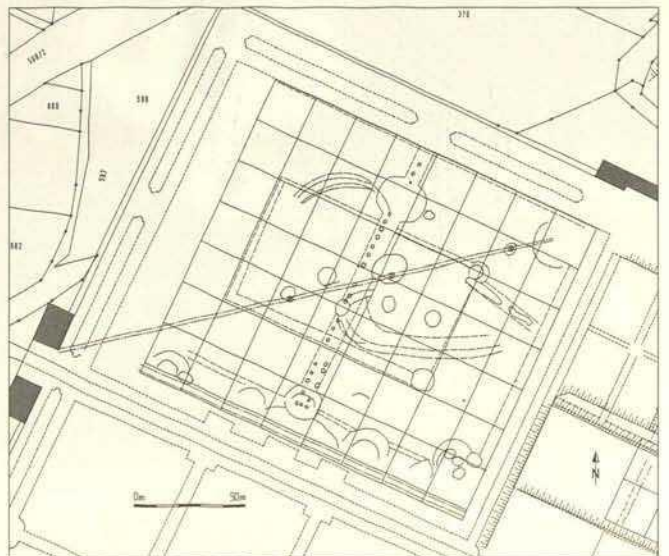


Abb. 5. Schloß Seehof, digital geführter Planausschnitt mit Interpretation der Meßergebnisse auf dem Labyrinth-Quartier

als weitere Störungen ab. Auch im südlichen Randbereich, parallel zum Hauptweg, machen sich eisenhaltige Baustrukturen oder Rohrleitungen entweder mit ihren Ziegelrohren oder durch Eisenarmierungen störend bemerkbar und verhindern auf einer Breite von nahezu 12 m detailliertere Aussagen. Bei genauer Auswertung erkennt man dennoch eine Vielzahl von gartenarchitektonischen Strukturen (Abb. 4 und 5). Im Norden und Süden der Fläche ist eine bogenförmige Struktur auszumachen, die eventuell auf ehemalige Wegstrukturen zurückzuführen ist. Sehr deutlich sind im Magnetogramm dagegen die Spuren einer nord-süd verlaufenden Baum- oder Pflanzreihe zu erkennen, die das Labyrinth-Quartier in zwei gleiche Hälften teilt (Abb. 4). Die Pflanzgruben weisen einen Abstand von etwa 4 Metern auf. Während die bogenförmigen Strukturen sowie die starken, auf Baustrukturen hindeutenden Anomalien sich mit den Gartenanlagen aus dem Seinsheim- und Frank-

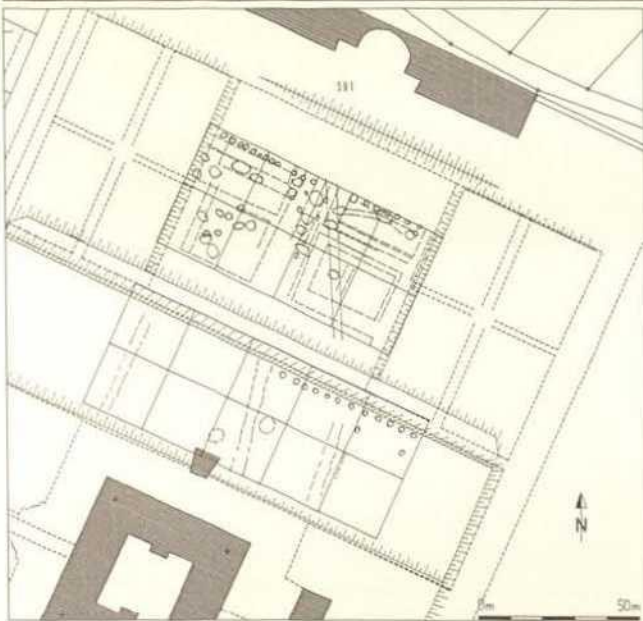
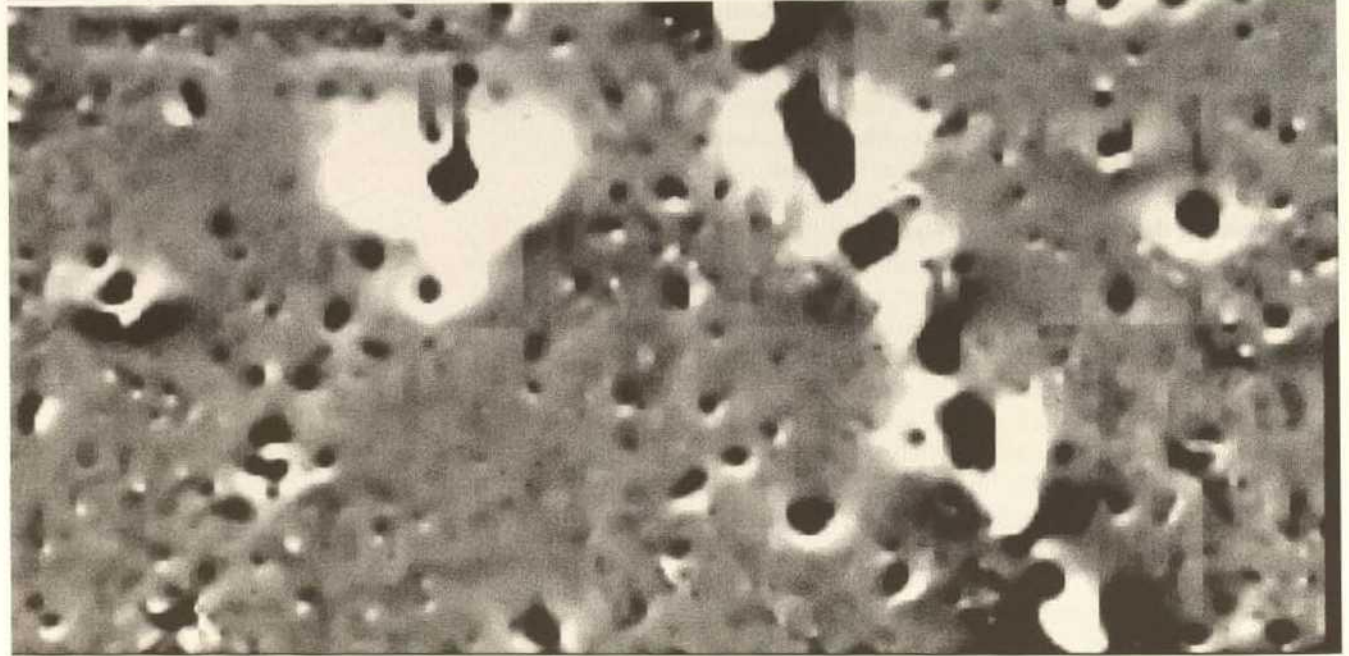
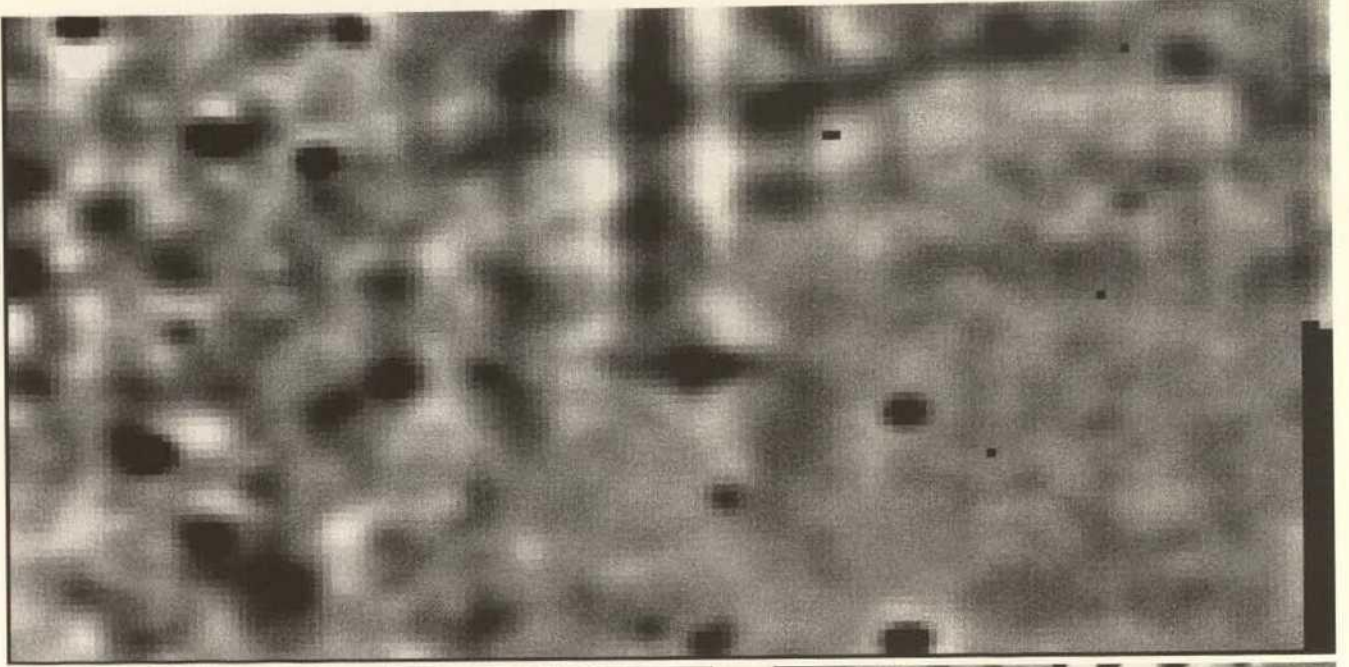


Abb. 6. Schloß Seebf, Ergebnis der Widerstandskartierung auf dem Orangerie-Quartier, Resistivity-Meter RM15 (Geoscan), Twin Probe Array, Dynamik 20-35 Ohm-meter in 256 Graustufen, Empfindlichkeit ± 0.1 Ohm, Meßpunktabstand 50×50 cm, 20 m Gitter, Res.-Nr. 6130/009

Abb. 7. Schloß Seebf, Magnetogramm-Ausschnitt der gleichen Meßfläche auf dem Orangerie-Quartier, Cäsium-CS2-Magnetometer, Duo-Sensor-Anordnung, Dynamik ± 3.5 nT in 256 Graustufen, Empfindlichkeit ± 10 pT, Meßpunktabstand 50×25 cm, 20 m Gitter, Mag.-Nr. 6130/009

Abb. 8. Schloß Seebf digital geführter Planausschnitt mit der Interpretation der kombinierten Auswertung aus der Widerstandskartierung und dem Magnetogramm auf dem Orangerie-Quartier

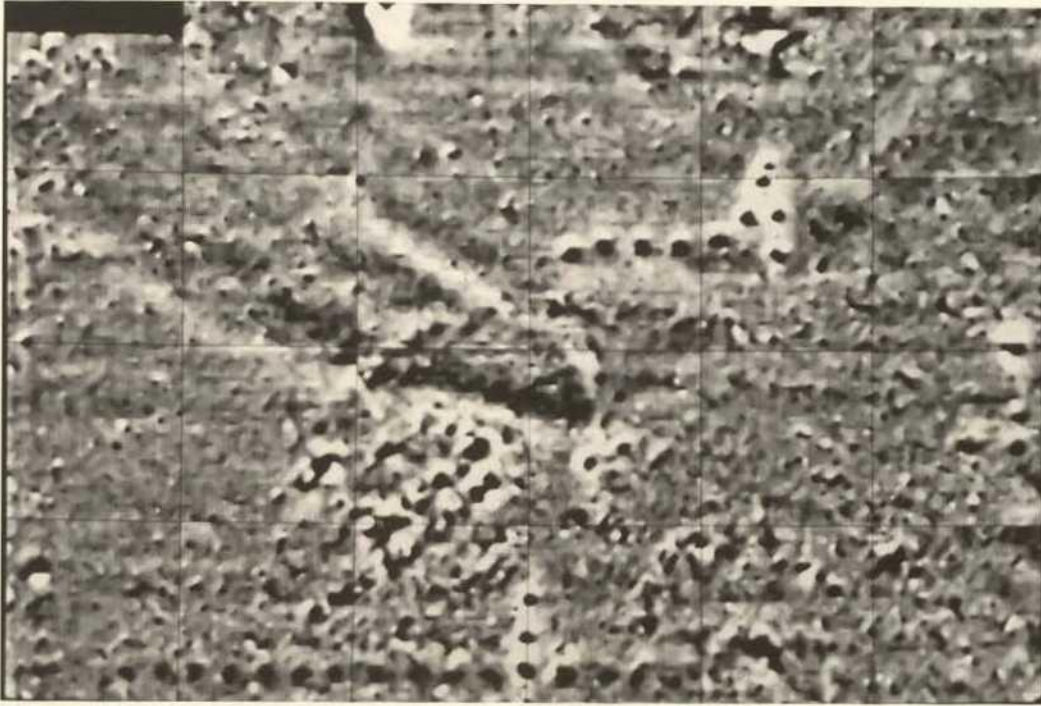


Abb. 9. Schloß Seebhof, Magnetogramm-Ausschnitt der Meßfläche auf dem Südost-Quartier, Cäsium-CS2-Magnetometer, Duo-Sensor-Anordnung, Dynamik +/- 5.0 nT in 256 Graustufen, high pass filter, Empfindlichkeit +/- 10 pT, Meßpunkt-abstand 50 x 25 cm, 20 m Gitter, Mag.-Nr. 6130/009

furter Plan in Verbindung bringen lassen, läßt die Pflanzreihe eher auf einen einfachen Aufbau analog den beiden Nordost- und Südostquartieren schließen, wie er im Gesamtplan des Seehofer Parks von Sebastian Jacob 1803 wiedergegeben ist.

MAGNETOMETERPROSPEKTION UND WIDERSTANDSKARTIERUNG IM ORANGERIE-QUARTIER UND AUF EINER TERRASSE NÖRDLICH DES SCHLOSSES

Nördlich des Schlosses schließt sich das Orangerie-Quartier an. Es ist in mehreren Stufen terrassiert und war gemäß dem Seinsheim-Plan und dem Frankfurter Plan auch mit verschiedenen Treppenanlagen versehen. Zur Prospektion wurden hier sowohl das Widerstandsmeßgerät als auch die Magnetometrie eingesetzt. Die Hangbereiche mit den vermuteten Treppenanlagen konnten aus physikalischen Grün-

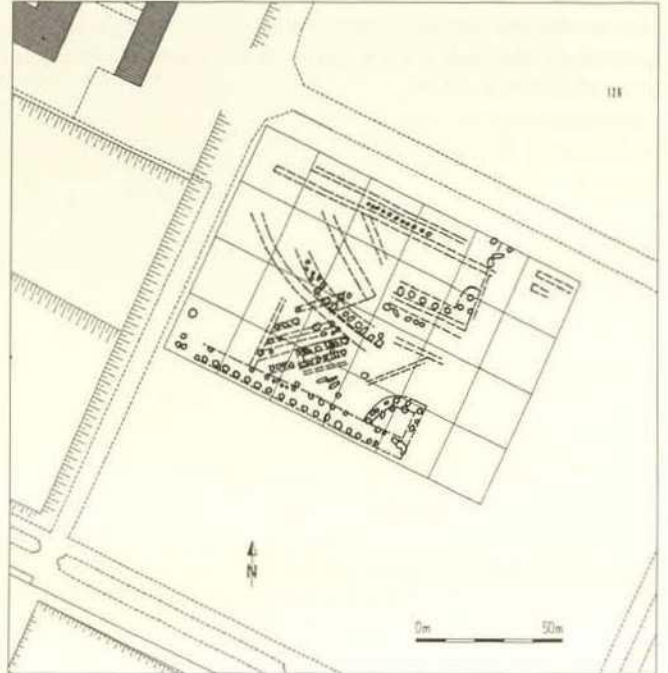


Abb. 10. Schloß Seebhof, digital geführter Planausschnitt mit der Interpretation der Meßergebnisse auf dem Südostquartier

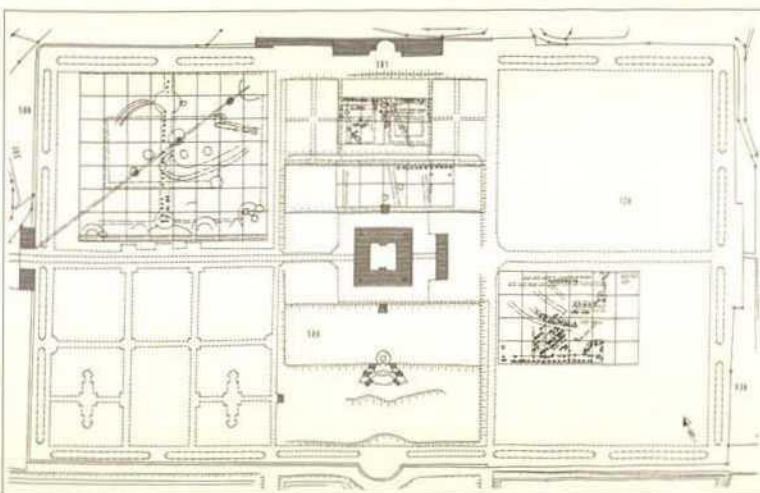


Abb. 11. Schloß Seebhof, digital geführter Plan der Parkanlage mit der Interpretation der Ergebnisse aus der geophysikalischen Prospektion von 1996 und 1997, Plan-Nr. 6130/009-258

den nicht prospektiert werden, ebenso wie der dichte Lindenbewuchs im Ost- und Westteil des Quartiers. Im nördlichen Bereich der Orangerie kamen beide Prospektionsmethoden zum Einsatz. Sie enthüllten hier eine ostwest und nordsüd verlaufende Pflanzreihe, die die Fläche teilt (Abb. 6/7/8). Die Widerstandskartierung belegt dabei besonders gut eine ehemalige Baustruktur entlang der Nordsüd-Achse von der Orangerie zum Schloß (vgl. Abb. 6). Die diagonal querenden Störungen, die nur im Magnetogramm sichtbar werden, lassen auf eine Wasserleitung schließen. Die Meißfläche auf der zum Schloß angrenzenden Terrasse (ohne Abbildung) war ebenfalls, wie zu erwarten, stark durch Leitungen und Eisenteile gestört. An seiner nordöstlichen Terrassenkante läßt sich dennoch sehr schön eine Pflanzreihe (Abstand etwa 3,6 Meter) nachweisen (Abb. 8).

MAGNETOMETERPROSPEKTION AUF DEM WEG ZUR KÄSEREI

Eine Verlängerung der Symmetrieachse des Parks führt nach Osten zur Käseerei. Auf dem ehemaligen Weg sollte eine kleine Testmessung die Abstände der Baumpflanzungen klären. Das Ergebnis zeigt hier neben der Wegespur aber auch eindeutig archäologische Strukturen (Abb. 12). Im Magnetogrammausschnitt sind Spuren einzelner Hausgrundrisse auszumachen. Aufgrund ihrer Orientierung können sie deutlich von den Spuren der Gartenarchitektur unterschieden werden.

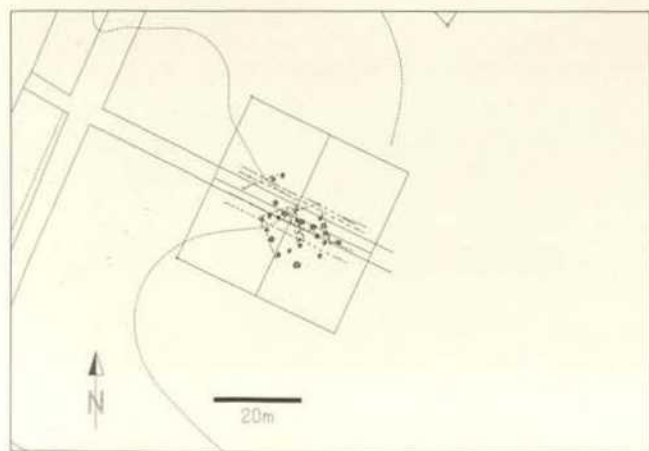


Abb. 12. Schloß Seehof, digital geführter Planausschnitt mit der Interpretation der Magnetometermessung auf dem Weg zur Käseerei

MAGNETOMETERPROSPEKTION IM SÜDOSTQUARTIER

Im Areal der beiden Ostquartiere waren eigentlich die wenigsten Spuren zu erwarten, denn hier hatte die Fläche vom

LITERATUR

- A. Aspinall, J.A. Pocock, Geophysical Prospection in Garden Archaeology: An Appraisal and Critique Based on Case Studies, in: *Archaeological Prospection*, 2, 1995, p. 61-84.
 H. Becker, From Nanotesla to Picotesla, a New Window in Magnetic Prospecting in Archaeology, in: *Archaeological Prospection*, 2, 1995, p. 217-228.
 M.A. Cole, A.E.U. David, N.T. Linford, P.K. Linford and A.W. Payne, Non-destructive Techniques in English Gardens: Geophysical Prospecting, in: *Journal of Garden History*, 17, 1997, p. 26-39.
 J.W.E. Faßbinder, H. Stanjek and H. Vali, Occurrence of Magnetic Bacteria in Soil, in: *Nature* 343, 1990, p. 161-163.
 J.W.E. Faßbinder and H. Stanjek, Occurrence of Bacterial Magneti-

te in Soils from Archaeological Sites, in: *Archaeologia Polona*, 31, 1993, p. 117-127.
 E. Le Borgne, Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel, in: *Annales Géophysiques*, 11, 1955, p. 399-419.
 C.E. Mullins, Magnetic Susceptibility of Soils and its Significance in Soil Science - a Review, in: *Journal of Soil Science*, 129, 1977, p. 223-246.
 M. Petzet, Seehof Palace and Park. History and Restoration, in: *Denkmalpflege Informationen* Ausgabe D, Nr. 20/12. Sept. 1993.
 H. Stanjek, The Formation of Maghemite and Hematite from Lepidocrocite and Goethite in a Cambisol from Corsica, in: *Zeitschrift für Pflanzernährung und Bodenkunde*, 150, 1987, S. 314-318.

ZUSAMMENFASSUNG

Am Beispiel der Gartenanlage von Schloß Seehof wurden die Möglichkeiten einer geophysikalischen Prospektion in historischen Gärten aufgezeigt. Sie lieferte ein überraschend detailliertes Bild zur Baumsetzung und Wegeführung sowie die genaue Lokalisierung ehemaliger Gartenstrukturen. Dort, wo sich Leitungen und Eisenteile im Boden verbergen, ist eine detailliertere Interpretation schwierig oder nicht möglich. Die geophysikalische Prospektion belegt, daß weite Teile der Gartenanlage von Schloß Seehof zumindest in ihren Grundzügen im Boden erhalten sind. Das Ergebnis, im Gesamtplan (Abb. 11) dargestellt, bietet einen Überblick über die Verteilung und Lage der noch vorhandenen, aber unsichtbaren Strukturen. Eine zeitliche Zuordnung läßt sich jedoch mit der Prospektion nicht immer eindeutig und sicher leisten. So muß beispielsweise unsicher bleiben, ob die Pflanzungen im Labyrinth-Quartier vor der Ausführung des Seinsheim-Plans oder erst im 19. Jahrhundert angelegt wurden. Auch bei einigen Strukturen im Südostquartier bleibt unklar, ob sich alle Strukturen auf die Gartenanlage allein beziehen, oder ob sich hier nicht noch weitere archäologische Strukturen zeigen. Dort, wo sich überlagernde Strukturen in ihrer Ausrichtung unterscheiden, wie auf dem Weg zur Käseerei, lassen sich auch zeitliche Unterscheidungen belegen.

Das Beispiel einer geophysikalischen Prospektion der Gartenanlage des Seehofer Parks, aber auch die Beispiele erfolgreicher Prospektionen, die kürzlich in zwei englischsprachigen Publikationen vorgelegt wurden, belegen, welche Möglichkeiten diese zerstörungsfreie Methode für den Nachweis von Gartenstrukturen eröffnet und welche Chancen sie für die Rekonstruktion von Parkanlagen bietet.