

„Geophysikalische Erkundung frühmittelalterlicher
Siedlungskammern - Messtechnik, Datenmodellierung und
archäologische Interpretation“

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
vorgelegt von

Johannes Frenzel

Kiel 2014

Erstgutachter: Prof. Dr. C. von Carnap-Bornheim

Zweitgutachter: Prof. Dr. W. Rabbel

Tag der mündlichen Prüfung: 14.11.2014

Zum Druck genehmigt: 14.11.2014

Zusammenfassung

Im Rahmen des DFG Projektes „Suzdal und Mohovoe/Wiskiauten - Prospektion und Erforschung frühmittelalterlicher Siedlungskammern im Kaliningrader Gebiet und in Westrussland“ wurden auf dem Fundplatz Mohovoe/Wiskiauten (Kaliningrader Oblast, Russland) großräumig geomagnetische Messungen zur Lokalisierung des Siedlungsplatzes durchgeführt. Die anschließende Schnellerkundung der dabei registrierten Anomalien mit einem Pürckhauer-Bohrer und die gezielte Ausgrabung einzelner Anomalien ließen allerdings erkennen, dass eine rein optische Interpretation der geophysikalischen Felddaten aus archäologischer Sicht schwierig und eine genauere Analyse von Nöten ist. In der vorliegenden Arbeit werden daher tiefergehende analytische Methoden entwickelt, die eine tatsächliche archäologisch relevante Interpretation von Geomagnetikdaten ermöglichen, und deren Ergebnisse in Bezug auf die in Mohovoe/Wiskiauten vorgenommenen Prospektionen und Grabungen vorgestellt. Darüber hinaus werden verschiedene Aspekte der Analysemöglichkeiten für die Fundplätze Suzdal in Russland, Apuolė und Kernavė in Litauen oder Grobiņa in Lettland vorgestellt.

Eine automatisierte Detektion von Anomalien in den vorhandenen Geomagnetikdaten wurde verwirklicht durch Verwendung der zwei Funktionen Slope-Analyse und Fuzzy-Membership-Analyse der Software ArcGIS der Firma Esri. Während mit der Slopemethode vor allem Metallgegenstände aus den Geomagnetikbildern herausgefiltert werden konnten, ermöglichte die Fuzzy-Membership-Methode die generelle Erkennung von geomagnetischen Anomalien im Bild. Eine anschließende statistische Analyse der gefundenen Anomalien zusammen mit der Betrachtung einer Kombination von archäologischen Vorabinformation, wie z. B. der Verteilung von Oberflächenfunden und Bohrerergebnissen, ließ schließlich Rückschlüsse zu auf Fundplatzgrenzen sowie auf verschiedene Aktivitätsbereiche innerhalb der Fundplätze.

Neben diesen Ergebnissen stellte sich aber auch heraus, dass unter Verwendung bereits erfasster und interpretierter Geomagnetikdaten auch weitere, noch unbekannte Anomalien zu einer hohen Wahrscheinlichkeit identifiziert und einer Kategorie zugewiesen werden können. Dies geschieht mithilfe einer Kreuzkorrelation und ist ein zusätzliches Resultat dieser Arbeit, welches für zukünftige archäologische Untersuchungen nicht außer acht gelassen werden sollte.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Methoden und Ergebnisse zeigen grundlegende Möglichkeiten, geophysikalische Prospektionsergebnisse über die optische Ansprache hinaus bei der Interpretation archäologischer Fundstellen miteinzubeziehen. Basierend auf den hier vorgestellten Ergebnissen lassen sich optimale Strategien zu einer effizienten Erkundung weiterer archäologisch relevanter Flächen ableiten.

Abstract

In the context of the DFG-Project "Suzdal and Mohovoe/Wiskiauten – geophysical prospection and comparison of data from Early Medieval settlements in the Kaliningrad area and in Western Russia" large-scale geomagnetic measurements have been carried out at the site of Mohovoe/Wiskiauten (Kaliningrad region, Russia) in order to locate the settlement area. The following exploration of the registered anomalies with a Pürckhauer-drilling equipment and the targeted excavation of single anomalies have indicated, that the optical interpretation of the geophysical field data from an archaeological point of view is difficult and a more precise analysis of the data is needed. In the present paper therefore in-depth analytical methods have been developed, that allow an effective archaeological relevant interpretation of geophysical data. The results are presented concerning the prospection and excavation data in Mohovoe/Wiskiauten. In addition the different aspects of interpreting the data are transferred to some other archaeological sites, i. e. Suzdal in Russia, Apuolė and Kernavė in Lithuania or Grobiņa in Latvia.

An automated detection of anomalies within the geomagnetic data was realized by using the two functions slope-analysis and fuzzy-membership-analysis with help of the software ArcGIS from the firm Esri. While the slope-analysis above all made it possible to filter out metal objects, the fuzzy-membership-analysis allows the general detection of geomagnetic anomalies in the image. A following statistical analysis of the recognized anomalies combined with the archaeological information such as find contribution on the surface or drilling results helped to detect borders or different activity areas of the sites.

Furthermore the mathematical analysis of the geophysical data in combination with the archaeological results allows the identification and interpretation of so far unexamined anomalies by using a cross correlation.

The presented methods and results show basic possibilities of including geophysical prospection data into the interpretation of archaeological sites beyond the optical analysis. Based on the given results optimal strategies for an efficient prospection of further archaeological sites can be derived.

Inhaltsverzeichnis

TEIL I: GRUNDLAGEN	1
1 EINLEITUNG.....	1
2 GEOPHYSIKALISCHE PROSPEKTIONSMETHODEN IN DER ARCHÄOLOGIE.....	4
2.1 Geomagnetik.....	4
2.2 Georadar (GPR).....	7
2.3 Geoelektrik.....	9
2.4 Suszeptibilitätsmessungen.....	11
3 DATENGRUNDLAGE UND MESSTECHNIK.....	13
3.1 Magnetometer.....	14
3.2 Georadar.....	15
3.3 Geoelektrik.....	15
3.4 Suszeptibilität.....	15
3.5 Positionsbestimmung.....	16
4 VERWENDUNG VON GEOPHYSIKDATEN.....	17
4.1 Vorgehen: Messen, Bohren, Graben.....	17
4.1.1 Kartieren und Bohren.....	17
4.1.2 Grabungen.....	18
4.1.3 Beispiele.....	18
4.2 Analyse der Magnetikdaten.....	20
4.2.1 Automatisierte Markierung der Anomalien.....	20
4.2.2 Metallschrott? Nein danke!.....	24
4.2.3 Dichteverteilung.....	25
4.2.4 Klassifizierung.....	26
4.2.5 Zusammenfassung.....	27
TEIL II: ANWENDUNGSBEISPIELE	29
5 WISKIAUTEN (RUSSLAND).....	29
5.1 Das Denkmal.....	30

5.2	<i>Datenaufnahme und Zielsetzung</i>	31
5.2.1	Geomagnetik	32
5.2.2	Georadar	47
5.2.3	Bohrungen	66
5.3	<i>Analyse der Daten</i>	71
5.3.1	Überprüfung der Kategorien	71
5.3.2	Geomagnetikdaten.....	72
5.3.3	Deutbare Anomalien.....	73
5.3.4	Betrachtung einzelner Kategorien.....	76
5.3.5	Korrelation aller Polygone mit allen Bohrergebnissen	79
5.3.6	Ergebnis	80
6	APUOLĖ (LITAUEN)	81
6.1	<i>Das Denkmal</i>	81
6.2	<i>Geophysikalische Prospektion</i>	82
6.2.1	Magnetik.....	83
6.2.2	Wallprofil	85
6.2.3	Burgplateau	88
6.3	<i>Ergebnis</i>	89
7	GROBIŅA (LETTLAND)	90
7.1	<i>Das Denkmal</i>	91
7.2	<i>Priediens II</i>	91
7.3	<i>Skābāržkalns</i>	94
7.4	<i>Ergebnis</i>	97
8	KERNAVĖ (LITAUEN)	98
8.1	<i>Das Denkmal</i>	98
8.2	<i>Kernavė 1</i>	99
8.3	<i>Kernavė 2</i>	101
8.4	<i>Kernavė 3</i>	103
8.5	<i>Ergebnis</i>	104
9	SUZDAL (RUSSLAND).....	106
9.1	<i>Das Denkmal</i>	106
9.2	<i>Geophysikalische Prospektion</i>	108
9.3	<i>Ves 5</i>	109
9.4	<i>Torki 4+5</i>	114
9.5	<i>Shekshovo 2</i>	117

9.6	<i>Karelskaya Slobodka 4</i>	120
9.7	<i>Ergebnis</i>	122
TEIL III: DISKUSSION		125
10	DIE BOHRERGERBNISSSE	125
11	PROSPEKTIONSMETHODEN BEI VERSCHIEDENEN FUNDPLATZKATEGORIEN	127
TEIL IV: ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK		131
TEIL V: ANHANG		133
12	PARAMETER	133
12.1	<i>Dichtekartierung (Tool: point density)</i>	133
12.2	<i>Fuzzy Analyse</i>	134
12.3	<i>Slope Analyse</i>	134
12.4	<i>Korrelationskoeffizient</i>	134
13	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	135
14	TABELLENVERZEICHNIS	139
15	DANKSAGUNG	140
16	LITERATURVERZEICHNIS	141
16.1	<i>Quellenangaben</i>	141
16.2	<i>Abkürzungen</i>	141
16.3	<i>Literatur</i>	141

Teil I: Grundlagen

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren hat der Einsatz zerstörungsfreier geophysikalischer Messungen an archäologischen Fundplätzen im Vorfeld oder im Zuge von Ausgrabungen deutlich zugenommen. Die neuen Messverfahren sind als grabungsbegleitende Untersuchungsmethode besonders in der archäologischen Siedlungsforschung kaum mehr wegzudenken.

Während aber die geophysikalische Prospektion von steinernen Siedlungsresten beispielsweise im Vorderen Orient oder im mediterranen Raum meist relativ eindeutige Ergebnisse liefern und vor dem Hintergrund der klar strukturierten Siedlungsareale und Stadtpläne vergleichsweise einfach zu interpretieren sind, stellt sich bei der Untersuchung frühmittelalterlicher Siedlungsplätze im nördlichen Europa ein ganz anderes Problem. Hier sind die Spuren menschlicher Siedlungen bestenfalls durch Grubenhäuser und Pfostenstellungen oder auch Abfallgruben, Werkplätze und Ofenanlagen repräsentiert, die sich aber wesentlich schwieriger in den geophysikalischen Messbildern erkennen und unterscheiden lassen. Die Erfahrung zeigt, dass die geophysikalischen Messergebnisse in Gesamtüberlegungen einbezogen werden und sich sehr gut eignen, um etwa Konzentrationen von Siedlungsobjekten zu identifizieren. Eine genauere Interpretation der oft zahlreichen regellos verteilten Anomalien aber ist nicht zuletzt aufgrund des Fehlens geeigneter Filterverfahren bislang meist ohne Ausgrabungen unmöglich. Das hohe Potential der geophysikalischen Kartierungen bleibt daher oft ungenutzt.

Vor dem Hintergrund der in den letzten Jahren an mehreren nordeuropäischen Siedlungsplätzen des ersten nachchristlichen Jahrtausends wie Wiskiauten (heute Mohovoe¹ im Kaliningrader Gebiet) und Suzdal in Russland, Kernavė und Apuolė in Litauen oder auch Grobiņa in Lettland durchgeführten Messungen, an denen sowohl das Institut für Geowissenschaften der CAU Kiel als auch das Archäologische Landesmuseum Schleswig beteiligt waren, werden in der Studie die geophysikalischen Datensätze der verschiedenen Fundplätze mit den bislang erzielten archäologischen Prospektions- und Grabungsergebnissen verglichen. Im besten Fall lassen sich dabei im Umkehr-

¹ In dieser Arbeit wird fast ausschließlich der Name Wiskiauten verwendet, unter dem der Fundplatz erstmals in der Literatur genannt wurde (vgl. WULFF 1865). Gleiches gilt für andere Fundplätze im Umfeld von Wiskiauten.

schluss Methoden und Verfahren entwickeln, um die Messdaten der Geophysik im Sinne einer besseren Vorhersagbarkeit für nachfolgende Ausgrabungen einfacher aufzubereiten.

Im ersten Teil der Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der Vorstellung der unterschiedlichen Messverfahren. Sie werden vor ihrem geophysikalischen Hintergrund erläutert und mit allgemeinen Beispielen belegt. Im Anschluss sollen bisherige Forschungs- und Interpretationsansätze zur Weiterbearbeitung der Bilder beispielsweise durch Filterprogramme und die daraus resultierenden Interpretationsmöglichkeiten diskutiert und durch Fallbeispiele belegt werden.

Im zweiten Teil der Arbeit stehen konkrete Fundplätze im Vordergrund. An mehreren Siedlungsplätzen des ersten Jahrtausends n. Chr. in Nordeuropa sind in der jüngsten Vergangenheit großräumige geophysikalische Messungen durchgeführt worden. Der Stand der Überprüfung der Messbilder durch Bohrungen oder Grabungen ist dabei an allen Plätzen unterschiedlich. Inwieweit die archäologischen Ergebnisse zur Wahl der Methode und zur anschließenden Interpretation der Daten beitragen kann wird untersucht. Besonders der frühmittelalterliche Fundplatz Wiskiauten stand seit dem Jahr 2005 im Mittelpunkt eines gemeinsamen Forschungsprojektes vom Institut für Geowissenschaften der CAU Kiel und des Archäologischen Landesmuseums Schleswig. In sieben Messkampagnen wurden 155 ha Fläche geomagnetisch prospektiert. Darüber hinaus wurden zehn Flächen mit einer jeweiligen maximalen Größe von 25 m x 10 m mit dem Georadar untersucht. Im Anschluss an die Messungen wurden gezielt 200 geomagnetische Anomalien mit einem Pürckhauer-Bohrstab angebohrt, um auf der einen Seite einen Überblick über die im Boden erfassten Strukturen zu erhalten und um auf der anderen Seite organisches Material für eine C14 Datierung zu gewinnen (von ca. 40 Proben liegen die Ergebnisse vor). Die Datierungsergebnisse haben gezeigt, dass nicht nur eine räumliche Tiefe in den geophysikalischen Messergebnissen steckt, sondern auch eine zeitliche. Auf dem Fundplatz Wiskiauten finden sich Strukturen aus allen Zeitepochen von der Steinzeit bis ins Hochmittelalter. Diese Zeitstufen anhand der Geomagnetikdaten voneinander zu trennen, dürfte nicht möglich sein. Jedoch wäre es wünschenswert, einzelne Befundtypen oder Befundverfüllungen voneinander unterscheiden zu können.

Anhand der geophysikalischen Messergebnisse in Kombination mit den Bohrergebnissen wurden in Wiskiauten die in der jeweils im Sommer auf die einzelnen Messfahrten folgenden Grabungskampagnen zu untersuchenden Flächen gezielt ausgewählt. In den ersten fünf Jahren wurden 20 Flächen mit einer maximalen Größe von 10 m x 10 m geöffnet um gezielt einzelne geomagnetische Anomalien zu untersuchen. Der Erkenntnisgewinn aus den Prospektionen und kleinen Grabungsflächen konnte dazu genutzt werden, in den Jahren 2010 und 2011 schließlich größere Flächen mit jeweils über 1000 m² auszugraben, um einen größeren Einblick in das Siedlungsareal zu erhalten. Allen Flächen gemeinsam ist, dass die Interpretation und Deutung der geomagnetisch erfassten Strukturen nur bedingt archäologisch erklärbar sind. Eine einfache optische Auswertung (schwarzer Fleck = archäologische Struktur) führte nur bedingt zum Erfolg. In zahlreichen Fällen hat sich gezeigt, dass geomagnetisch erfasste Strukturen auch von nicht-archäologischen Objekten wie

Steinen, natürlichen Senken oder geologischen Formationen stammen können. Eine optische Unterscheidung dieser Phänomene ist bisher nicht gelungen. Auf der anderen Seite hat die Dokumentation eines offen liegenden Kabelgrabens gezeigt, dass zahlreiche archäologische Strukturen der geomagnetischen Prospektion verborgen bleiben. Der Graben zog sich über eine Länge von ca. 400 m durch eine bereits geomagnetisch untersuchte Fläche.

Ziel dieser Arbeit soll es sein, diese unterschiedlichen Phänomene zu beleuchten und Analysemöglichkeiten vorzustellen. Dass eine rein optische Ansprache der Bilder nicht ausreicht, haben die Erfahrungen der zahlreichen Prospektionen gezeigt. Es stellt sich also die Frage, welche weiteren Interpretationsmodelle es gibt. Eine statistische Auswertung der erzielten Ergebnisse bildet die Grundlage neuer Interpretationsansätze. Die dabei erarbeiteten Ergebnisse werden anhand der Datensätzen verschiedener Fundplätze überprüft und ihre Aussagekraft für die archäologische Interpretation der Messorte vorgestellt. Es wird sich dabei zeigen, inwieweit sich allgemeingültige Regeln bei der Interpretation der Messbilder aufstellen lassen und inwieweit diese auf andere Plätze übertragen werden können.

2 Geophysikalische Prospektionsmethoden in der Archäologie

Ziel der geophysikalischen Prospektion ist die Kartierung verschiedener Erdreieigenschaften und darauf aufbauend die Visualisierung archäologischer Strukturen im Untergrund (BENECH u. HESSE 2007, 180). Dabei wird der Kontrast der Materialzusammensetzung innerhalb und außerhalb archäologischer Strukturen identifiziert (BATAYNEH 2011, 84). Im Vergleich zu geologischen Strukturen haben archäologische Fundplätze selten eine hohe vertikale oder horizontale Dimension, weshalb

eine Datenerhebung mit einem sehr feinen Messraster notwendig ist (ebd.).

Geophysikalische Messverfahren	Physikalisches Feld (Messgröße)	Physikalische Eigenschaften
Gravimetrie	Schwerefeld	Dichte
Geomagnetik	statisches Magnetfeld	magn. Suszeptibilität (remanente Magnetisierung)
Gleichstrom-Geoelektrik	elektr. Potential (Strom Spannung)	spez. elektr. Widerstand, Aufladbarkeit (induzierte Polarisaton)
Elektromagnetik	elektromagnetisches Wechsel-Feld	spez. elektr. Widerstand
Georadar	elektromagnetisches Wellen-Feld	Dielektrizitätszahl (Permittivität)
Seismik	elastisches Wellen-Feld	Elastizität, Dichte
Geothermie	Wärmefeld	Wärmeleitfähigkeit

Tabelle 1: Übersicht geophysikalischer Messmethoden in der Archäologie (PETZOLD 2005, 49 Tab.1).

Die geophysikalischen Prospektionsmethoden lassen sich unterscheiden in Potentialverfahren (Gravimetrie, Geomagnetik, Geoelektrik) und Wellenverfahren (Seismik, Georadar) (vgl. Tabelle 1). Bei den Potentialverfahren wird ein Halbraum unter dem Messgerät in seiner Gesamtheit erfasst. Der Messwert setzt sich also aus den Signalen des gesamten Halbraums und der darin befindlichen Objekte zusammen, so dass die quanti-

tative Auswertung mehrdeutig sein kann. Die Wellenverfahren hingegen bieten auf Basis einer Laufzeitmessung und der bekannten Ausbreitungsgeschwindigkeit genauere Aussagen zu Tiefe und Struktur des Suchobjektes (PETZOLD 2005, 49). Im Folgenden werden die Methoden vorgestellt, die bei der Datenaufnahme im Rahmen dieser Arbeit verwendet wurden.

2.1 Geomagnetik

Die Methode der magnetischen Prospektion ist eine passive Messmethode, die den Unterschied in der Magnetisierung verschiedener Materialien detektiert. 6% der Erdkruste bestehen aus Eisen, das sich zum größten Teil als chemische Bestandteile in Böden und Gesteinen befindet. Ausschlaggebend sind die Eisenoxide. Daher lassen sich magnetisch eher schwache Minerale speziell durch Feuereinwirkung in höher magnetische Komponenten umwandeln (SMEKALOVA u. a. 2008, 8).

Verschiedene Materialien zeigen eine unterschiedliche Wirkung auf das natürliche Erdmagnetfeld. Die lokale Störung des Erdmagnetfeldes lässt sich messen und wird als Anomalie bezeichnet. Anomalien, verursacht durch archäologische Befunde oder auch natürlich vorkommende Steine und Minerale, lassen sich meist auf die Existenz von magnetischen Mineralien wie Magnetit oder ihm verwandte Minerale zurückführen (SMEKALOVA u. a. 2008, 9).

Magnetische Anomalien im natürlichen Erdmagnetfeld setzen sich aus zwei Komponenten zusammen, der induzierten und der remanenten Magnetisierung. Die induzierte Magnetisierung zeigt an, wie stark sich ein Objekt durch den Einfluss des natürlichen Erdmagnetfeldes magnetisieren lässt. Remanente Magnetisierung beschreibt hingegen die objekteneigene Magnetisierung, die ein Gegenstand ohne den Einfluss des Erdmagnetfeldes hat. Beide Komponenten spielen bei archäologischen Befunden eine wichtige Rolle. Die induzierte Magnetisierung ist direkt proportional zu der Stärke des Erdmagnetfeldes an der Position der Messung und zu der Fähigkeit des Materials, das natürliche Erdmagnetfeld zu verstärken. Diese Eigenschaft des Materials wird als magnetische Suszeptibilität bezeichnet. Remanente Magnetisierung ist gekoppelt an den Prozess der Erhitzung von Material. Dabei kann es sich um eine natürliche Erhitzung wie bei magnetischen Steinen handeln oder eine durch anthropogenen Einfluss erzeugte Erhitzung wie bei gebranntem Ton oder Keramik. Dieser als thermoremanente Magnetisierung bezeichnete Prozess entsteht bei der Erwärmung des Bodens über die Curie-Temperatur hinaus und seine anschließende Abkühlung. Die remanente Magnetisierung kann um ein vielfaches höher sein als die induzierte Magnetisierung (SMEKALOVA u. a. 2008, 10).

Die Form der magnetischen Anomalie wird von der Inklination und der Deklination des Erdmagnetfeldes und der Form des magnetisierten Objektes bestimmt (vgl. Abb. 1). An einem beliebigen Ort der Erdoberfläche ergibt sich die magnetische Feldstärke aus der vektoriellen Addition des Betrags durch die Totalintensität, die Richtung durch Inklination und Deklination (LORRA 1996, 7).

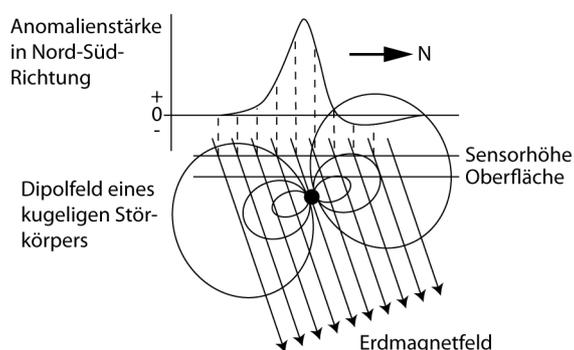


Abb. 1: Dipolfeld eines kugeligen Körpers mit zugehörigem Anomalienbild (NEUBAUER 1990).

Der Feldvektor des Erdmagnetfeldes und der Feldvektor des Störkörpers addieren sich vektoriell zu dem resultierenden Magnetfeldvektor (ebd. 8). In Mitteleuropa beträgt die Inklination zwischen 60° und 70° . Dies bewirkt, dass die Vertikalkomponente der Anomalie eines induzierten magnetischen Dipols von Süd nach Nord ein schwaches Minimum, ein Maximum und ein stärkeres Minimum besitzt (vgl. HARTSCH u. BÖHME 1998, 89).

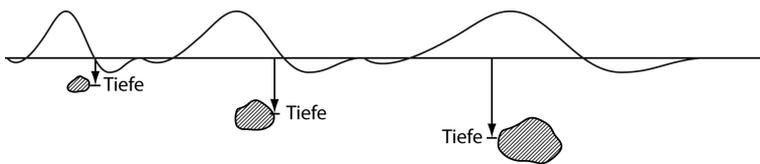


Abb. 2: Abhängigkeit der magnetischen Messkurve von der Tiefe des Objektes unter der Oberfläche (BREINER 1973, 18).

Ist der Kontrast der physikalischen Eigenschaften der archäologischen Struktur zum sie umgebenden Material groß genug, lässt sie sich mit dem Magnetometer registrieren. Das Messergebnis bildet

die Lage des die Anomalie verursachenden Körpers allerdings versetzt ab, und abhängig von der Tiefe des Objektes unter der Oberfläche und der Inklination am Messort (vgl. Abb. 2). Der Störkörper liegt etwa in der Mitte zwischen dem Maximum und dem stärkeren Minimum. Verallgemeinert lässt sich der Einfluss der verschiedenen Faktoren auf das Messsignal wie folgt darstellen. Mit zunehmendem Kontrast der physikalischen Eigenschaften und Größe der Objekte steigt der Messwert an. Eine zunehmende Tiefe der Objekte unter der Oberfläche hingegen verringert das Messsignal exponentiell (PETZOLD 2005, 47). Bei einem Dipol nimmt das Messsignal mit der dritten Potenz und bei einem Monopol mit der zweiten Potenz des Abstandes zwischen Sonde und Objekt ab (LÜCK 2005, 63). Weiterhin ist bei der Interpretation der Messergebnisse zu beachten, dass das Messsignal im Regelfall von mehreren sich überlagernden Objekten herrührt (BREINER 1973, 17). Abhängig von der Magnetisierung und der Größe und Form der Objekte, können verschiedene Objekte das gleiche magnetische Signal erzeugen (vgl. Abb. 3). Die Abbildung zeigt am Beispiel eines Kugelmodells die Messwertverteilung für drei unterschiedlich große Objekte mit unterschiedlich starker Magnetisierung M . Bei angenommener gleichgroßer Dipolstärke wird eine gleiche Messwertverteilung erwartet (LÜCK 2005, 62). Die Mehrdeutigkeit der geomagnetischen Messergebnisse verkompliziert eine Interpretation aus archäologischer Sicht stark.

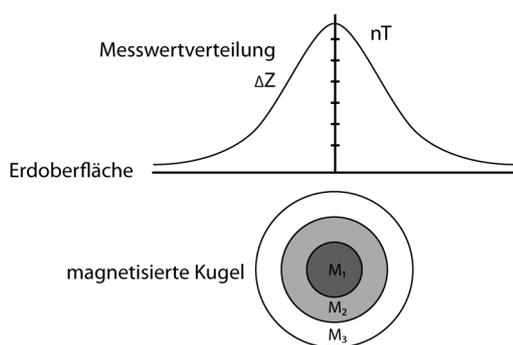


Abb. 3: Vertikalkomponente des Eigenmagnetfeldes bei senkrecht nach unten gerichteter Magnetisierung. Für die kugelförmigen Störkörper gelten folgende Relationen: $R_1 : R_2 : R_3 = 1 : 2 : 3$ und $M_1 : M_2 : M_3 = 27 : 8 : 1$ (R = Radius, M = Magnetisierung) (LÜCK 2005, Abb. 2).

Ehemalige Siedlungsstrukturen lassen sich in Lehm- und Lössböden besser erfassen, als in tertiären Ablagerungen. In sandigen Gegenden lassen sich häufig nur Herdstellen und Öfen oder Anhäufungen von Feldsteinen nachweisen (LÜCK 2005, 65). Großflächige Kartierungen erlauben es, im Idealfall die Siedlungsgrenzen zu erfassen und bei Bedarf den Grabungsaufwand zu minimieren. Voraussetzung ist es dabei, dass sich ein Unterschied zwischen den ungestörten und den anthropogen beeinflussten Flächen zeigt. Die Ergebnisse der in der Suzdaler Region durchgeführten Geomagnetikmessungen zeigen sehr deutlich, wie eine solche Abgrenzung aussehen kann (siehe Kap. 9).

2.2 Georadar (GPR)

Bei dem Georadar handelt es sich um ein Verfahren der Elektromagnetik, das nach dem Prinzip des elektromagnetischen Reflexionsverfahrens arbeitet (LECKEBUSCH 2001, 11). Eine elektromagnetische Welle wird in den Untergrund ausgesandt und auf ihrem Weg an Grenzflächen oder Objekten unterschiedlicher elektromagnetischer Materialeigenschaften teilweise reflektiert und gelangt so zurück an die Oberfläche (Mess-

prinzip vgl. Abb. 4). Die Ausbreitung der Strahlung im Untergrund ist wellenförmig. Ähnlich wie bei der Seismik lassen sich Refraktionen, Reflexionen und Diffraktionen empfangen und digital als Radargramme registrieren (HAUPTMANN u. PINGEL 2008, 231f.). Es spielen zwei Materialparameter eine wichtige Rolle: der spezifische elektrische Widerstand und die Dielektrizitäts-

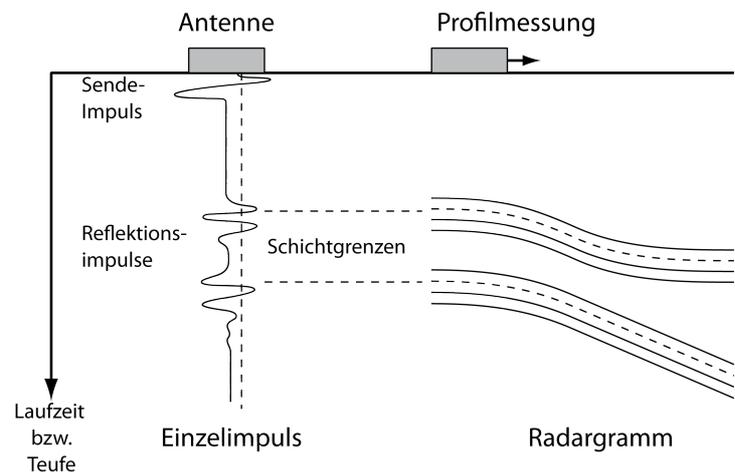


Abb. 4: Messprinzip des Georadars (PETZOLD 2005, 51).

konstante (oder dielektrische Permittivität). Die von der Sendeantenne (Transmitter) ausgestrahlten Wellen werden reflektiert, wenn sie auf Unterschiede in der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit (bzw. Widerstand) des Bodens und/oder der Dielektrizitätszahl treffen. Die registrierte Signalamplitude wird in Abhängigkeit von der Position der Empfängerantenne (Receiver) und der Laufzeit der Wellen in einem zweidimensionalen Plot dargestellt (CONYERS 2004, 25). In sandigen homogenen Böden funktioniert die Georadar-Methode gut, wohingegen lehmige, siltige und alkaline Böden, die eine hohe elektrische Leitfähigkeit besitzen, das GPR Signal stark dämpfen können (JONES 2008, 5). Dadurch werden sowohl die Eindringtiefe als auch die Auflösung beeinflusst.

In der archäologischen Prospektion werden Antennensysteme mit Hauptfrequenzen zwischen 80 MHz und 1000 MHz eingesetzt (STÜMPEL u. ERKUL 2009, 116). Die hohen Frequenzen kommen dabei bei der Suche nach sehr kleinen Objekten im Zentimeterbereich zum Einsatz, dringen allerdings nur wenige Zentimeter bis Dezimeter in den Boden ein. Messfrequenzen im Bereich von 500 MHz dienen zur Prospektion von Objekten im Dezimeterbereich und dringen typischerweise bis zu 3 m in Boden ein. Bei niedrigeren Frequenzen steigt zwar die Eindringtiefe immer weiter an, allerdings müssen auch die Objektgrößen zunehmen, damit diese detektiert werden können (REINHOLD u. PETZOLD 2005, 36). Damit ist die Wahl des Arbeitsfrequenzbereichs immer ein Kompromiss zwischen Auflösung und Eindringtiefe. Die Leistungsgrenzen des Radars sind allerdings stark bodenabhängig und können bei ungünstigen Bodenverhältnissen deutlich reduziert werden (STÜMPEL u. ERKUL 2009, 117).

Das Reflexions- und Diffraktionsbild ist abhängig von der Zugrichtung der Antennen in Bezug auf die Strukturen im Untergrund (LORRA u. a. 1998, 36). Mauern zeigen sich z. B. bei paralleler oder schräger Überfahrt mit den Antennen im Radargramm als häufig nicht zu unterscheidende, sich gegenseitig überlagernde Reflexionen und Diffraktionen. Eine möglichst senkrechte Überfahrt, also quer zur Anomalie erhöht die Aussagesicherheit im Hinblick auf die flächenhafte Abgrenzung der Störungen. Häufig ist dies schwer umzusetzen, da die Strukturen erst durch die Messung zu Tage treten. Eine geomagnetische Voruntersuchung der Flächen ermöglicht eine Lokalisierung der vorhandenen Strukturen, so dass das Radar gezielt eingesetzt werden kann.

Das Haupteinsatzgebiet des Radars liegt bei Mauern, Gräben oder größeren Gruben. Abgeschirmte Antennen ermöglichen es, die Methode auch inmitten von besiedelten Gebieten durchführen (z. B. auf Straßen, in Gebäuden, etc.). Obwohl das Radar hochauflösende Messdaten liefert, werden bei dem typischerweise verwendeten Profilabstand kleinere Objekte oder einzelne Pfostenlöcher nicht detektiert (LECKEBUSCH 2001, 105). Für archäologische Fragestellungen handelt es sich bei den Ergebnissen der Radarmessung in erster Linie um geometrische Informationen der im Boden vorhandenen Strukturen (ebd. 103). Geologische und bodenkundliche Untersuchungen können aus den GPR-Signalen auch Informationen über Bodenfeuchte und Tongehalt ableiten. Bereits vorhandene archäologische Vorinformationen können zu einem besseren Verständnis der Radarergebnisse beitragen und erleichtern die Interpretation der Daten.

Sowohl der Messaufwand als auch die Datenauswertung und Visualisierung sind bei der Methode zeitintensiver als bei der Magnetik, so dass sie in der Regel kleinflächig zum Einsatz kommt. Obwohl es inzwischen GPR-Arrays gibt, mit denen vergleichsweise schnell flächendeckend gemessen werden kann, bleibt der hohe Zeitaufwand zur Aufbereitung und Visualisierung der Daten vorhanden. Eine flächendeckende Untersuchung mit der Geomagnetik und der anschließende Einsatz von Radar um einzelne interessante Bereiche detaillierter zu untersuchen ist eine empfehlenswerte Methodenkombination.

Der große Vorteil des Georadars im Vergleich zur Magnetik liegt darin behaftet, dass die Strukturen im Untergrund dreidimensional erfasst werden. Die Visualisierung der dreidimensionalen Daten erfolgt meist in Form von Profilen (Radargramme) oder Zeit- bzw. Tiefscheiben (Timeslices). Entlang der Radarprofile werden die Amplituden der reflektierten Anteile gegen die Zeit in einer Spur aufgezeichnet. Die Aneinanderreihung der aufgezeichneten Spuren ermöglicht die Darstellung eines vertikalen Profils des Untergrunds. Bei bekannter Geschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen können die aufgezeichneten Laufzeiten in Tiefen umgerechnet werden. Unter Berücksichtigung der Topografie lassen sich die Amplituden zu bestimmten Zeiten bzw. in bestimmten Tiefen als horizontale Schnitte darstellen (WAGNER 2007, 79f.).

2.3 Geoelektrik

Bei der Geoelektrik handelt es sich um ein Messverfahren, mit dem sich natürliche Untergrundstrukturen und anthropogene Hinterlassenschaften, die sich durch eine Änderung des spezifischen elektrischen Widerstandes auszeichnen, sowohl tiefen- als auch flächenmäßig erfassen lassen (HAUPTMANN u. PINGEL 2008, 226). An zwei in den Boden gesteckte Elektroden (vgl. Abb. 4: A, B) wird Spannung angelegt, wodurch sich bedingt durch die Widerstandsverteilung im Boden ein künstliches Potentialfeld ausbildet. Bei bekannter Stromstärke wird der spezifische Widerstand des Bodens aus dem Spannungsabfall über einer bestimmten Strecke ermittelt (vgl. Abb. 5: M, N). Der Spannungsabfall ist hauptsächlich abhängig vom Wasser- bzw. Elektrolytgehalt und dem Tongehalt des Bodens. Die aus eingespeistem Strom, gemessener Spannung und dem Elektrodenabstand errechnete Messgröße stellt eine Art Mittelwert der Widerstände des vom Strom erfassten Bodenvolumens dar. Man spricht von dem scheinbaren spezifischen Widerstand (apparent resistivity ρ_{app}). Das erfasste Volumen wächst mit dem Elektrodenabstand, so dass der Elektrodenabstand auch als Maß für die Eindringtiefe genutzt werden kann. Der scheinbare spezifische Widerstand kann bestimmt werden durch

$$\rho_{app} = K * \frac{U}{I}$$

wobei K der Geometriefaktor ist, der die Konfiguration der Punkte A, B, M und N beschreibt (vgl. Abb. 5), U die Spannung zwischen den Elektroden M und N und I der an den Elektroden A und B eingespeiste Strom. Die Messung des spezifischen Widerstandes erfolgt mit einem Erdwiderstandsmessgerät mit vier Elektroden, die in verschiedenen Anordnungen genutzt werden können (SCOLLAR 1990, 322).

Schlumberger-Anordnung (A.....M.N.....B)

Die vier Elektroden werden in Reihe in den Boden eingebracht. Dabei wird der Abstand der beiden stromführenden Elektroden A und B schrittweise vergrößert, um eine Tiefendifferenzierung der spezifischen Widerstände zu ermöglichen. Mittig zwischen den Elektroden M und N liegt der Messpunkt, dem die ermittelten scheinbaren Widerstände zugeordnet werden. Eine solche Elektrodenanordnung kann sehr weit in den Untergrund eindringen, so dass tiefliegende Strukturen sehr gut erfasst werden.

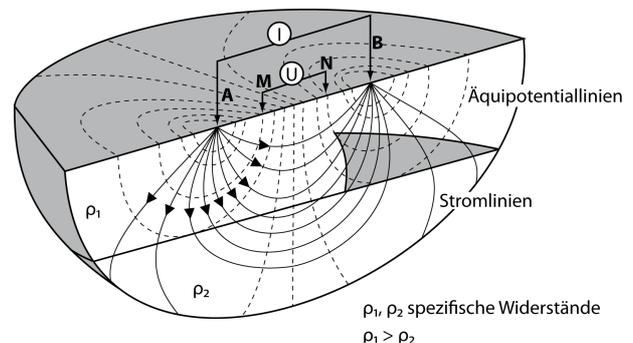


Abb. 5: Prinzipskizze der geoelektrischen Messung. Über die Elektroden A und B wird Strom in den Boden eingespeist und zwischen den Elektroden M und N wird die Spannung gemessen (LÜCK 2005, Abb. 6).

Wenner-Anordnung (A..M..N..B)

Bei dieser Elektrodenanordnung stecken die Elektroden in konstanten Abständen im Boden. Der Messpunkt liegt mittig zwischen den Elektroden M und N. Der Vorteil dieser Anordnung liegt in der Einfachheit des Aufbaus. Sie wurde in der Vergangenheit daher gerne zum Kartieren benutzt. Zur Tiefendifferenzierung wird der Abstand der Elektroden vergrößert.

Twin-Anordnung (A..M....---.....N..B)

Im Wesentlichen entspricht die Elektrodenanordnung dem gleichen Aufbau wie bei der Wenner-Anordnung. Der Unterschied liegt darin, dass ein Elektrodenpaar (A, M) stationär bleibt und das zweite Elektrodenpaar (N, B) bewegt wird. Diese Messanordnung wurde zwar speziell für die archäologische Anwendung entwickelt, spricht jedoch aufgrund des im Vergleich zur Wenner-Anordnung stärkeren Messsignals auf tiefere und damit meist geologische Strukturen an. Sie wird sehr selten eingesetzt.

Dipol-Dipol-Anordnung (A..B..---..M..N)

Die Spannungs- und Stromelektroden bilden jeweils einen Dipol, deren Längen und Abstände zur Tiefendifferenzierung variiert werden. Die laterale Auflösung ist hier größer als bei der Wenner-Anordnung.

Nutzt man eine Multielektrodenanordnung wird ein Profil mit einer Vielzahl an Elektrodenspiessen abgesteckt, in der jede einzelne Elektrode mit dem Messgerät verbunden ist und sich einzeln ansteuern lässt. Mittels einer Steuersoftware lassen sich alle sinnvollen Anordnungen automatisch vermessen. Bei der Wenner-Anordnung z. B. lassen sich die Elektroden bei gleichbleibendem Elektrodenabstand (a) entlang des Profils „verschieben“. Auf diese Weise erzeugt man eine horizontale

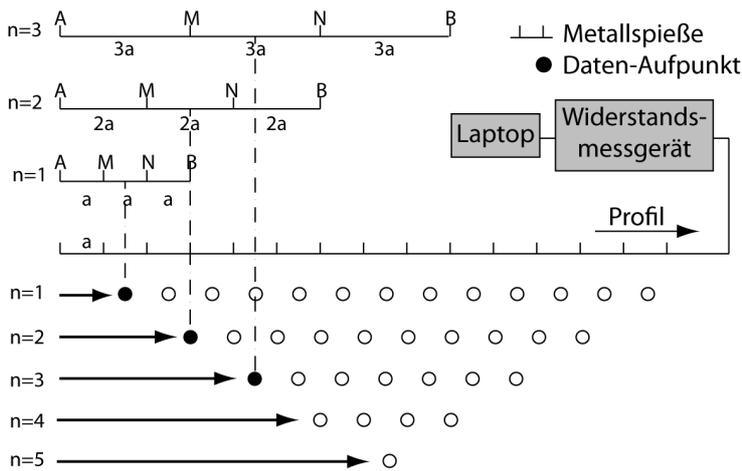


Abb. 6: Beispiel für die Erstellung einer Pseudosektion. Jeder Kreis entspricht dem Ort, der einem scheinbaren Widerstand für eine bestimmte Auslage zugeordnet wird. Die Tiefe entspricht im Fall der Wenner-Anordnung dem Abstand a, die horizontale Lage dem Mittelpunkt des Profils (KIEFER 2000, 6, Abb. 2.1.4).

Widerstandskartierung mit fester Eindringtiefe (n), die im Fall der Wenner-Anordnung dem Elektrodenabstand a entspricht. Eine Vergrößerung des Elektrodenabstandes (2a, 3a, ...) erhöht die Eindringtiefe (n=2, n=3, ...) (vgl. Abb. 6). Die Kombination der Kartierung der Widerstände bei fester Eindringtiefe und der Widerstände an einem festen Punkt bei größer werdendem Elektrodenabstand nennt man Pseudosektion. Mittel der Pseudosektion ist es möglich, die laterale Verteilung des Wider-

stands mit zunehmender Tiefe zu untersuchen (KIEFER 2000, 5). Abhängig von dem Abstand der aktiven Elektroden (a, 2a, 3a, ...) wird den gemessenen Widerständen das jeweilige Messniveau zugeordnet, das jedoch nicht der realen Tiefe entspricht. Mittels eines 3-D-Inversionsalgorithmus wird bei der geoelektrischen Tomographie aus der Gesamtheit aller Messungen die räumliche Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstands rekonstruiert (LÜCK 2005, 136). Die Lage der registrierten Strukturen wird in dem Widerstandsmodell genau wiedergegeben.

Ähnlich wie bei Radarmessungen wird das beste Ergebnis erzielt, wenn die Profile senkrecht über den zu erkundenden Strukturen liegen (LÜCK 2005, 71). LÜCK (ebd. 72, Abb.9) konnte das unterschiedliche Messergebnis die Profilausrichtung betreffend in einem Versuch herausarbeiten. Jegliche Vorinformation sollte genutzt werden, um die Profilausrichtung zu optimieren. Sind die zu den archäologischen Strukturen gehörenden Widerstandsänderungen markant, ist der Einsatz der Geoelektrik sinnvoll (ebd. 73). In Bereichen, in denen Georadar-Messungen wegen niedriger spezifischer Leitfähigkeit des Bodens nicht das gewünschte Ergebnis erzielen, wird die Elektrik häufig eingesetzt. Dies kann z. B. der Fall bei hohen Lehm- bzw. Ton-Konzentrationen im Boden sein, so dass das Georadar nicht die erwünschte Eindringtiefe erreicht. Die Geoelektrik ist jedoch zeitaufwendiger und das Messergebnis weniger hoch auflösend als bei den Radarmessungen. Eine Kombination mit anderen Prospektionsmethoden oder mit archäologischen Vorinformationen können wie beim Georadar die Interpretation und das Verständnis der erzielten Messdaten erleichtern.

2.4 Suszeptibilitätsmessungen

Wie bereits bei der Methode der Geomagnetik beschrieben, bezeichnet der Suszeptibilitätswert die Fähigkeit eines Materials, im Erdmagnetfeld eine Magnetisierung anzunehmen (vgl. Kapitel 2.1). Der mit κ = Kappa bezeichnete Suszeptibilitätswert ist dimensionslos und wird aus dem Verhältnis des induzierten Feldes M zu dem angelegten Feld H errechnet (NEUBAUER 2001, 44) :

$$\kappa = \frac{M}{H}$$

Nach MULLINS (1977) ist die Suszeptibilität im Oberboden meistens höher als im Unterboden, was auf den Reduktions-Oxidationskreislauf bei bodenbildenden Prozessen oder auch auf Verwitterungsprozesse zurückzuführen ist. Durch anthropogene Aktivität gelangt der Oberboden z. B. bei der Anlage von Gruben oder Pfostenlöchern in den Unterboden, der einen niedrigeren Suszeptibilitätswert hat.

Aufgrund der leicht messbaren Suszeptibilität lässt sich die induzierte Magnetisierung sehr genau abschätzen. Optisch nicht erkennbare archäologische Strukturen sind durch eine systematische Messung der Suszeptibilitätswerte in einem 5 cm Raster oder kleiner sowohl in der Fläche als auch im Profil magnetisch nachweisbar. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Magnetit bereits ab $0,1 \times 10^{-5}$ Gew.% magnetisch nachweisbar ist, wohingegen 0,1 Gew.% nötig sind, um einen für das menschliche Auge wahrnehmbaren Farbunterschied zu bewirken (NEUBAUER 2001, 56).

Abbildung 7 mag die Aussagemöglichkeiten der Methode verdeutlichen. Zur Schnellerkundung der gemessenen Anomalien wurden Bohrungen mit einem Pürckhauerbohrer durchgeführt (zur Methode der Bohrungen siehe Kapitel 4.1.1). Dargestellt ist das Bohrergebnis einer Anomalie auf dem Fundplatz Torki 4+5². Die Breite der Grube in der Abbildung ist stilisiert angegeben, weil darüber keine Informationen vorliegen. Die Bohrung wies zwar zwischen dem Ackerhorizont (Schicht 1) und dem anstehenden natürlichen Untergrund (Schicht 3) einen Mischhorizont (Schicht 2) nach, das geborgene Material in dem Bohrkern ließ jedoch keinen Rückschluss auf die Ursache der Anomalie zu. Hinweise auf einen anthropogenen Einfluss waren nicht zu erkennen. Die gemessenen Suszeptibilitätswerte zeigen hingegen einen deutlichen Peak in 35 cm Tiefe, der die magnetische Anomalie an der Stelle erklärt.

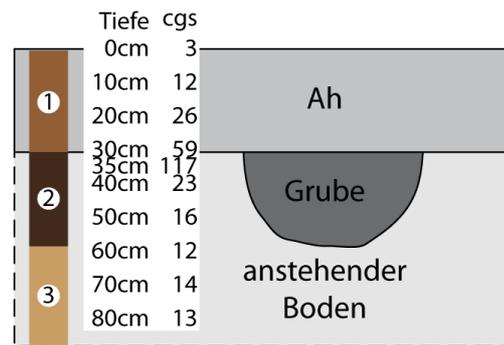


Abb. 7: Beispiel für die Verteilung der Suszeptibilitätswerte in einer Bohrung von dem Fundplatz „Torki 4+5“ (Anomalie 2) in der Suzdaler Region. Die Breite der Grube ist stilisiert dargestellt.

Anthropogene Einflüsse, die zu einer erhöhten Magnetisierung führen, können thermoremanente Veränderungen sein, die durch Erwärmen des Bodens über die Curie-Temperatur hinaus ausgelöst werden, wie dies z. B. bei Feuerstellen oder Keramik auftritt (FASSBINDER 2007, 56). Darüber hinaus entsteht bei der Verrottung von organischem Material in archäologischen Strukturen biogener Magnetit, der als Störung im Erdmagnetfeld abgebildet werden kann.

Die Methode der Suszeptibilitätsmessung kann also über die in erster Linie bodenkundliche Ansprache einer Anomalie mit Hilfe der Pürckhauer-Sondierung hinaus die Schicht in der Bohrung identifizieren, die die Ursache für die magnetische Anomalie ist.

² Die Fundplätze in der Suzdaler Region sind nach in der Nähe gelegenen Ortschaften benannt. Befinden sich mehrere Fundplätze im Umfeld einer Siedlung werden diese zusätzlich zum Ortsnamen mit Nummern versehen.

3 Datengrundlage und Messtechnik

In diesem Kapitel werden, neben einer Auflistung der zur Verfügung stehenden Geophysikdaten, die eingesetzten geophysikalischen Messgeräte vorgestellt. Eine Erläuterung der Funktionsweisen der verschiedenen Methoden findet sich in Kapitel 2.

Fundplatz	Land	Magnetik	Radar	Elektrik
Apuolė	Litauen	3,46 ha	0,02 ha	2x45 m+ 1x80 m Profile
Baitai	Litauen	1,72 ha		
Dovilai	Litauen	5,52 ha		
Grobina	Lettland	6,58 ha	0,05 ha	
Høby	Dänemark	6,69 ha		
Kernave	Litauen	16,68 ha		
Krutik	Russland	2,55 ha	0,02 ha	
Rispebjerg	Dänemark	5,34 ha	2 Profile	
Sereitlaukis	Litauen	2,4 ha		
Sorte Muld	Dänemark	32,53 ha	0,13 ha	
Stanciai	Litauen	5,73 ha		
Suzdal	Russland	89,76 ha	0,19 ha	
Szurpily	Polen	4,26 ha	0,04 ha	
Wiskiauten	Russland	155 ha	0,5 ha	
	SUMME:	338,22 ha	0,95 ha	

Tabelle 2: Übersicht aller zur Verfügung stehender Geophysikdaten.

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht aller zur Verfügung stehender Geophysikdaten. Knapp $\frac{3}{4}$ der Daten stammen von den beiden russischen Fundplätzen Wiskiauten und Suzdal. Dies hängt damit zusammen, dass die Daten im Rahmen des DFG-Projektes „Suzdal und Mohovoe/Wiskiauten - Prospektion und Erforschung frühmittelalterlicher Siedlungskammern im Kaliningrader Gebiet und in Westrussland“ aufgenommen wurden, das sich mit der vergleichenden Erforschung dieser beider Fundplätze beschäftigt (IBSEN 2008a, 16). Neben den Fundplätzen Wiskiauten und denen in dem Suzdaler Opolje wurden weitere Fundstellen im Rahmen anderer Projekte des Zentrums für Baltische und Skandinavische Archäologie in Schleswig in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geowissenschaften der CAU Kiel geophysikalisch prospektiert, um auch Daten mit anderen geologischen Bedingungen einbeziehen zu können.

Die in dieser Arbeit verwendeten Magnetik-, Radar- und Elektrikdaten wurden ausnahmslos durch das Institut für Geowissenschaften, Abteilung Archäometrie, der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel erhoben³.

³ Namentlich sind dabei zu erwähnen: Dr. Harald Stümpel, Christina Klein, Martin Proksch, Dr. Tina Wunderlich, Ercan Ercul, Hauke Petersen, Dr. Susanne Wölz, Vera Glomb, Sarah Held, Christian Cajar, Faiko Oestmann, Karolin Dünnbier, u.v.a.

3.1 Magnetometer

Bei den Feldmessungen wurden Fluxgate-Gradientensonden der Firma Dr. Förster (type Ferrex DLG 4.032.82), die den Vertikalgradienten der Vertikalkomponente messen. Der Sondenabstand in den Gradientensonden betrug 0,4 m bzw. 0,65 m (WUNDERLICH 2008, 6). Als „Gradient“ wird dabei die Differenz der Signale von oberer und unterer Sonde, dividiert durch den Sondenabstand bezeichnet. Dieser mathematisch als Differenzenquotient zu bezeichnende Wert kann je nach Sondenabstand erheblich von dem idealen Wert abweichen. Der ideale Wert wäre der entsprechende Differentialquotient, der hier die Vertikalkomponente des vektorwertigen Magnetfeldgradienten ist. In Kombination von 4, 6 oder 8 Sonden wurden diese auf verschiedenen Messwagen eingesetzt, wodurch ein schneller Messfortschritt gegeben war.

Das Fluxgate-Magnetometer basiert nach MILITZER u. a. (1984) auf dem Wirkungsprinzip der magnetischen Sättigung eines hochpermeablen Materials. Aufgrund des Messwagenaufbaus befand sich der untere Messsensor in einer Höhe von 0,2 m über dem Erdboden und der zweite, entsprechend dem vertikalen Sondenabstand, in einer Höhe von 0,6 m oder 0,85 m (WUNDERLICH 2008, 6). Um unerwünschte Störsignale abzuschwächen oder gar auszulöschen, wie sie z. B. von tief liegenden geologischen Anomalien oder Signalen von seitwärts an der Oberfläche befindlichen Körpern herrühren können, wurden beide Messwerte anschließend voneinander subtrahiert und die Differenz wurde mit einer Auflösung von 0,024 nT digital aufgezeichnet. Das System zeichnete 10 Datensätze pro Sekunde in Profilrichtung auf. Die durchschnittliche Arbeitsgeschwindigkeit lag zwischen 0,6 m/s und 1,2 m/s. Jeder Messwagen ist mit einem DGPS ausgestattet, das eine Positionskoordinate pro Sekunde lieferte, welche die räumliche Zuordnung der Messwerte ermöglichte. Die Bestimmung der Deklination und Inklination am Messort wurde mithilfe eines Rechners⁴ online durchgeführt. Auf weitere Details zur Theorie der Magnetik sei hier nicht weiter eingegangen und auf Kapitel 2.1 verwiesen.

Eine Darstellung von Magnetikmesswerten geschieht in der Regel als Graustufenbild. Ein eingrenzter Wertebereich, z. B. +/- 8 nT, wird dabei auf die 256 darstellbaren Graustufen aufgeteilt. Bei der Eingrenzung auf +/-3 nT reichen die 256 Graustufen entsprechend der Messgenauigkeit aus, um jedem aufgezeichneten Messwert eine Graustufe zuzuordnen. Eine Vergrößerung des Darstellungsbereichs hat somit zur Folge, dass mehrere Messwerte durch einen Graustufenwert wiedergegeben werden müssen und es somit zu Mehrdeutigkeiten kommt. Niedrige Messwerte, die einer geringen Magnetisierung des Untergrundes entsprechen, werden in hellen Graustufen dargestellt, dunkle Graustufen hingegen spiegeln hohe Messwerte wieder. Die flächenhafte Bildauflösung beträgt, sofern nicht anders angegeben, 0,2 m x 0,2 m.

⁴ Der Online Rechner wird zur Verfügung gestellt von dem National Geophysical Data Center (NGDC) in Boulder, Colorado (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>).

3.2 Georadar

Für die Georadarmessungen wurde die Zwei-Kanal-Apparatur SIR 20 der Firma GSSI eingesetzt. Bei den Messungen kamen Antennen mit verschiedenen Frequenzen zum Einsatz. Während Antennen für hohe Frequenzen eine höhere vertikale Auflösung bieten, hohe Frequenzen allerdings leichter absorbiert werden und somit nicht so tief in den Untergrund eindringen, ermöglichen Antennen für niedrige Frequenzen einen tieferen Einblick in den Erdboden bei gleichzeitig verringerter Auflösung (STÜMPEL u. ERKUL 2009, 116). Da die Verwendung von 400 MHz-Antennen einen guten Kompromiss zwischen Eindringtiefe und Auflösung zeigte, und insbesondere sich für die Erforschung oberflächennaher Strukturen bewährte, wurde diese am häufigsten bei den vorgestellten Messungen verwendet.

Die mittels der Zwei-Kanal-Apparatur gewonnenen Messdaten, bestehend aus orts- und laufzeit-abhängigen Amplituden, lassen sich in einem zweiten Arbeitsschritt in Zeitscheiben umsortieren. Für einen bestimmten Zeitbereich werden die Amplituden des reflektierten Signals aufsummiert (WOLFMAN 1984). Durch die flächenhafte Darstellung lässt sich der Verlauf einzelner Reflexionen auch visuell gut nachvollziehen. Die mittlere Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen beträgt oft zwischen 6 cm/s und 10 cm/s im Boden. Über diesen Wert lässt sich die ungefähre Tiefe der erfassten Reflexionen abschätzen. Bei den Zeitscheiben werden die gemessenen Laufzeiten angegeben, die dem Hin- und Rückweg des elektromagnetischen Impulses entsprechen. Zur Bestimmung der Tiefe einer Zeitscheibe muss der Zeitwert also halbiert werden.

3.3 Geoelektrik

Bei den Geoelektrikmessungen wurde das Gerät RESECS der Firma GeoServe eingesetzt. Die Datenaufnahme erfolgt mit einer Kombination aus Widerstands-Tiefensondierung und -Kartierung (2D-Tomografie). Dabei werden eine Vielzahl von Elektroden in Reihe gesteckt und mit einem vieladrigen Kabel gekoppelt, durch das die Elektroden über Relais mit der Mess- und Steuerapparatur verbunden sind. Die Schaltapparatur erlaubt die Ansteuerung aller sinnvollen Kombinationen von jeweils vier Elektroden. Die Verarbeitung der gemessenen Widerstände mittels Pseudosektion und Tomographie sind in Kapitel 3.3 erläutert.

Es wurden sowohl die Wenner Alpha Anordnung für eine größere Eindringtiefe, als auch die Dipol-Dipol Anordnung für eine höhere laterale Auflösung im oberflächennahen Bereich eingesetzt.

3.4 Suszeptibilität

Zur Bestimmung der volumenspezifischen Suszeptibilität kam das System MS2 der Firma Bartington Instruments Ltd. zum Einsatz. Die Messeinheit besteht aus einem Datenlogger, der sich je nach Einsatzgebiet mit verschiedenen Messsonden kombinieren lässt. Dabei ist das Messverfahren bei allen Sonden ähnlich. In den eingesetzten Messgeräten wird das magnetisierendes Feld über eine

Wechselstrom-durchflossene Spule in einer Oszillatorschaltung erzeugt, die eine Frequenzänderung bei Wechselwirkung mit Materie in der Spule registriert. Als Vergleichsreferenz wird Luft genutzt. Aus der Differenz wird in Abhängigkeit von den Permeabilitäten der Spule während der Messung die magnetische Suszeptibilität berechnet (DEARING 1994, 8f.). Für die vorliegende Arbeit kamen die 3 Sensoren MS2B (Labor) und MS2D und MS2H (Feld) zum Einsatz. Die technischen Details und die Bedienung der einzelnen Messsonden können bei DEARING (1999) nachgelesen werden.

Nicht bei allen Bohrungen wurden Suszeptibilitätswerte gemessen. Soweit die Daten vorhanden sind, werden sie bei der Auswertung der Daten einbezogen.

3.5 Positionsbestimmung

Das bei den vorgestellten Messungen eingesetzte DGPS (Leica GPS System 500) erreicht bei ausreichender Satellitenabdeckung eine Auflösung von 2 cm. Dabei werden nicht nur die horizontalen x und Y Werte aufgezeichnet, sondern auch Höhenwerte, so dass ein hochaufgelöstes Geländemodell entsteht. Zwar ist die ermittelte absolute Höhe dabei fehlerbehaftet, unterstützt aber dennoch das Verständnis und die Interpretation der Messergebnisse (STÜMPEL u. ERKUL 2009, 116).

4 Verwendung von Geophysikdaten

4.1 Vorgehen: Messen, Bohren, Graben

Die zerstörungsfreie Erkundung archäologischer Fundstellen mithilfe geophysikalischer Techniken ist zu einem wichtigen Bestandteil der archäologischen Prospektion geworden. Dabei werden jedoch nicht nur archäologische Strukturen gemessen, sondern auch geologische Phänomene tauchen in den Messbildern auf. Zur besseren Interpretation der erkannten Strukturen ist der Einsatz invasiver Methoden (Bohrung, Grabung) unabdingbar. Auf diese Weise lassen sich die archäologischen Strukturen identifizieren. Das gewonnene Probenmaterial kann darüber hinaus z. B. dazu genutzt werden, archäologische Befunde zu datieren. Anhand der Ergebnisse für den Fundplatz Wiskiauten wird im Folgenden ein möglicher Umgang mit den Daten bis hin zu verschiedenen Analysemöglichkeiten vorgestellt.

4.1.1 Kartieren und Bohren

Die systematische Sammlung und Kartierung von Oberflächenfunden auf geophysikalisch untersuchten Flächen bietet eine schnelle und zerstörungsfreie Möglichkeit, eine Einschätzung der zu erwartenden Strukturen vorzunehmen. Darüber hinaus bieten datierbare archäologische Funde eine Eingrenzung der zu erwartenden Zeitspanne der prospektierten Strukturen. Die Ursache der gemessenen Anomalie bleibt allerdings verborgen. Die einfachste Möglichkeit Informationen über die Ursache der Anomalie, deren Form, Größe oder das Material zu gewinnen, stellt eine Bohrung mit einem Pürckhauer-Bohrer dar⁵. Der nach seinem Entwickler Dr. Pürckhauer benannte Hohlmeißelbohrer bietet die Möglichkeit eine Bodenprobe aus dem oberflächennahen Grund zu entnehmen. Bohrt man einerseits im Zentrum der geophysikalisch erkannten Anomalie, sowie in angemessenem Abstand außerhalb, genannt Kontrastbohrung oder einfach Kontrast, lässt sich durch den Vergleich der beiden Bohrungen miteinander eine grobe Abschätzung der Form der Anomalie ableiten. Die Verwendung eines immer feineren Bohrrasters führt dabei zu einer immer detaillierteren Bestimmung der exakten Form der gemessenen Anomalie.

Bei der Verwendung eines Bohrers bleibt zu bedenken, dass durch die Herausnahme der Bohrprobe, die einen Durchmesser von 36 mm⁶ hat, stets die Zerstörung des Befundes bis zu einem gewissen Grad bedeutet. Es bleibt daher individuell abzuwägen, wie viele Bohrungen notwendig sind,

⁵ Im Folgenden werden die Begriffe Anomalie und Bohrung folgendermaßen genutzt. Mit Anomalie werden mittels geophysikalischer Messmethoden erkannte Störungen im Boden benannt, eine Bohrung kann sich darauf beziehen oder eigenständig stehen. Wird eine Anomalie oder Bohrung für eine Pürckhauersondierung ausgewählt, so kommt die Bezeichnung „Anomalie+Name“ (z.B. Anomalie1) bzw. „Bohrung+Name“ (z.B. Bohrung1) zum Einsatz.

⁶ Der für diese Arbeit verwendete Pürckhauerbohrer hatte einen Durchmesser von 36 mm.

um den archäologischen Befund ausreichend zu bestimmen, dessen Zerstörung jedoch im Rahmen zu halten.

4.1.2 Grabungen

Den besten Erkenntnisgewinn über die Ursache der geophysikalisch erkannten Anomalie bietet vom Prinzip her die archäologische Ausgrabung, wenn sie mit Messungen der geophysikalischen Parameter in situ kombiniert wird. Mit ihrer Hilfe lassen sich Messergebnisse am besten verstehen und interpretieren und ergrabene Strukturen können gezielt mit weiteren geophysikalischen Messverfahren untersucht werden. Suszeptibilitätsmessungen (vgl. Kapitel 2.4) der einzelnen Befundschichten können z. B. klären, welche Teile des Befundes sich wie auf das geophysikalische Messverfahren auswirken. Dies gilt auch für die Bohrprofile, deren einzelne Schichten beprobt werden können. Mithilfe der Suszeptibilitätswerte und der geometrischen Maße der Strukturen lassen sich Modellierungen durchführen, die zeigen können, ob die gemessene Anomalie durch die ergrabene Struktur erklärt werden kann oder ob es weitere Störkörper gibt, die das Messergebnis beeinflussen.

Da die Ausgrabung einer Fläche einen weit höheren Zeitaufwand in Anspruch nimmt als deren geophysikalische Untersuchung, kann im Regelfall nur ein kleiner Teil der prospektierten Fläche ausgegraben werden. Mithilfe der Grabungsergebnisse lassen sich die restlichen Geophysikdaten jedoch sehr viel besser verstehen und interpretieren. Ergrabene Strukturen lassen sich oft in den angrenzenden Geophysikdaten weiterverfolgen und fehlende Pfosten können z. B. ergänzt werden.

4.1.3 Beispiele

Zwei Beispiele sollen die oben erläuterten Methoden verdeutlichen. Abbildung 8 zeigt

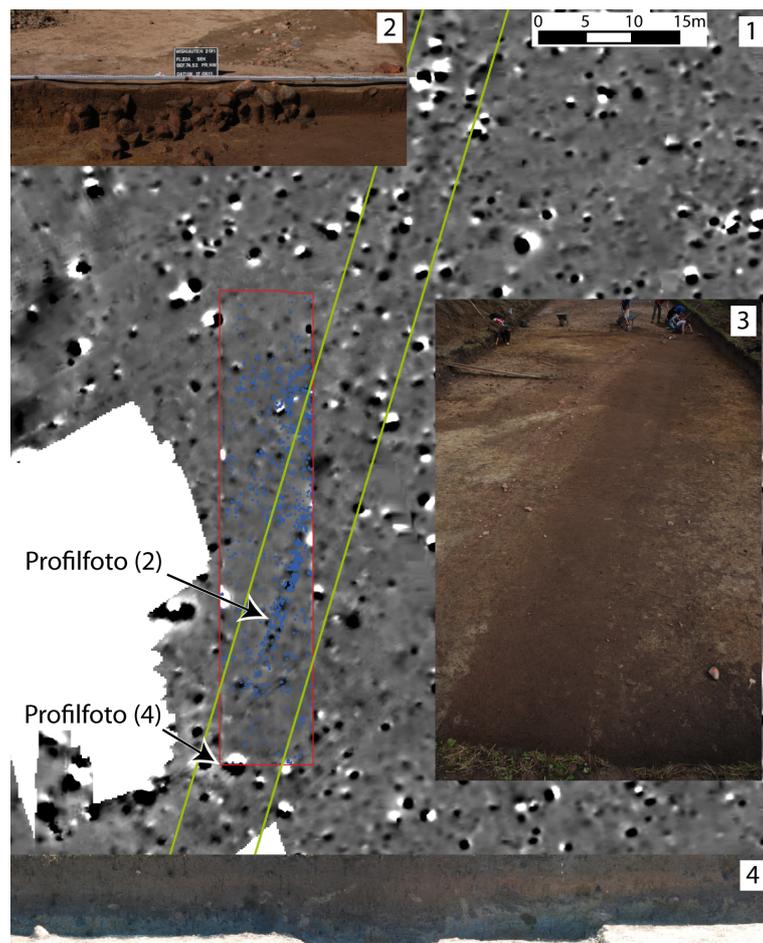


Abb. 8: Wiskiauten: (1) Übersicht; (2) Profilfoto 1; (3) Planumfoto; (4) Profilfoto 2. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

einen Ausschnitt nahe dem nördlichen Ende der Geomagnetikfläche D von dem Fundplatz Wiskiauten (vgl. Abb. 24). Eine ca. 100 m lange Struktur zieht sich von Nordosten nach Südwesten durch das Magnetikbild. Auf einer Länge von etwa 30 Metern wurde diese lineare Struktur 2011 in der Grabungsfläche 22E aufgedeckt (Abb. 8.1, roter Rahmen). Die Grabung zeigte, dass es sich bei der Struktur um einen etwa 2 m breiten Graben handelt (Abb. 8.3, dunkler Streifen in der Mitte des Bildes), der stellenweise mit Steinen verfüllt ist. Die gegrabenen Steine sind als blaue Umriss auf den Magnetikplan geplottet. Es wird deutlich, dass die Dichte an Steinen stark variiert bis hin zu Bereichen im Grabenverlauf, die frei von Steinen sind. Die beiden Profile in der Abbildung zeigen den Graben einmal mit (Abb. 8.2) und im Südprofil der Grabungsfläche 22E (Abb. 8.4) ohne Steine. Eine Bohrcatena an einer beliebigen Stelle hätte entweder die Steinverfüllung oder den humos verfüllten Graben als Ergebnis erbracht und damit ein zwar nicht falsches, aber weit ungenaueres

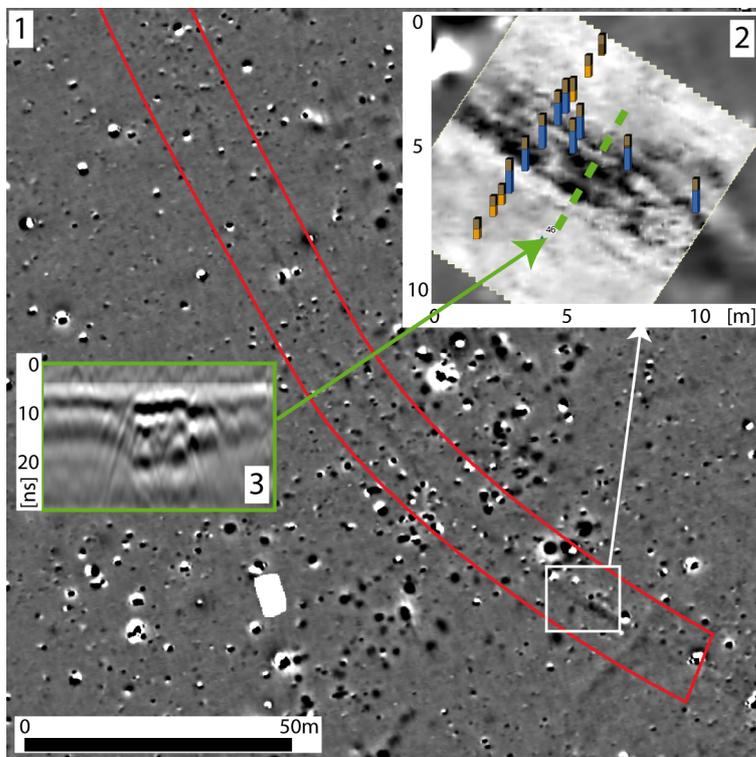


Abb. 9: Wiskiauten: **(1)** Geomagnetikplan: der rote Rahmen markiert die Struktur; **(2)** Georadar: Timeslice bei 12 ns mit Bohrergebnissen (dunkelbraun=Ackerhorizont, blau=Stein, gelb=anstehender Boden); **(3)** Radargramm entlang der grünen Linie in (2) von SW nach NE; Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

Bild der Struktur ergeben, was den Vorzug der archäologischen Ausgrabung verdeutlicht. Eine zweite lineare Struktur in oben genannter Geomagnetikfläche D in Wiskiauten (Abb. 24, mittig) wurde mit dem Georadar und einer Bohrcatena untersucht (Abb. 9). Die Struktur ist ca. 200 m lang und erstreckt sich in einem leichten Bogen von Nordwesten nach Südosten. An ihrem südöstlichen Ende kreuzt sie eine zweite Struktur, die sich in südwestlich-nordöstlicher Richtung durch die Magnetikfläche zieht. 15 m nördlich des Knotenpunktes wurde einerseits eine Bohrcatena mit einem Lochabstand von 1 m senkrecht zur linearen Anomalie erstellt, andererseits wurde eine 10 m x 10 m große Fläche in dem Bereich der Catena mit dem Radar untersucht (Abb. 9.1 (weißer Rahmen), vgl. Abb. 35). Die Bohrcatena erbrachte eine massive Steinlage ca. 40 cm unter der Oberfläche auf einer Breite von 3,5 m. Dies deckt sich relativ gut mit den Georadarergebnissen, die eine massive Lage mit hohen Signalamplituden in einer Tie-

Bild der Struktur ergeben, was den Vorzug der archäologischen Ausgrabung verdeutlicht.

Eine zweite lineare Struktur in oben genannter Geomagnetikfläche D in Wiskiauten (Abb. 24, mittig) wurde mit dem Georadar und einer Bohrcatena untersucht (Abb. 9). Die Struktur ist ca. 200 m lang und erstreckt sich in einem leichten Bogen von Nordwesten nach Südosten. An ihrem südöstlichen Ende kreuzt sie eine zweite Struktur, die sich in südwestlich-nordöstlicher Richtung durch die Magnetikfläche zieht. 15 m nördlich des Knotenpunktes wurde einerseits eine Bohrcatena mit einem Lochabstand von 1 m senkrecht zur linearen

fe von 35 cm–45 cm vermuten ließen, dies allerdings nur auf einer Breite von 2,6 m. Der südwestliche Stein in der Bohrcatena in Bohrung „cat4_08“ (vgl. Abb. 35) gehört wahrscheinlich nicht zu der eigentlichen Steinschicht, die die Anomalie erzeugt, oder er wurde durch die ackerbauliche Tätigkeit mit dem Pflug hierher bewegt. Das Grabungsergebnis des ersten Beispiels hat gezeigt, dass man in diesem Fall nur unter Vorbehalt ein durchlaufendes Steinpflaster als Ursache der Anomalie postulieren darf.

4.2 Analyse der Magnetikdaten

Unter Einbeziehung aller bekannten Vorinformationen, erfolgt eine Beurteilung des Fundplatzes. Sollen geophysikalische Prospektionsmethoden eingesetzt werden, muss der Fundplatz auf seine Tauglichkeit für die verschiedenen Methoden beurteilt werden. Die Geomagnetik z. B. lässt sich in stark bebauten Bereichen kaum einsetzen. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass sich z. B. Grubenhausbefunde in deutlichen Anomalien im geomagnetischen Messbild zeigen (VON CARNAP-BORNHEIM u. HILBERG 2008; DOBAT 2010; LORRA u. a. 2002; TIPPER 2004, 23). Auf dem Fundplatz Groß Strömkendorf hat sich herausgestellt, dass häufig nur die in den Grubenhäusern vorkommenden Feuerstellen in der Magnetik sichtbar sind (TUMMUSCHEIT 2011). Soweit es möglich ist, wird jedoch mit der Magnetik begonnen, da sich aufgrund des schnellen Messfortschritts mit dieser Methode ein rascher Überblick über die zu erwartenden Strukturen verschaffen lässt. Finden sich in den Geomagnetikdaten interessante Strukturen oder Anomalien, so können in einem nächsten Arbeitsschritt höher auflösende Methoden eingesetzt werden, die aufgrund ihres langsameren Messfortschritts allerdings in der Regel nur für ausgesuchte Teilbereiche verwendet werden. Zeigt die Magnetik kein zufriedenstellendes Resultat, können andere Methoden in Teilbereichen getestet und bei zufriedenstellendem Ergebnis für die Prospektion eingesetzt werden.

Auf den Fundstellen, deren Prospektionsergebnisse zur Erstellung dieser Arbeit genutzt wurden, stand die geomagnetische Prospektion immer an erster Stelle und wurde teilweise in weiteren Arbeitsschritten durch anderen geophysikalische Methoden ergänzt. Daher soll im Folgenden besonders die Entwicklung einer Methode zur automatisierten Analyse der Magnetikdaten im Vordergrund stehen.

4.2.1 Automatisierte Markierung der Anomalien

Bei der Vielzahl an erkennbaren Strukturen in den geomagnetischen Messbildern und der aufgrund des schnellen Messfortschrittes großen Datenmenge, ist es wünschenswert, die Strukturen automatisiert zu erkennen und zu markieren. Das Programm ArcMap der Programmgruppe ArcGIS der Firma Esri bietet zwei Werkzeuge, die dies ermöglichen. Mit der Slope-Analyse lassen sich alle Metallobjekte in den Magnetikbildern markieren und die Fuzzy-Membership-Analyse detektiert die übrigen Anomalien.

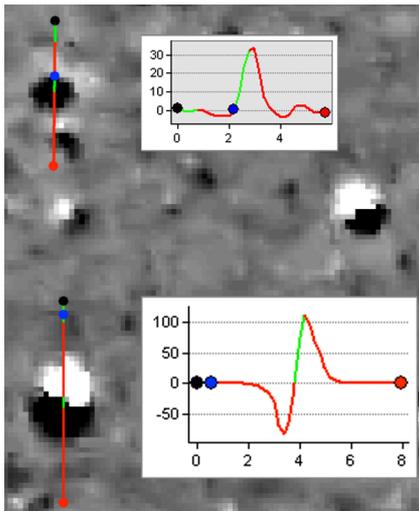


Abb. 10: Schnitte durch zwei geomagnetische Anomalien: oben: archäologische Grube, unten: Metallgegenstand.

Abbildung 10 zeigt ein Beispiel für zwei Anomalien in den Magnetikdaten von Wiskiauten, deren Ursache festgestellt werden konnte. Die obere Anomalie konnte mithilfe einer Pürckhauer-Bohrung als ca. 50 cm tiefe Grube identifiziert werden. An der Stelle der unteren Anomalie wurde mit dem Metalldetektor auf der Oberfläche ein Abfallprodukt eines modernen Pfluges gefunden. Betrachtet man nun die Graphen der beiden Anomalien, zeigt sich bei der Grube, dem erfassten archäologischen Objekt, eine Kurve mit einem deutlichen positiven Peak (vgl. Abb. 10 oben). Der Graph des Metallgegenstands hingegen hat zwei Peaks, einen im positiven Bereich und einen im negativen (vgl. Abb. 10 unten). Solche Peaks lassen sich nun mithilfe der Slope-Analyse und der Fuzzy-Membership-Analyse erkennen. Im Folgenden seien einige Beispiele für magnetische

Anomalien aufgelistet, die während der Feldforschungen in Wiskiauten untersucht wurden.

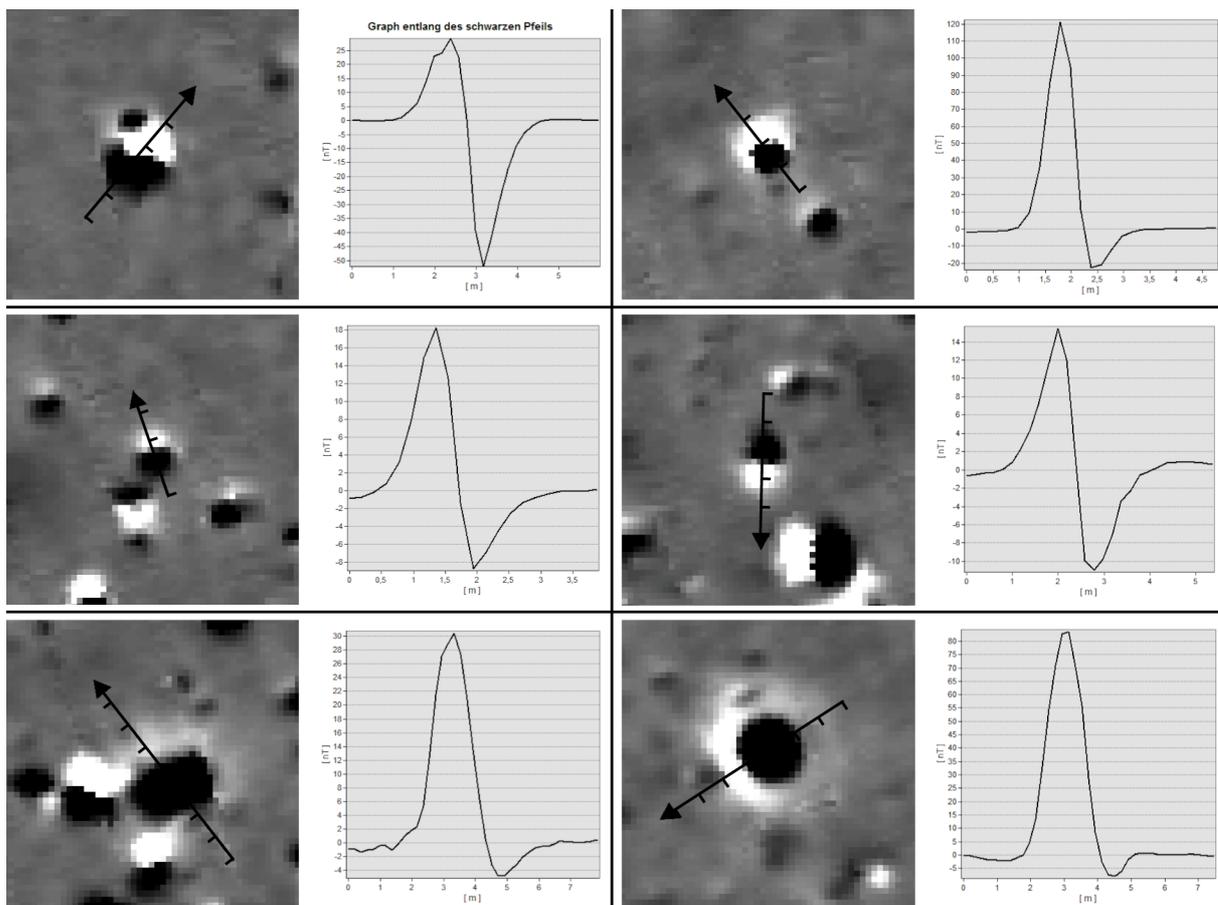


Abb. 11: Verschiedene Anomalientypen. Jeweils links: Magnetikdaten und rechts: Graph entlang des schwarzen Pfeils. Magnetikbild: 10 m x 10 m; Länge Graphen: Länge der schwarzen Pfeile; Unterteilung Pfeile: 1 m; Reihen 1 und 2: Eisenobjekte; Reihe 3: Steine. Magnetik: ± 6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

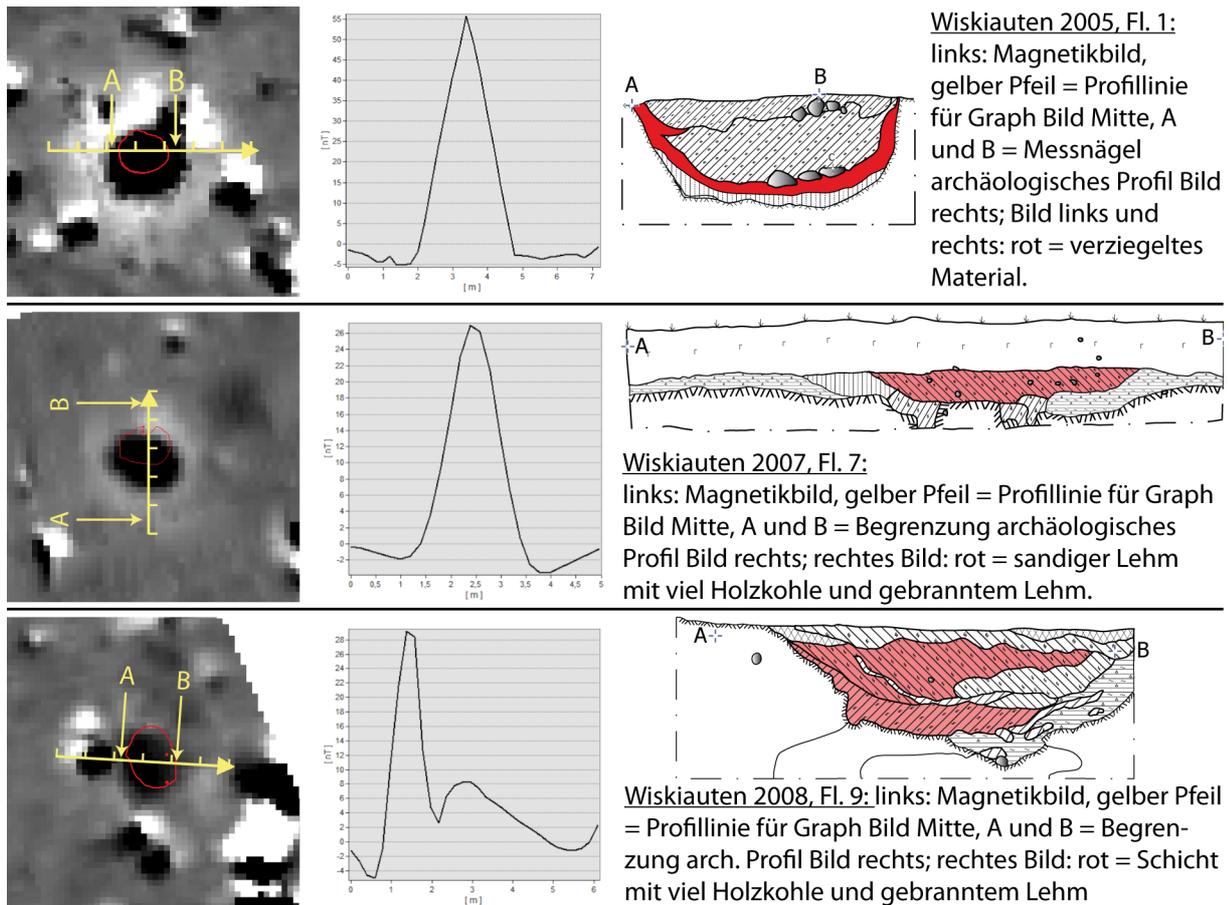


Abb. 12: Verschiedene Anomalien von Gruben. Jeweils links die Magnetikdaten, mittig der Graph entlang des gelben Pfeils, rechts das archäologische Profil. Größe Magnetikbild: 10 m x 10 m; Länge Graph: Länge des gelben Pfeils; „A“ und „B“: Position der Profillnägel im archäologischen Profil; Magnetik: -/+6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

4.2.1.1 Slope-Methode

Bei dem Tool „Slope“ handelt es sich um ein Werkzeug, mit dem sich die Hangneigung von Oberflächenmodellen berechnen lässt. Das Oberflächenmodell setzt sich aus einzelnen Rasterzellen zusammen, deren horizontale und vertikale Position durch die Werte x und y festgelegt sind. Die jeweilige Höhe der Rasterzelle ist in dem Wert z gespeichert. Die räumliche Änderungsrate der Größe z am Ort einer zentralen Rasterzelle e im Vergleich zu ihren 8 umliegenden Rasterzellen a, ..., i (vgl. Skizze) wird bestimmt und an der Stelle e einer neuen Matrix SL gespeichert. Die Berechnung folgt dabei folgender Formel (vgl. Neigungsalgorithmus (BURROUGH u. McDONNELL 2006)):

a	b	c
d	e	f
g	h	i

$$SL(e) = ATAN(\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2})$$

Die horizontalen Gradienten oder Änderungsraten [dz/dx] (Änderungsrate in x-Richtung) und [dz/dy] (Änderungsrate in y-Richtung) für die Rasterzellen a, ..., i mit der Rasterzellengröße $x_cellsize * y_cellsize$ werden dabei folgendermaßen berechnet:

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g))/(8 * x_cellsize)$$

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c))/(8 * y_cellsize)$$

Die Rasterzellen eines Magnetikbildes enthalten statt eines Höhenwertes die Feldstärke des Erdmagnetfeldes an der Position der Zelle. Mithilfe des Werkzeugs Slope lässt sich also die Änderungsrate der Feldstärke im Vergleich zu denen der umliegenden Rasterzellen berechnen. Mithilfe der Matrix SL lassen sich Anomalien in Geomagnetikdaten automatisch klassifizieren. Insbesondere

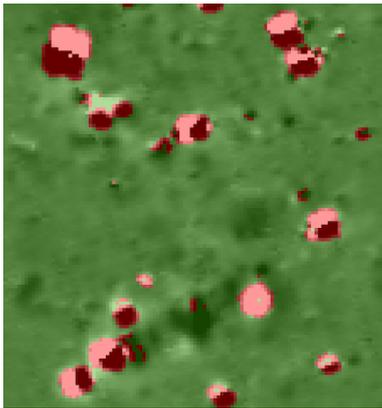


Abb. 13: Ergebnis der Slopeanalyse: grün = Bereich B: 0-86, rot = Bereich A: 86-90.

lassen sich auf diese Weise Metallgegenstände in Magnetikbildern detektieren. Durch die starken Amplituden, die ein Metallobjekt erzeugt (vgl. Abb. 10), ist die berechnete Änderungsrate bei solchen Anomalien sehr viel größer als bei den meisten archäologischen Objekten. Durch die Einführung eines Schwellwertes T lassen sich daher Metallobjekte als Ganzes von anderen Objekten und der Umgebung trennen (vgl. Abb. 13, rot markierte Bereiche).

Der Wertebereich der Matrix SL bewegt sich zwischen 0 und 90, wobei letzteres eine maximale Änderungsrate wiedergibt. Durch manuelle Festlegung eines Schwellwertes T lässt sich nun das Magnetikraster in zwei Bereiche A > T und B < T aufteilen. Metallobjekte, die aufgrund ihrer starken Amplituden über dem Schwellwert liegen, fallen somit in den Bereich A (vgl. Abb. 13, rot), die restliche umgebende Fläche sowie andere Anomalien mit schwächeren Amplituden fallen in den Bereich B (vgl. Abb. 13, grün). Mit der Methode wird der Randbereich eines Dipols detektiert. Der gesamte Bereich innerhalb wird dem Dipol zugeordnet. Durch die Festlegung dieser Grenzen lassen sich alle Messwerte markieren, die zu dem Dipol gehören und die automatisch markierten Bereiche A und B lassen sich in ArcGIS dazu nutzen, den einzelnen Magnetikwerten die Bereiche A und B zuzuordnen. Damit werden automatisch die Magnetikwerte identifiziert, die dem Metallobjekt zugewiesen werden können. Für weitere Analysen lassen sich diese Werte nun gezielt ausschließen.

Mit der Slope-Analyse ist es somit zum einen allgemein möglich, Anomalien automatisch zu detektieren, zum anderen Metallobjekte, die sich durch sehr hohe Messwerte mit starkem Gradienten kennzeichnen, von anderen Objekten zu trennen. Da es natürlich auch archäologische Objekte mit sehr hohen Messwerten gibt, die bei dieser Methode ebenfalls markiert werden, ist eine manuelle Überprüfung der markierten Messwertbereiche in einem folgenden Schritt notwendig. Diese Überprüfung kann auch automatisiert werden durch Auswertung der Anomalie internen Messwerte.

4.2.1.2 Fuzzy Membership-Methode

Die Fuzzy-Membership Methode ist das andere Tool, mithilfe dessen in ArcGIS Anomalien automatisiert detektiert werden können. Mithilfe der Fuzzy-Methode wird das Geomagnetikraster in ein Wahrscheinlichkeitsraster transformiert, welches im Anschluss genutzt werden kann, Punkte mit

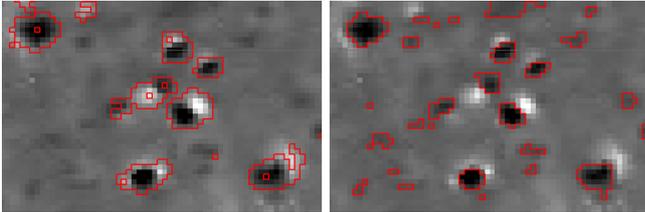


Abb. 14: links: Markierung mit der Slope-Berechnung; rechts: Markierung mit dem Fuzzyfizierungsalgorithmus.

ähnlicher Wahrscheinlichkeit einer Fläche zuzuordnen, welche den Anomalien entsprechen. Eine Wahrscheinlichkeit gegen 1 entspricht dabei einer Anomalienzugehörigkeit, eine Wahrscheinlichkeit gegen 0 einer Umgebungszugehörigkeit.

Aus den zur Verfügung stehenden Funktionen der Methode wurde hier die Funktion Fuzzy MS Large gewählt, da bei dieser die Wahrscheinlichkeit eines Punktes zu einer Menge zu gehören mit steigendem Eingabewert zunimmt. Die Funktion beruht auf folgendem Algorithmus

If $x > a * m$

$$u(x) = 1 - (b * s) / (x - (a * m) + (b * s))$$

If $x \leq a * m$:

$$u(x) = 0$$

Dabei sind m der Mittelwert und s die Standardabweichung einer Umgebung des Punktes x , a und b sind anwendungsabhängige Skalierungsfaktoren (ESRI 2013).

Auf diese Weise können somit Anomalien mit ähnlichen Messwerten, unabhängig von ihrem absoluten Messspektrum, detektiert werden - sowohl Anomalien mit niedrigen Amplituden als auch solche mit hohen Amplituden. Damit wird das Ergebnis der Slope Methode erweitert, welche im Gegensatz zur Fuzzy Methode insbesondere Dipole markiert (vgl. Abb. 14).

4.2.2 Metallschrott? Nein danke!

Wie im vorigen Kapitel erläutert, ist es mithilfe der Slope-Methode möglich, Anomalien in Geomagnetikdaten automatisiert zu erkennen und zu markieren, deren Amplituden sich sprunghaft zum Zentrum der Anomalie hin ändern. Dies ist insbesondere bei Metallobjekten der Fall, die sich klar von anderen Anomalien in den Magnetikdaten durch ein kombiniertes Auftreten von sehr hohen und sehr niedrigen Amplituden unterscheiden, den sogenannten Dipolen (vgl. Abb. 11 und Abb. 15). Da anhand der Slope-Methode Anomalien in ihrem Ganzen erkannt werden, ist es mittels einer folgenden Texturanalyse relativ leicht möglich, Metallteile von anderen Anomalien abzu-

grenzen. Mit Hilfe der auf die Dipole begrenzten Analysemaske lassen sich in weiteren Arbeitsschritten diese Bereiche aus den magnetischen Messdaten entfernen.

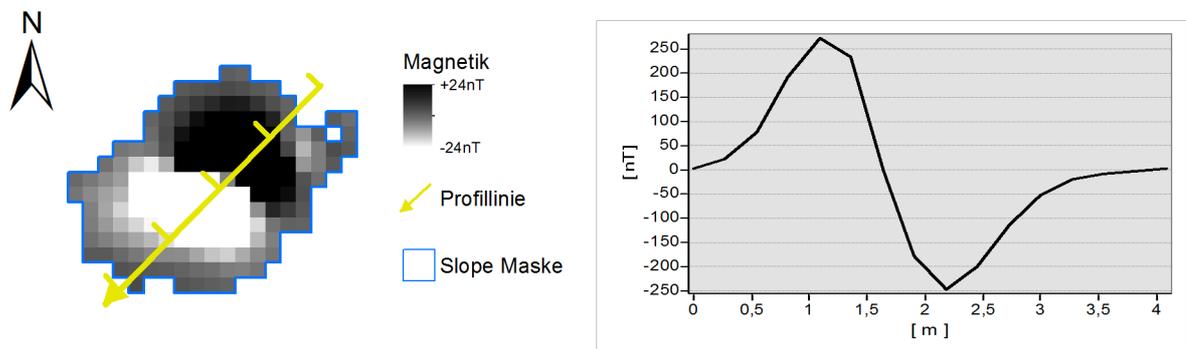


Abb. 15: Anomalie eines Metallobjekts im geomagnetischen Messbild: Die Magnetikdaten sind auf den von der Slope-Analyse markierten Bereich begrenzt (blauer Rahmen). Der Graph zeigt die gemessenen Magnetikwerte entlang des gelben Pfeils von rechts oben nach links unten.

4.2.3 Dichteverteilung

Eine räumliche Anhäufung von Anomalien deutet auf einen erhöhten anthropogenen Einfluss hin. Auch wenn nicht jede solche Anomalie ein archäologischer Befund und anthropogen beeinflusst sein muss, kann eine Anhäufung von Anomalien daher mit einer erhöhten anthropogenen Tätigkeit gleichgesetzt werden.

Um eine Anhäufung von Anomalien in den Geomagnetikdaten festzustellen, lässt sich das Werkzeug Dichte des Programms ArcMap der Programmgruppe ArcGIS der Firma Esri verwenden. Dabei wird die Verteilung der mittels Slope- und Fuzzy Membership-Methode bestimmten Anomalien (vgl. Kapitel 4.2.1) berechnet. Dies geschieht hier basierend auf einer quadratischen Kernel-Funktion für die Mittelpunkte der Anomalien x , wie sie auch in SILVERMAN (1986, 76 Gleichung 4.5) beschrieben wird.

$$K_2(x) = \begin{cases} 3\pi^{-1}(1 - x^T x)^2 & \text{if } x^T x < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Mit obiger Methode lassen sich also Bereiche, die aufgrund ihrer erhöhten Anomaliendichte für eine erhöhte anthropogene Tätigkeit sprechen, in den geomagnetischen Messdaten identifizieren. Ein gutes Beispiel, bei dem mittels einer Dichtekartierung unter anderem die Fundplatzgrenzen deutlich bestimmt werden konnten, stellen die Fundplätze aus der Suzdaler Region dar (vgl. Kapitel 9). Zusätzlich ist es dort sogar gelungen nicht nur die Fundplatzgrenzen anhand der Dichtekartierung zu bestimmen, sondern es konnten auch verschiedene Aktivitätsbereiche innerhalb eines Fundplatzes nachgewiesen werden (vgl. Kapitel 9.4).

4.2.4 Klassifizierung

Archäologische Ausgrabungen oder Bohrungen lassen eine Interpretation der geophysikalisch erfassten Strukturen zu. Vor allem die Ausgrabung lässt sehr genaue Rückschlüsse über Form, Gliederung oder Tiefe der gefundenen Anomalie zu, aber auch über die bodenkundlichen oder hydrologischen Eigenschaften der Verfüllung und macht eine Klassifizierung der Befunde möglich. Da nicht jede in den Magnetikbildern detektierte Anomalie ausführlich genug untersucht werden kann, um sie eindeutig zu bestimmen, wäre es schön, automatisch von den Geomagnetikdaten auf die Art einer Anomalie schließen zu können. Unter der Annahme, dass gleiche Befunde auch gleiche Anomalien in den Magnetikdaten hinterlassen, lässt sich dies mithilfe des Korrelationskoeffizienten realisieren.

Der 1899 von Pearson eingeführte Korrelationskoeffizient r ist ein statistisches Maß für die lineare Abhängigkeit zweier Variablen x und Y voneinander (BENESCH 2013, 68). Mittels Division der Stichprobenkovarianz s_{xy} der beiden Variablen durch die jeweiligen Standardabweichungen s_x und s_y ist dieser Koeffizient zu erhalten (BENESCH 2013).

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}$$

Der Korrelationskoeffizient ist dimensionslos und nimmt Werte zwischen -1 und +1 an. Das negative Vorzeichen steht für einen gegensinnigen Zusammenhang, das positive für einen gleichgesinnigen. Je näher der Betrag des Korrelationskoeffizienten an 1 bzw. -1 liegt, desto stärker bzw. geringer

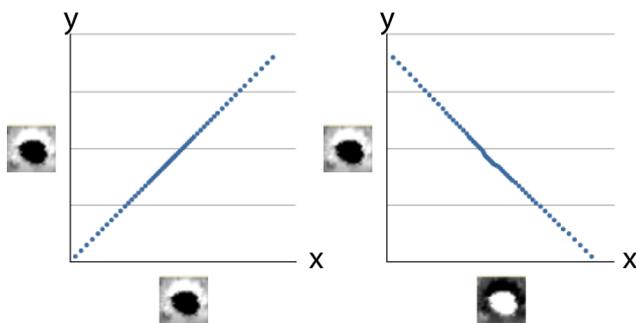


Abb. 16: Interpretation des Korrelationskoeffizienten. y-Achsen: Ausgangsanomalie, x-Achsen: Magnetikdaten an der Position des Magnetikbildes, an der der Korrelationskoeffizient berechnet wird.

ist der Zusammenhang und desto dichter liegen die Punkte (X, Y) in der Visualisierung an einer gedachten Diagonalen (vgl. Abb. 16). Bei Annäherung von r gegen 0 ergibt sich eine Streuung in Form einer Punktwolke um diese gedachte Gerade (BEWERSDORFF 2011, 82f.). Bei $|r| = 1$ spricht man von einer vollständigen Korrelation (lineare Abhängigkeit), im Falle $0 < |r| < 0,5$ von schwacher und bei Werten $0,5 < |r| < 1$ von mäßiger bzw. starker Korrelation (MITTAG 2012, 122).

Der Korrelationskoeffizient findet in vorliegender Arbeit folgendermaßen Anwendung. Eine in einem Geomagnetikbild als archäologischer Befund identifizierte Anomalie wird zunächst extrahiert und diese anschließend Pixel für Pixel mit dem restlichen Magnetikbild verglichen und der Korrelationskoeffizient berechnet. Man erhält ein Rasterbild, bei dem jede Rasterzelle einen Wert zwischen

-1 und +1 erhält, der den Grad der Ähnlichkeit an der jeweiligen Position im Bild zu der Ausgangsanomalie wiedergibt. Somit lassen sich also alle Bereiche in den Magnetikbildern erschließen, die einen hohen linearen Zusammenhang zu der für die Analyse gewählten Anomalie besitzen.

Eine vorherige Einteilung der bekannten Anomalien in bestimmte Befundkategorien (vgl. Kapitel 5.2.3.1) erlaubt die Identifikation dieser Kategorien in den Messbildern. Führt man die Analyse für weitere Anomalien der gleichen Kategorie durch und weisen die gleichen Bereiche in den übrigen Magnetikdaten wiederum einen hohen linearen Zusammenhang aus, wird eine Zuordnung der gemessenen, aber nicht weiter untersuchten Anomalie zu der Kategorie immer wahrscheinlicher. Eine abschließende räumliche Verschneidung des Ergebnisrasters mit den automatisiert markierten Anomalien (vgl. Kapitel 4.2.1) erlaubt eine Einteilung der mit der Slope-/Fuzzy Membership-Methode markierten Anomalien.

4.2.5 Zusammenfassung

In dem vorangegangenen Kapitel wurde beschrieben, wie mithilfe der Slope- und Fuzzy Membership-Analyse eine automatisierte Erkennung geomagnetisch detektierter Anomalien möglich ist. Dabei werden in einem ersten Arbeitsschritt unter der Verwendung der Slope-Analyse Anomalien, die sehr hohe Amplituden aufweisen und damit einen festgelegten Schwellwert übertreffen, in den Magnetikdaten markiert (vgl. Abb. 17.1). Auf diese Weise werden in den Bildern Dipole detektiert, die auf der einen Seite modernen Metallschrott als Ursache haben können, welcher nicht weiter betrachtet werden soll, auf der anderen Seite aber auch archäologisch relevante Befunde. Um diese voneinander zu trennen, ist eine anschließende visuelle Betrachtung von Nöten (vgl. Abb. 17.2).

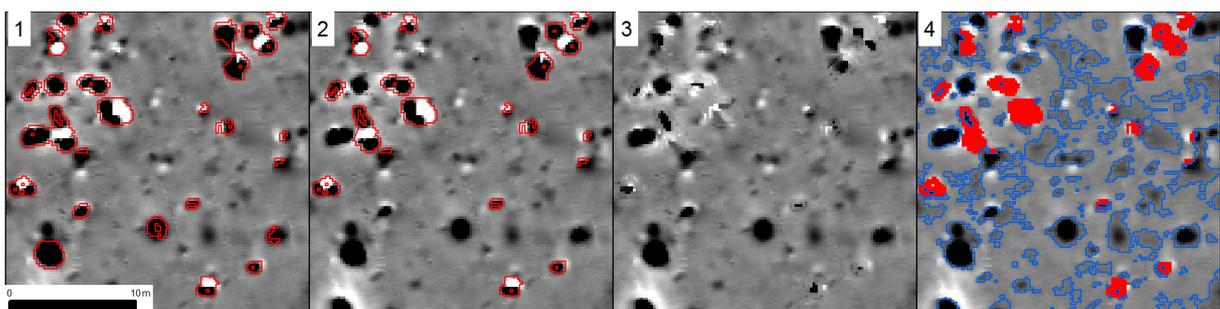


Abb. 17: Arbeitsschritte der automatisierten Markierung: **(1)** Slopeanalyse der Magnetikdaten; **(2)** manuelle Überarbeitung der Slopeanalyse; **(3)** die durch die Slopeanalyse detektierten Anomalien sind aus den Messdaten gelöscht und die entstandenen Lücken sind durch Interpolation geschlossen; **(4)** Fuzzy Membership-Analyse auf Grundlage der bereinigten Daten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

Die als Metallschrott erkannten Dipole werden in einem folgenden Schritt eliminiert, indem sie aus den Messdaten herausgeschnitten werden. Die fehlenden Messdaten in den so entstandenen Lücken in den Geomagnetikbildern können zur Visualisierung unter Verwendung der Messwerte im Randbereich der Fehlstellen interpoliert werden (vgl. Abb. 17.3). Auf Basis der durch die Slope-

Methode bereinigten Magnetikdaten wird die Fuzzy Membership-Analyse durchgeführt, mithilfe derer die übrigen Anomalien in den Messdaten detektiert werden können (vgl. Abb. 17.4). Die so erhaltene Anomalienmaske kann nun für die Berechnung der Dichteverteilung genutzt werden (vgl. Kapitel 9.3, u.a.) oder zur Unterstützung der Interpretation der verschiedenen Anomalientypen in den Magnetikbildern herangezogen werden. Dabei ermöglicht z. B. eine räumliche Verschneidung der Anomalienmaske mit dem Ergebnis einer Korrelationsuntersuchung die Zuweisen der Anomalien zu bestimmten Befundkategorien (vgl. Kapitel 5.3.4 oder 8.2).

Teil II: Anwendungsbeispiele

Die Anwendung der in Teil I vorgestellten Analysemöglichkeiten zur automatisierten Verarbeitung von Geomagnetikdaten sollen in diesem Kapitel an fünf Beispielen vorgestellt werden. Abbildung 18 zeigt die Lage der Fundplätze.

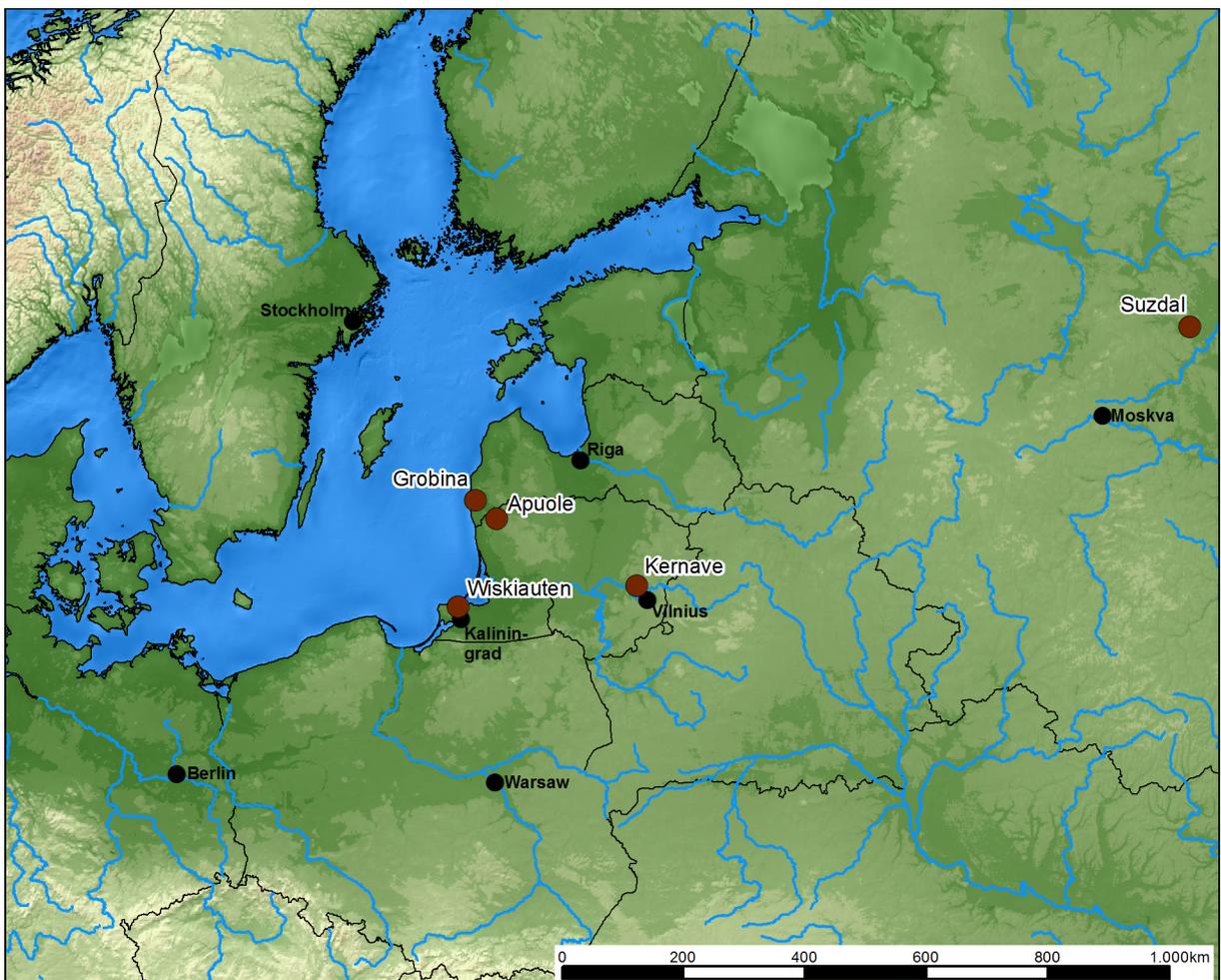


Abb. 18: Übersicht der in dieser Arbeit vorgestellten Fundplätze (rote Punkte).

5 Wiskiauten (Russland)

Seit dem Jahr 2005 fanden unter der Leitung von Dr. T. Ibsen auf dem Fundplatz Wiskiauten archäologische Untersuchungen statt, deren Ziel die Auffindung von Siedlungsspuren im Umfeld des bereits seit 1865 bekannten Hügelgräberfeldes von Wiskiauten (heute Mohovoe im Kaliningrader Gebiet (Russland)) war. Im Jahr 2007 gelang es, bei der DFG einen Antrag im Normalverfahren be-

willigt zu bekommen, der die Finanzierung der Feldforschungen bis 2012 ermöglichte. Unter dem Titel „Suzdal und Mohovoe/Wiskiauten – Prospektion und Erforschung frühmittelalterlicher Siedlungskammern im Kaliningrader Gebiet und in Westrussland“ wurde ein Projekt begonnen, das sich mit der großflächigen geophysikalischen Untersuchung von zwei archäologischen Siedlungsräumen beschäftigt hat (IBSEN 2008a). Die Ergebnisse der archäologischen Feldforschung in Wiskiauten der Jahre 2005-2007 werden in der Dissertation von T. IBSEN (2010) im Detail erläutert. Alle weiteren Feldforschungen sind in Form von Grabungsberichten am Archäologischen Landesmuseum in Schleswig einzusehen. Der Verfasser hat an allen Feldforschungskampagnen in Wiskiauten teilgenommen und sich im Rahmen des DFG Projekts bis zum Beginn der Dissertation 2010 mit dem Aufbau eines GIS Systems für die Fundplätze Wiskiauten und die des Suzdaler Opolje und der Digitalisierung der Grabungsdokumentation beschäftigt.

5.1 Das Denkmal

Der Fundplatz Wiskiauten ist eingebettet in eine dicht besiedelte Landschaft, in der sich Nachweise menschlicher Aktivität von der Steinzeit bis in die Neuzeit aufdecken lassen (Abb. 19; vgl. IBSEN 2010, Abb. 263-264). Für die Interpretation der Mess- und Grabungsergebnisse ist dies wichtig, für das Forschungsprojekt sind insbesondere die frühmittelalterlichen Siedlungsspuren von zentraler Bedeutung (ebd. Abb. 264). Ab dem 5. Jahrhundert n. Chr. kristallisiert sich in der Region eine immer dichter werdende Siedlungstätigkeit heraus, die ihren Höhepunkt im 13. Jahrhundert n. Chr. zu finden scheint, als die Region durch den Deutschen Orden erobert wurde und eine mit der Eroberung einhergehende Umstrukturierung erfuhr (ebd. 78). Die allgemein in der Region sehr spärlich nachgewiesene Besiedlungsphase des 5.–6. Jahrhunderts n. Chr. zeigt sich auf dem Fundplatz Wiskiauten gleich an mehreren Stellen. Da auf dem in erster Linie skandinavisch geprägten Gräberfeld von Wiskiauten jedwede Hinweise auf Bestattungen des 5.–6. Jahrhunderts fehlen, und dies das einzige bisher bekannte Gräberfeld auf dem Fundplatz ist, gehören die Siedlungsspuren aus der Zeit vermutlich zu einer einheimischen prussischen Bevölkerung.

Die Belegung des Gräberfeldes in der Kaup bei Wiskiauten setzt erst im 9. Jahrhundert n. Chr. ein und erreicht im 10. Jahrhundert n. Chr. ihren Höhepunkt. Bis zum Beginn des DFG-Projektes stellte es den einzigen Hinweis auf die Anwesenheit von Skandinaviern in der Region dar. Verschiedene Fundplätze in der Umgebung sollen Fundmaterial aus der relevanten Zeit erbracht haben (u. a. Wikiau/Klincovka, Bledau/Sosnovka oder Wosegau/Vishnevoe), entziehen sich aber bisher der Überprüfung, da sie unpubliziert geblieben sind (IBSEN 2010, 80). Für die Kaup typische Bestattungen in Hügelgräbern enden in der ersten Hälfte des 11. Jahrhunderts n. Chr. Mit dem Ende der Verwendung dieser Bestattungsform einher geht in unmittelbarer Nähe die Entstehung prussischer Gräberfelder (u. a. „spätheidnischer Aschenplatz“ im Osten der Gräberfeldes in der Kaup bei Wiskiauten), die als Nachfolgegräberfelder interpretiert werden können (KULAKOV 2005). Eine Nutzung dieser Bestattungsplätze bis ins 12. Jahrhundert n. Chr. hinein lässt sich nachweisen. In der

Dissertation von T. Ibsen (2010, 81ff.) findet sich ein Überblick über den Forschungsstand zum Gräberfeld.

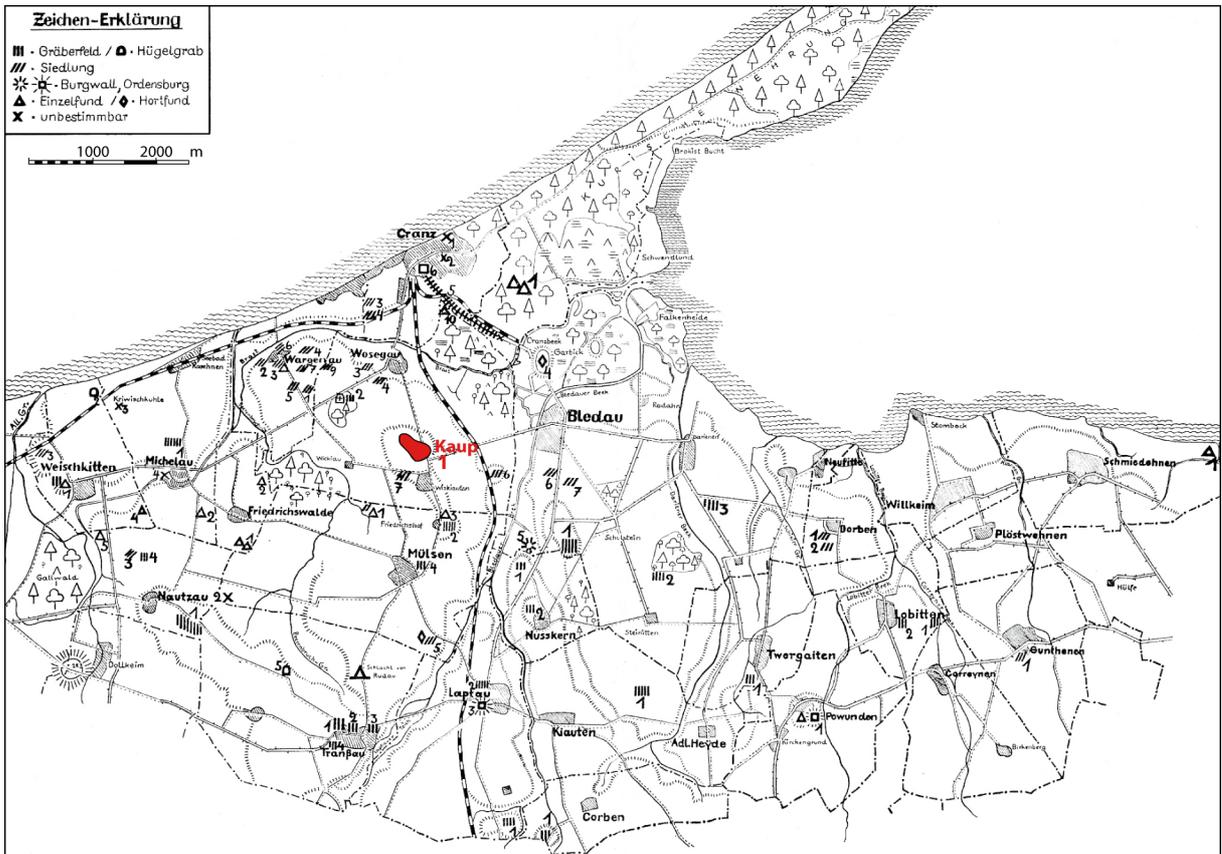


Abb. 19: Karte archäologischer Fundstellen in der Umgebung von Wiskiauten (KLEEMANN 1939, Abb. 1). In rot markiert ist das Gräberfeld Kaup bei Wiskiauten.

Ein sicherer Nachweis eines Burgwalls im direkten Umfeld des Fundplatzes lässt sich nicht erbringen, obwohl diese sonst in der Region sehr häufig auftreten. Die nächstgelegenen sicher datierten Fundplätze dieses Typs befinden sich in einigen Kilometern Abstand in südlicher bzw. westlicher Richtung. Dies passt allerdings sehr gut zu dem von HERRMANN (1985, 61) allgemein für Seehandelsplätze herausgearbeiteten Phänomen, dass diese immer in einem gewissen Abstand zu den Burgen bzw. dem politischen Zentrum einer Region gelegen haben.

5.2 Datenaufnahme und Zielsetzung

Im Laufe des DFG-Projektes wurden verschiedene Prospektionsmethoden auf dem Fundplatz Wiskiauten eingesetzt. Von geophysikalischer Seite aus wurden großflächige Geomagnetikuntersuchungen durchgeführt, um einen Überblick der im Boden vorhandenen Strukturen zu gewinnen. Zur detaillierteren Erforschung verschiedener geomagnetischer Anomalien wurden in einem weiteren Schritt kleinere Flächen mit dem Georadar untersucht. Archäologische Prospektionsmethoden kamen kaum zum Einsatz. Luftbilddaufnahmen konnten nicht erstellt werden, da der Fundplatz in einem militärischen Sperrgebiet liegt und dies in solchen Zonen verboten ist. Oberflächenbege-

hungen sind in Russland nur auf Flächen erlaubt, wo ackerbauliche Tätigkeiten stattfinden. Da die Flächen des Fundplatzes größtenteils brach lagen, konnten sie nur auf sehr kleinen Flächen stattfinden.

Im Folgenden wird ein Überblick über die geophysikalischen Messergebnisse gegeben und verschiedene der in Kapitel 4 vorgestellten Analysemöglichkeiten der Messdaten vorgestellt. Während des Forschungsprojektes wurden die geophysikalischen Prospektionsmethoden in erster Linie visuell angesprochen und ausgewertet. Die große Anzahl an Bohr- und Grabungsergebnissen auf dem Fundplatz macht es möglich, die computergestützten Analysemethoden und daraus resultierenden Interpretationsansätze zu verifizieren und ihre Effektivität zu überprüfen.

5.2.1 Geomagnetik

Von 2005–2011 fanden insgesamt sieben Messkampagnen in Wiskiauten statt, während derer größtenteils Magnetikmessungen durchgeführt wurden. In kleinerem Umfang wurden auf magnetisch bereits erfassten Flächen zusätzlich Radarmessungen durchgeführt (Kapitel 5.2.2). Die Radarmessungen fanden statt, um einerseits die Effektivität der Methode auf dem Fundplatz zu testen und darüber hinaus gezielt verschiedene Detailbereiche genauer zu untersuchen. Die erste Kampagne fand während der Ausgrabungen im Sommer 2005 statt. Aufgrund der Größe der Flächen kam bei der magnetischen Prospektion ein kleiner Traktor als Zugmaschine zum Einsatz, der einen Anhänger mit sechs oder acht Sonden hinter sich herzieht. Das Gespann ist zwar nicht sehr wendig, jedoch spielt dies bei zunehmender Länge der einzelnen Messbahnen eine untergeordnete Rolle. Die Messsonden und die GPS-Antenne zur Navigation sind auf dem Hänger angebracht, die Stromversorgung, das Navigationslaptop und der Datenlogger finden auf dem Traktor Platz und können von dem Fahrer bedient werden. Die ersten Messungen fanden im Süden und Westen des Wäldchens Kaup statt, in einem Bereich, in dem der russische Archäologe V. KULAKOV (2005, 62) Siedlungsspuren und sogar einen Wall vermutet. Eine detaillierte Ausführung der Forschungsgeschichte zu den Siedlungsspuren findet sich in der Dissertation von T. IBSEN (2010, 30f.). In den folgenden Jahren wurden bis 2011 insgesamt 155 ha Fläche im Umfeld des Gräberfeldes untersucht.

Zur besseren Ansprache der Magnetikdaten wurden diese in neun Flächen (Fl. A–I) aufgeteilt. Beginnend mit den ältesten Messdaten südlich der Kaup erstrecken sich die Flächen im Uhrzeigersinn um das Gräberfeld herum (vgl. Abb. 20). Dabei wurde die Gesamtheit der Messflächen aufgeteilt, ohne darauf zu achten, in welchem Jahr die Daten erhoben wurden. Über alle Jahre hinweg wurden die Daten mit der gleichen Qualität und Auflösung aufgezeichnet, so dass sich Messdaten aus verschiedenen Jahren in einem Bild kombinieren lassen. Zur Untersuchung angestrebte Areale wurden immer soweit vermessen, wie es Topografie und Vegetation zuließen. Lücken in den Bildern rühren daher, dass diese Bereiche zur Zeit der Vermessung nicht zugänglich waren.

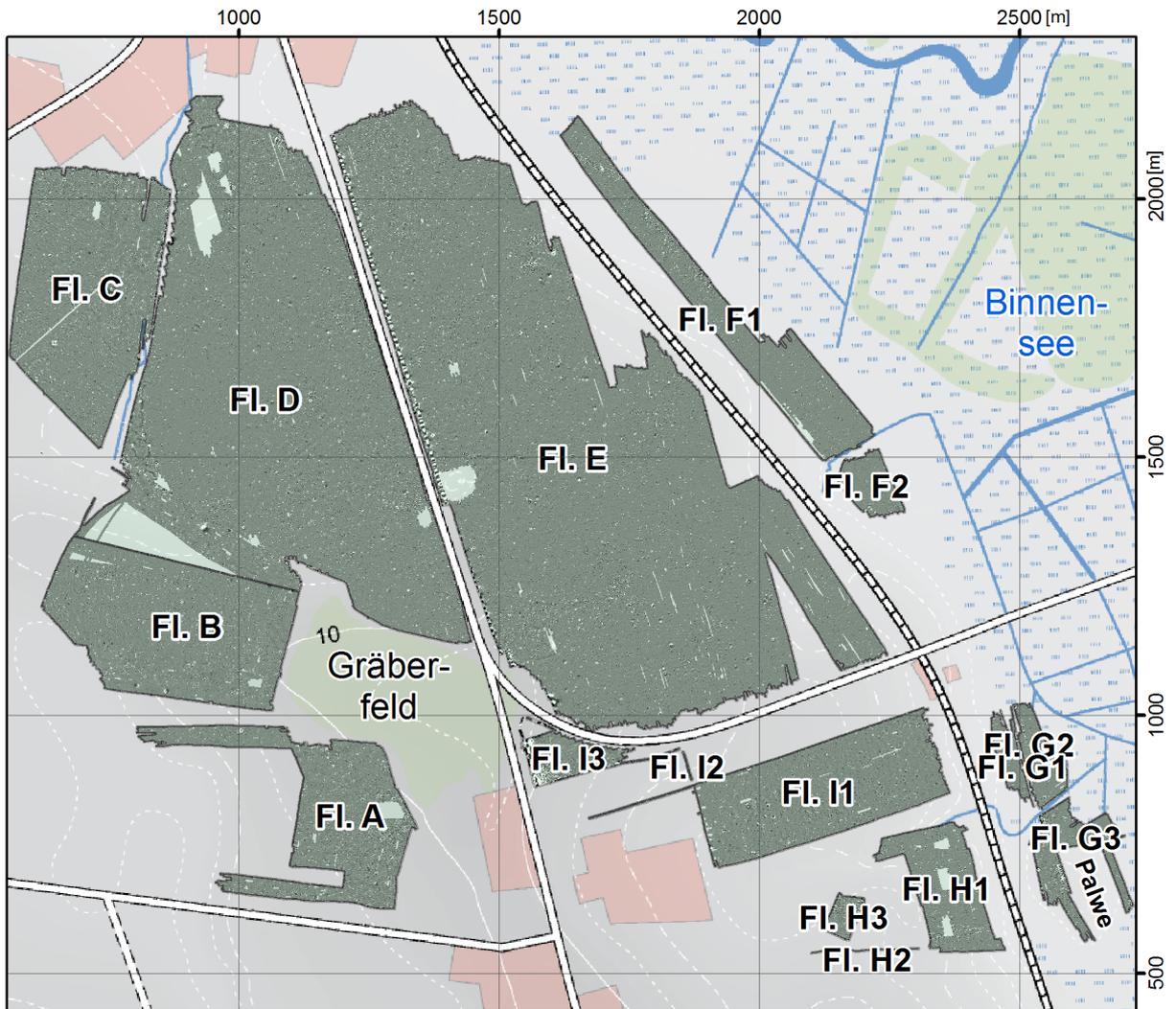


Abb. 20: Wiskiauten: Übersicht der Einteilung der Magnetikdaten in einzelne Teilflächen. Bei dem Koordinatensystem handelt es sich um ein lokal angelegtes Messraster, das für die komplette Vermessung und Bearbeitung des Fundplatzes genutzt wurde.

Für die einzelnen Magnetikflächen ist mithilfe der Dichteverteilung (vgl. Kapitel 4.2.3) die Anzahl der Anomalien pro m^2 errechnet und über die Magnetikdaten geblendet. Eine Kartierung der angebohrten Anomalien und die detaillierten Bohrergebnisse sind auf der CD im Anhang zu finden.

5.2.1.1 Fläche A

Direkt südlich des Wäldchens Kaup ist die Messfläche A gelegen (Abb. 21). Nach Westen hin erstrecken sich über die Wiese südlich der Kaup hinweg zwei ca. 50 m breite Streifen (vgl. Abb. 21: Quadranten A1-A6; G4-G8). Diese wurden geomagnetisch vermessen, um einen Eindruck der südwestlich der Kaup anschließenden Flächen zu erhalten. Der Bereich zwischen den beiden Streifen war zur Zeit der Vermessung der Fläche A sehr feucht und damit stellenweise nicht befahrbar. Die Gesamtgröße dieser Messfläche beträgt 7,28 ha und umfasst 9381 mithilfe der Fuzzy/Slope-Methode errechnete Anomalien. Es wurden 23 Anomalien angebohrt und mit 18 Kontrasten überprüft.

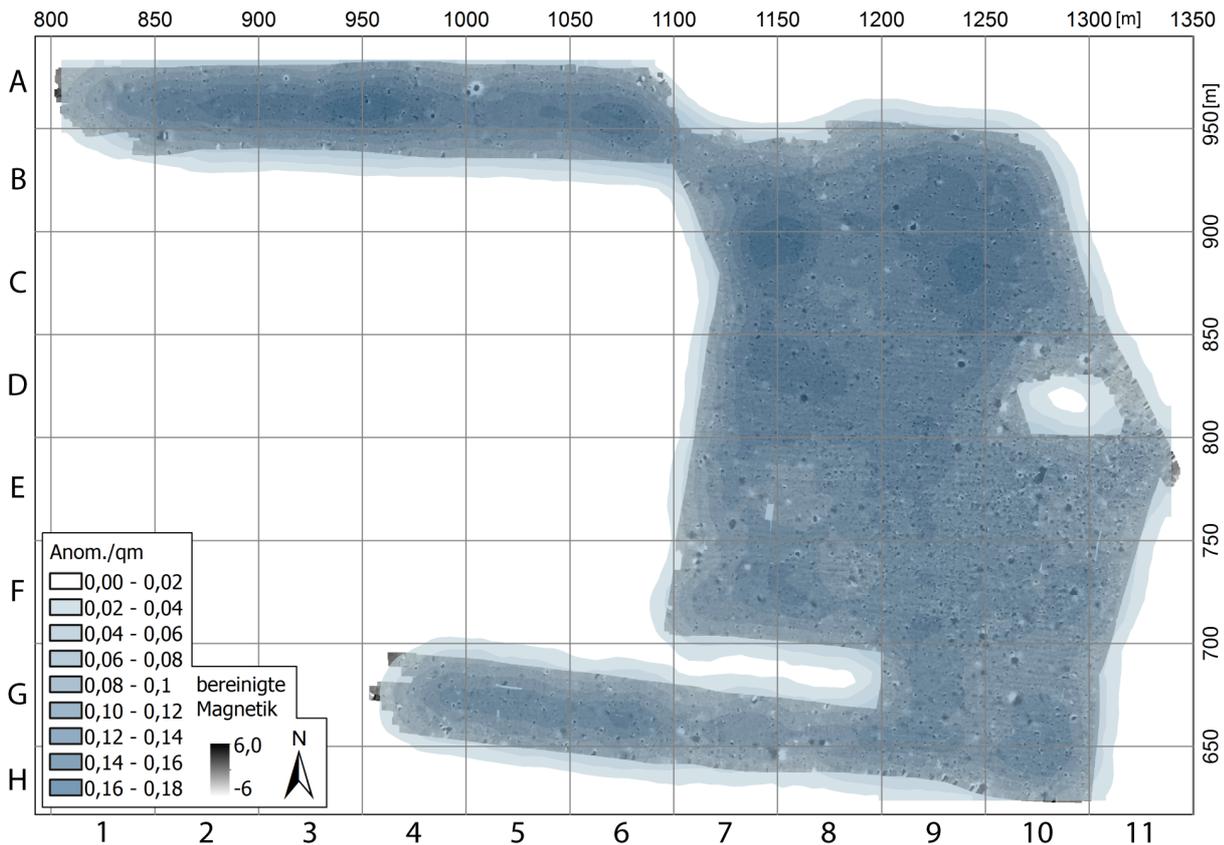


Abb. 21: Wiskiauten - Fläche A: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von ± 6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

Mit zunehmender Entfernung von dem Gräberfeld Richtung Süden und Westen nimmt die Dichte der Anomalien ab. Die größte Dichte zeigt sich in einem ca. 100 m breiten, an das Gräberfeld angrenzenden Streifen (B7-C10, A5-6). Östlich grenzt die Messfläche an einen modernen Autohof und an ein Privatgrundstück. Darauf ist die auffällige Unruhe im östlichen Randbereich (C10-H11) der Magnetikfläche zurückzuführen. Zahlreiche punktförmige Anomalien, deren Magnetisierungsrichtung nicht mit der des Erdmagnetfeldes übereinstimmt, befinden sich in der Fläche. Daher liegt die Vermutung nahe, dass es sich um wahllos auf der Fläche verteilte Störkörper handelt. Weiterhin fallen einige recht große Anomalien mit einem Durchmesser von 2-3 m auf (B9, D9, E9, D8, A5, H9-10). Zahlreiche dieser recht großen Anomalien wurden mit dem Pürckhauer Bohrstab untersucht und ließen sich als archäologische Befunde identifizieren.

Die gesamte Messfläche ist durchzogen von west-ost verlaufenden Streifen. Diese zeigen sich auf dem Bild als parallele Streifen von dunkel- und hellgrauer Farbe mit einem Wertebereich zwischen ± 1 nT. Die Streifen können eine Breite von bis zu einem Meter erreichen. Wahrscheinlich rühren diese Strukturen von in West-Ost Richtung ausgeführter Pflugaktivität her.

Im Bereich der Felder B7-B9 lässt sich eine West-Ost orientierte, etwas dunklere und in der Mitte leicht nach Süden hin gebogene Struktur mit einer Breite von ca. 10 m identifizieren. Zur Klärung

der Ursache dieser Anomalie wurde sie neben der geomagnetischen Untersuchung zusätzlich mit einer Nord-Süd verlaufenden Bohr-Catena und mit dem Georadar (Messung mit einer 200 MHz und einer 400 MHz Antenne) auf einer 25 m x 10 m großen Fläche untersucht. Dadurch ließ sich an dieser Stelle ein sehr flacher, anthropogen verursachter Graben nachweisen. Die detaillierten Ergebnisse sind bei IBSSEN (2010, 175f.) dargestellt (vgl. auch Kapitel 5.2.2.2).

Aufgrund der Bohrergebnisse wurden zwei der Anomalien für eine archäologische Grabung ausgewählt. Bei Anomalie 207 (= Grabungsfläche 2) handelt es sich um einen 4,5 m tiefen Brunnen (IBSEN 2010, 300ff.) und bei Anomalie 202 (= Grabungsfläche 1) ist ein Ofenbefund (IBSEN 2010, 273ff.).

Die Ergebnisse der angebohrten Anomalien werden zusammenfassend in einem eigenen Kapitel besprochen (Kapitel 5.2.3.).

5.2.1.2 Fläche B

Die Messfläche in der westlichen Verlängerung des Wäldchens Kaup wird als Untersuchungsfläche „B“ angesprochen (Abb. 22). Mit ihrer Größe von 11 ha bedeckt sie eine Fläche von ca. 350 m x 250 m. Gemessen wurde die Fläche in zwei mehrere Jahre auseinanderliegenden Kampagnen. Ein ca. 80 m breiter Streifen am östlichen und südlichen Rand wurde bereits in der ersten Messkampagne 2005 aufgenommen, der Rest der Daten wurde im Sommer 2009 erhoben mit kleinen Ergänzungen am nördlichen Rand der Fläche. In unterschiedliche Richtung verlaufende Pflugspuren zeigen die Grenze der Daten von 2005 zu 2009 deutlich an. Die 2005 aufgenommenen Daten zeigen die gleichen von Pflugspuren herrührenden Streifen wie in Messfläche A erkennbar, wohingegen die 2009 aufgenommenen Daten von sehr viel größeren Streifen durchzogen sind, die in Nordwest-Südost Richtung verlaufen.

Insgesamt ließen sich 14219 Anomalien in der Fläche identifizieren, von denen allerdings nur sechs mit dem Pürckhauer-Bohrstab untersucht wurden. Wie in Messfläche A nimmt die Dichte der Anomalien mit zunehmender Entfernung zum Gräberfeld nach Westen hin ab. Der Streifen mit erhöhter Anomalienkonzentration entlang der westlichen Grenze des Gräberfeldes ist allerdings mit 150 m etwas breiter als südlich des Wäldchens in Messfläche A. In den 2009 gemessenen Daten scheinen auch die von oberflächennahem Metallschrott herrührenden Anomalien in Reihen parallel zu der Pflugrichtung zu liegen.

Größere Strukturen sind der Fläche kaum zu erkennen. Durch die Quadranten D9 und E10 hebt sich ein etwas dunklerer Streifen aus den Messdaten ab. Eine weitere etwas größere Struktur befindet sich an der Grenze der Quadranten C8 und C9. Es handelt sich um insgesamt fünf ca. 8 m lange Streifen mit einer Ausrichtung von Südwest nach Nordost (drei schwarze und jeweils dazwischen weiße Streifen), die von ihrem Erscheinen her wie Pflugspuren aussehen, jedoch dafür zu kurz sind. Möglicherweise handelt es sich um ältere Pflugspuren, die von den Nordwest-Südost verlaufenden Spuren überdeckt wurden.

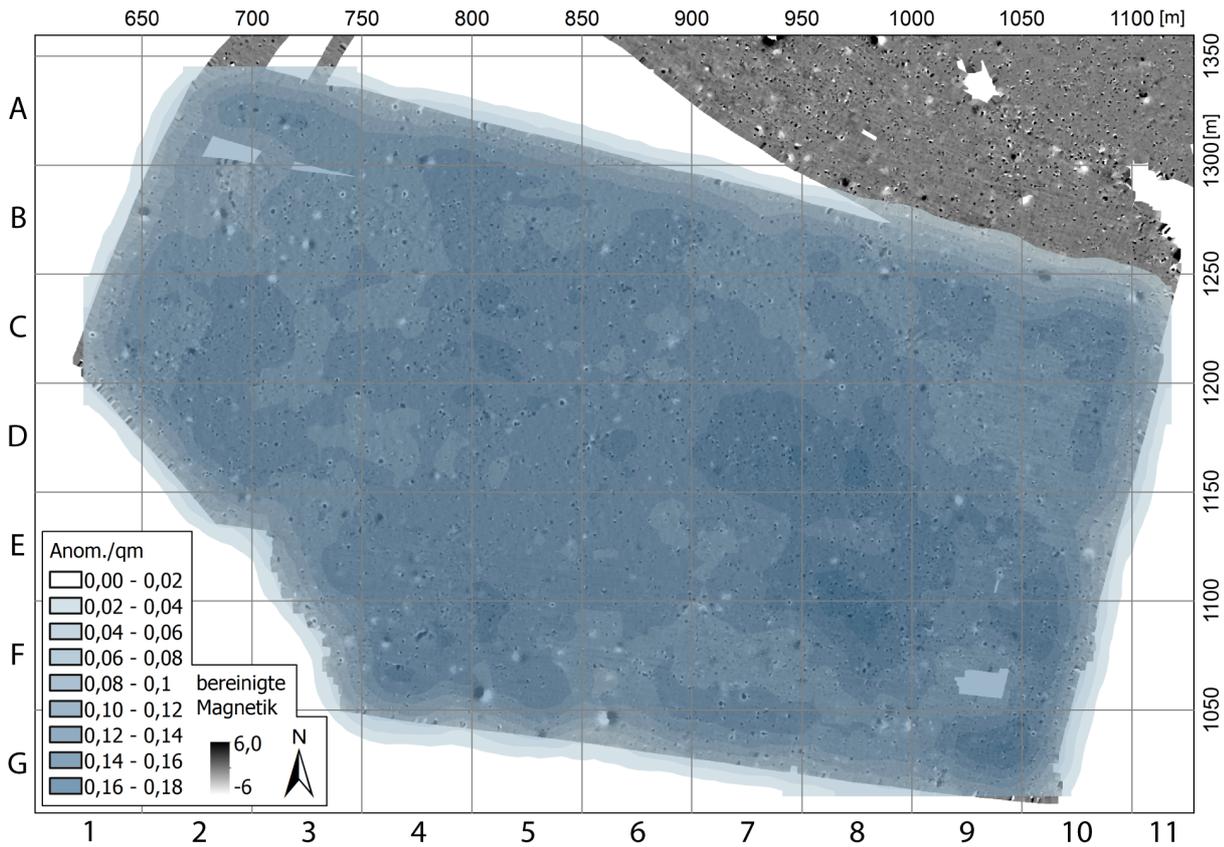


Abb. 22: Wiskiauten - Fläche B: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

Nur eine der sechs Bohrungen (Anomalie 8/05) weist mit ihrem mindestens 60 cm mächtigen Verziegelungshorizont auf eindeutige anthropogene Einflüsse hin. Alle anderen Bohrungen ließen entweder gar keine Einflüsse erkennen oder in einem Fall eine nicht natürliche Schicht über einem Stein, die sich aber nicht eindeutig als anthropogen verursacht einschätzen lässt.

5.2.1.3 Fläche C

Im Nordwesten des Untersuchungsgebietes liegt die Messfläche C (Abb. 23). Nach Osten hin ist sie von Messfläche D durch den drainierten Fluss „Woj“ abgegrenzt. Die ca. 5 m breite Messlücke, die sich von Südwest nach Nordost durch einen Teil des Bildes zieht, rührt von einem Kabelgraben her, der hier während der magnetischen Vermessung 2009 offen lag. Im nordöstlichen Bereich des Bildes fehlt dieser Graben, da dieses Teilareal bereits 2005 geomagnetisch untersucht wurde und der Graben zu diesem Zeitpunkt noch nicht existierte. Die Zusammensetzung der Daten aus zwei Messkampagnen erklärt die unterschiedliche Streifigkeit der beiden Teilabschnitte.

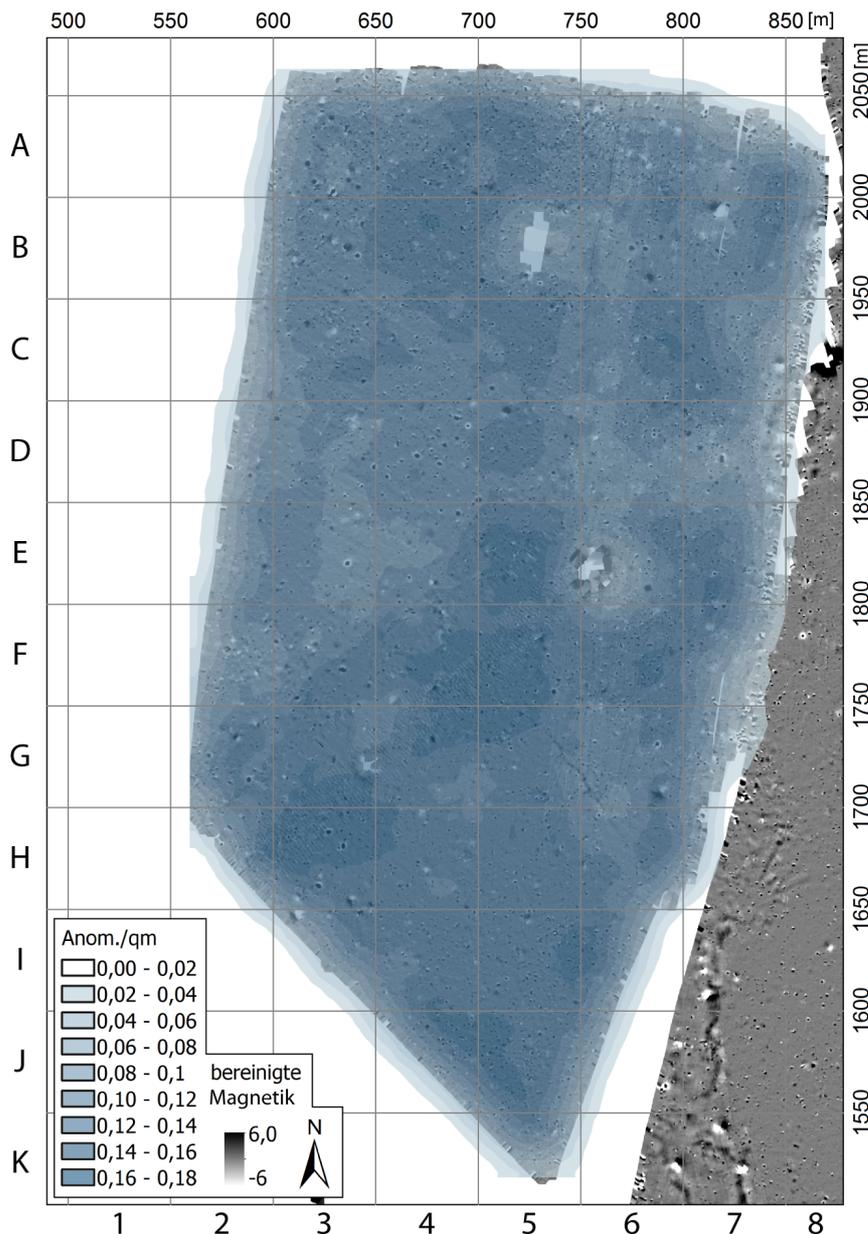


Abb. 23: Wiskiauten - Fläche C: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

Im Randbereich des „Woj“ befindet sich die Ausgrabungsfläche 3, die die Existenz dieser Kulturschicht in den Profilen deutlich zeigt. Eine detaillierte Beschreibung der Grabungsergebnisse befindet sich wiederum in der Dissertation von T. IBSSEN (2010, 282f.).

28 der 41 Bohrungen haben Befunde mit einem deutlichen anthropogenen Einfluss identifiziert, die das gesamte Spektrum an Befundgattungen umfassen. Eine zweite Grabungsfläche (Fläche 20 = An21/05) brachte eine in den Boden eingetiefte Feuerstelle zu Tage.

Die Messfläche ist 11,6 ha groß mit einer Ausdehnung von ca. 250 m x 550 m. Es ließen sich 16265 Anomalien in den Messdaten identifizieren. 41 Pürckhaueruntersuchungen wurden in der Fläche ausgeführt, die mit 23 Kontrastbohrungen bei verschiedenen Anomalien untersucht wurden. Eine erhöhte Konzentration an Anomalien zeigt sich in der südöstlichen Ecke des Messbildes und entlang des kleinen Baches „Woj“.

Bohruntersuchungen in dessen Randgebiet haben ergeben, dass sich unter einem Ackerhorizont von ca. 40 cm Mächtigkeit eine zwischen 20 cm und 30 cm mächtige Kulturschicht mit Keramikfragmenten und Holzkohle befindet. Im

Im Feld E6 ist eine ca. 25 m durchmessende schwarz-weiße Anomalie zu erkennen. Diese rührt von einem Strommast her, der eine Stromleitung hält, die parallel zu dem Kabelgraben von Südwest nach Nordost über die Fläche geführt ist. Diese ist auch verantwortlich für die entlang des Kabelgrabens v. a. am südwestlichen Rand auftretenden Störungen in den Geomagnetikdaten.

Am Übergang der Felder G5 zu G6 ist eine von Südost nach Nordwest verlaufende ca. 50 m lange lineare Struktur zu erkennen, die sich in den Messdaten von 2009 nur sehr schwach fortsetzt. Zwei Bohrungen innerhalb der Struktur brachten keinerlei Resultat, dass auf die Ursache für die Anomalie schließen lässt (An13/05 und An17/05).

5.2.1.4 Fläche D

Die im Norden des Wäldchens Kaup gelegene Fläche ist mit 39 ha die zweitgrößte Messfläche in Wiskiauten (Abb. 24). Mit einer Ausdehnung von 1050 m in Nord-Süd Richtung und einer Ost-West-Ausdehnung von 750 m beinhaltet die Fläche 52513 errechnete Anomalien, von denen 40 angebohrt wurden, die mit 33 Kontrastbohrungen überprüft wurden, um die Anomalien zu verifizieren. 27 der angebohrten Anomalien ergaben einen deutlichen Hinweis auf anthropogene Aktivitäten.

Im Osten wird die Messfläche von der nahezu Nord-Süd verlaufenden Straße von Wosegau nach Wiskiauten von der Messfläche E abgegrenzt. Entlang der Straße ist eine deutlich erhöhte Konzentration an Dipolen in den Messdaten zu beobachten, die auf weggeworfenen Müll zurückzuführen sind, der gut sichtbar auf der Oberfläche aufzufinden ist. Die Verteilung der errechneten Anomalien über die gesamte Fläche scheint recht unregelmäßig zu sein. Im Südosten der Messfläche lässt die Anomaliendichte zwar deutlich nach, aber ansonsten gibt es über die gesamte Messfläche verteilt kleinere und größere Konzentrationen an Anomalien. Eine erhöhte Konzentration an Anomalien entlang der nördlichen Grenze des Gräberfeldes, wie sie im Süden und Westen zu beobachten ist, zeigt sich nicht.

Verschiedene Bereiche der Messfläche weisen größere zusammenhängende Strukturen auf. Es zeigen sich im Südwesten unregelmäßige schwarze Bänder mit beidseitigem weißem Hof über ein Areal von 200 m x 50 m (L3-O3). Diese dürften geologischen Ursprungs sein und auf den in diesem Bereich ehemals verlaufenden „Woy“ zurückzuführen sein, bevor er drainiert wurde. Eine ähnliche Struktur zeigt sich im Norden der Fläche (B5-B6). In diesem Bereich zeigen sich zahlreiche Rinnen und flache Gräben im Gelände, die als Ursache dieser Anomalien zu sehen sein dürften.

Nord-Süd orientierte Pflugspuren zeigen sich über das gesamte Messbild verteilt. Besonders deutlich zu erkennen sind diese in dem Streifen zwischen den Quadranten B7+B8–Q7+Q8.

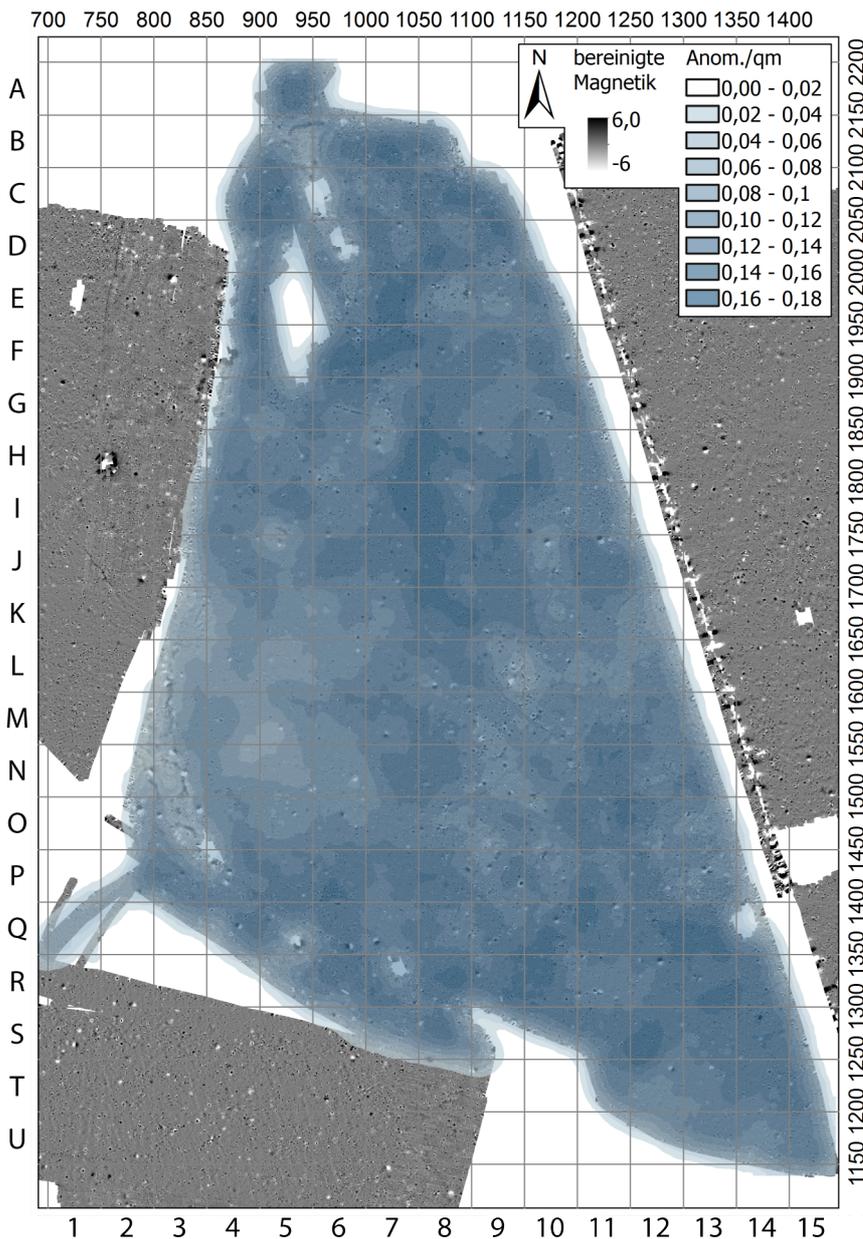


Abb. 24: Wiskiauten - Fläche D: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von ± 6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

Die durch die Quadranten O8, N9, M10, M9, L9 und K8 verlaufende leicht gebogene lineare Struktur, die teilweise als graues Band durch die Messfläche zieht und in anderen Bereichen wie aneinander gereichte Einzelanomalien ausgeprägt ist. An fünf Stellen wurden Flächen mit dem Georadar untersucht (s. Kapitel 5.2.2.4 - 5.2.2.9) und 2 Abschnitte zusätzlich durch eine Bohrcatena überprüft (s. Kapitel 5.2.2.4 und Kapitel 5.2.2.6). Dabei hat sich gezeigt, dass es sich bei der Nordwest-Südost verlaufenden Struktur um ein ca. 3,5m breites Steinpflaster handelt. Im Norden der Fläche (B6-C6) zeigt sich eine weitere absolut geradlinige Struktur,

die teilweise durch die Grabungsfläche 22 im Sommer 2011 untersucht wurde. Es handelt sich dabei um eine mehr oder weniger massive Steinlage, gesäumt von grabenartigen Strukturen (s. Kapitel 4.1.3). Weiterhin zeigen sich zwei sehr große Anomalien (F4, D6) wobei es sich um zwei Strommasten handelt, wie dem, der in Messfläche C Erwähnung fand.

Es wurden drei Grabungsflächen in Messfläche D geöffnet, von denen Fläche 4 ausführlich bei T. IBSSEN vorgestellt wird (2012, 329f.). Weiterhin wurden die Fläche 19 und 22 auf dieser Messfläche angelegt. Fläche 19 diente zur Untersuchung der Anomalie 9/08, bei der es sich um einen Brunnen handelt. Aus Zeitmangel wurde bei dieser Fläche allerdings nur der Ackerhorizont entfernt, die

Befundoberfläche dokumentiert und anschließend wieder verfüllt. Ca. 150 m nordwestlich von Fläche 19 wurden im Sommer 2011 mehrere Flächen mit einer Gesamtgröße von ca. 1250 m² ausgegraben. Die Grabungsergebnisse liegen als unpublizierte Grabungsberichte am Zentrum für Baltische und Skandinavische Archäologie vor.

5.2.1.5 Fläche E

Fläche E (Abb. 25) ist mit 56,6 ha die größte der insgesamt neun Messflächen. Sie umfasst 72555 errechnete Polygone von denen 45 angebohrt wurden. Bei 27 Anomalien wurde eine Kontrastbohrung durchgeführt. Die Hälfte der angebohrten Anomalien ergab einen Hinweis auf einen anthropogenen Ursprung, bei den übrigen ließ sich die Ursache für die Anomalie anhand des Bohrergebnisses nicht erschließen. Die Verteilung der Anomalien innerhalb der Fläche lässt keine größeren Konzentrationen erkennen. Zahlreiche kleine Bereiche mit einer erhöhten Konzentration an Anomalien heben sich aus der vergleichsweise geringen Anomaliendichte ab.

Im Westen und Süden wird die Messfläche begrenzt durch die von Wosegau nach Bledau verlaufende Straße. Die Messlücke zwischen Messfläche E und Messfläche F ist bedingt durch die von Selenogradsk nach Kaliningrad verlaufende Eisenbahnstrecke. Entlang der westlichen Grenze der Messfläche und parallel zur Straße zeigt sich ein im Boden verlaufendes Kabel, das die Messdaten in diesem Bereich vollkommen überlagert. Ein ähnliches Phänomen zeigt sich in den Messdaten in der Messfläche Kernavė 2 auf dem Fundplatz Kernavė (vgl. Kapitel 8.3). Weiterhin fallen einige größere Bereiche mit einer erhöhten Menge an Metallgegenständen innerhalb der Messfläche auf. Im Bereich der Quadranten T7-U13 verläuft ein moderner Feldweg durch die Messfläche, was den erhöhten Eintrag an Metallschrott in diesem Bereich erklärt. Die beiden Konzentrationen in den Feldern F9 und G9 rühren von Munitionsresten aus dem Zweiten Weltkrieg her, die bei Untersuchung mit dem Metalldetektor oberflächennah zu Tage gefördert werden konnten (im Feld G9). Im Norden reicht die Messfläche bis nahe an den Ort Wosegau heran, was die erhöhte Verschmutzung mit Metallabfällen in dem 250 m breiten Streifen im Norden der Fläche erklärt. Über die gesamte Messfläche verteilt lassen sich partiell immer wieder Reste von Pflugspuren erkennen, die über das Feld verteilt jedoch keine einheitliche Pflugrichtung erkennen lassen.

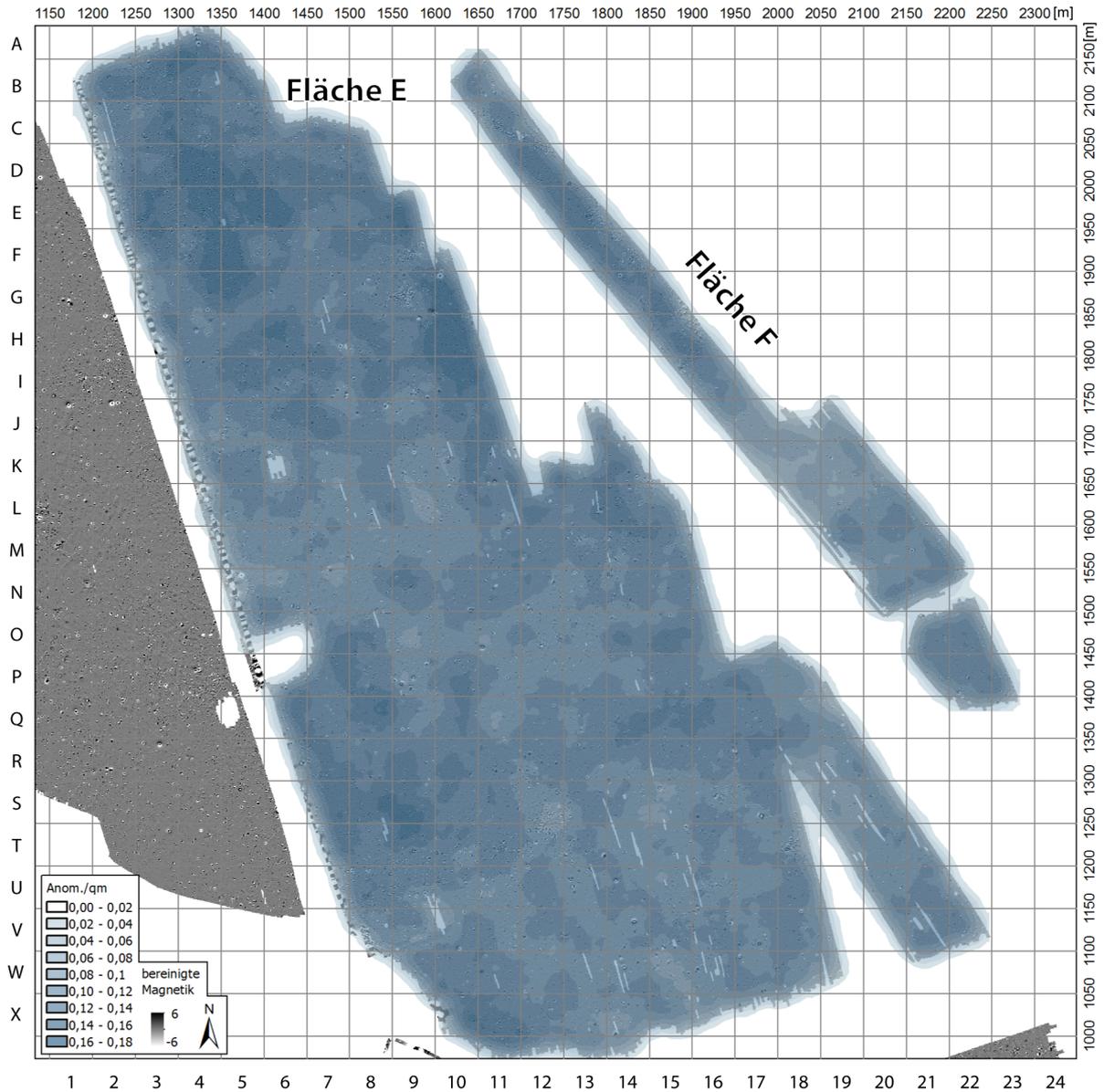


Abb. 25: Wiskiauten - Fläche E und F: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von ± 6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

Darüber hinaus lassen sich verschiedene Bereiche mit linearen Strukturen in der Messfläche erkennen. Eine davon zieht als graues lineares Band nahezu West-Ost orientiert von einer größeren Kuhle im Gelände (O6+P6) durch die Quadranten O7 und O8 weiter in östlicher Richtung. In der geologischen Karte ist in Verlängerung dieser Struktur ein Wasserlauf verzeichnet, der heute noch in Form einer feuchten Senke in der Landschaft sichtbar ist. Möglicherweise handelt es sich bei der Struktur um ausgetrocknete Bereiche dieses Wasserlaufs. Durch die Quadranten V9 und V10 erstreckt sich eine halbkreisförmige, nach Westen offene Struktur. Sie äußert sich in den Messdaten als graues, ca. 5 m breites Band, dass sich aus zahlreichen punktuellen Anomalien geringer Größe zusammensetzt. Eine heute dort vorhandene feuchte Senke deckt sich nahezu mit den Umrissen dieser Struktur und damit dürfte die Struktur einen natürlichen geologischen Ursprung haben. Das

Areal, der von den Quadranten M7–M9 und N7–N9 eingeschlossen wird, ist durchzogen von mehreren teilweise rechtwinklig zueinander verlaufenden schmalen Streifen, die bei genauerer Betrachtung viele kleine punktförmige Anomalien enthalten. In den Magnetikdaten auf den Fundplätzen im Suzdaler Opolje (Russland) zeigen sich solche Strukturen sehr regelhaft und werden dort als Frostkeile angesprochen (vgl. Kapitel 9.5).

5.2.1.6 Fläche F

Auf dem schmalen Streifen zwischen der von Selenogradsk nach Kaliningrad verlaufenden Bahnlinie im Westen und der parallel dazu verlaufenden rekonstruierten ehemaligen Uferzone eines Binnensees im Osten, ist die Messfläche F gelegen (Abb. 25). Mit einer maximalen Breite von 120 m erstreckt sich die Messfläche über eine Länge von knapp 1000 m von Nordwest nach Südost. Innerhalb der 7 ha großen Fläche ließen sich 8878 potentielle Anomalien errechnen von denen 20 (zzgl. 13 Kontrastbohrungen) angebohrt wurden. Acht der 20 Bohrungen erbrachten ein Bohrerergebnis, das einen Rückschluss auf die Ursache der magnetischen Anomalie erkennen ließ. Bei den übrigen zwölf Bohrungen war das Bohrerergebnis zu unspezifisch um einen Rückschluss auf die Ursache der Anomalie zuzulassen. Bedingt durch einen Wasserlauf und damit verbundene starke Vegetation ist im Süden eine kleine Teilfläche abgegrenzt, die den Namen F2 erhielt. Die berechnete Anomaliendichte postuliert eine geringere anthropogene Nutzung als in den Nachbarflächen.

Deutlich zeigen sich einige linear gereichte Dipolanhäufungen im Messbild. Besonders gut sichtbar sind die Reihungen in Form von zwei parallelen Linien in den Quadranten C11, C12 und D12. Auch in den Quadranten E13, F14, G15, H15 und H16 sind diese Strukturen zu beobachten, auch wenn sie in diesem Bereich an Deutlichkeit abnehmen. Aufgrund von Vergleichen mit solchen Strukturen in der Messfläche G, wo mit dem Metalldetektor Reste eines Stacheldrahtzaunes zu Tage gefördert wurden, ist hier auch mit ähnlichen Ursachen zu rechnen (vgl. Kapitel 5.2.2.10).

In beiden Teilflächen wurde jeweils eine Anomalie durch eine der Anomaliengröße angepasste Grabungsfläche untersucht. Die Wahl der Anomalien, die ausgegraben wurden, ließ sich nicht anhand der Bohrerergebnisse treffen, da diese keine lohnenden Ergebnisse versprachen. Deshalb wurden zwei unbekannte Anomalien ausgegraben. Fläche 17 erbrachte eine archäologische Grube, die sich jedoch aufgrund nur eines Fundes während der Ausgrabung nicht interpretieren ließ und damit zu den undeutlichen Bohrerergebnissen passte. Fläche 18 erbrachte gar kein Fundmaterial und obwohl ein C14 Datum vorliegt, das den Befund in die Zeit zwischen 34 v. Chr. und 122 n. Chr.⁷ einordnen lässt, sind die Grabungsergebnisse als sehr unsicher einzuschätzen. Somit passt auch Fläche 18 zu den unspezifischen Bohrerergebnissen. Die Ergebnisse der Grabungen und die Bohrerergebnisse bestätigen damit die aufgrund der geringeren Anomaliendichte postulierte marginale anthropogene Aktivität in dem Bereich.

⁷ KIA 37095: Radiocarbon Age: BP 1953 +/- 25, One-Sigma-Range: cal AD 22-75, Two Sigma Range: cal BC 34 – calAD 122.

5.2.1.7 Fläche G

Die südliche Verlängerung der Messfläche F als Fortsetzung des Areal zwischen Bahnlinie und rekonstruierter Uferzone stellt die Messfläche G dar (Abb. 26), die südlich der Straße von Wiskiauten nach Bledau gelegen ist. Sie ist mit 3,5 ha die kleinste der neun Untersuchungsflächen, beinhaltet

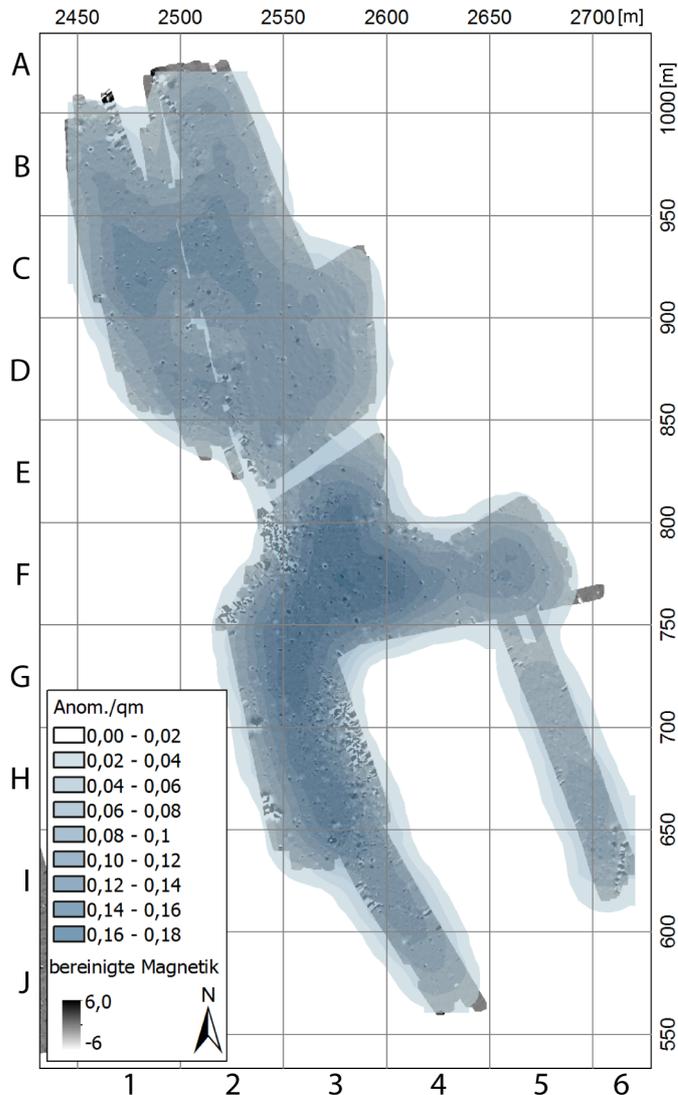


Abb. 26: Wiskiauten - Fläche G: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

Binnensee hineinragt. Auf der Kuppe der Palwe befindet sich ein rechteckig eingezäuntes Areal, das als Aussparung in den Magnetikdaten zu erkennen ist. Die schmale Messlücke zwischen den Flächen G1 und G2 wird von einem dort verlaufenden Weg verursacht.

Verschiedene Dipolreihen und Dipolanhäufungen sind in der Fläche zu erkennen. Durch den Quadranten B2 zieht parallel zum Weg eine Dipolreihe, die sich in Form einzelner Dipole bis zu

4239 errechnete Anomalien von denen 16 angebohrt wurden, die mit fünf Kontrastbohrungen überprüft wurden. Dabei ergaben 13 der Bohrungen einen Hinweis auf anthropogene Aktivitäten in dem Bereich des Fundplatzes.

Die Areale zusammenhängender Messdaten in dieser Fläche sind zu klein, als dass die Anomaliendichte ein gültiges Ergebnis erbringen könnte. Zur Berechnung werden Parameter vorgegeben, die einen definierten Suchradius beinhalten, anhand dessen die Dichte berechnet wird. Bei der Berechnung der Dichte für die Anomalien, die sich innerhalb eines Randstreifens mit der Breite des halben Suchradius befinden, werden Bereich über die Magnetikdaten hinaus erfasst, in denen sich aufgrund mangelnder Daten auch keine Anomalien befinden, so dass die Dichte zum Rand der Messflächen abnimmt.

Die südliche Teilfläche (G3) bedeckt eine leichte Erhebung mit dem Namen „Palwe“ (vgl. Abb. 20), die halb-
inselförmig in den rekonstruierten

einer Konzentration von Dipolen (Grenze F2 zu F3) fortsetzt. Wahrscheinlich handelt es sich dabei um im Boden verlegte Kabel oder Rohre. Bei der Reihe von Dipolen, die in den Quadranten I6, F4 und F5 zu erkennen ist, handelt es sich um Reste eines Stacheldrahtzauns (Reste davon wurden im Ackerhorizont in Grabungsfläche 10 gefunden), der den Übergang der Palwe zu dem westlich gelegenen Flachwasserbereich markiert. Eine weitere große Ansammlung an Dipolen befindet sich am Übergang der Quadranten G3 zu H3. An dieser Stelle befindet sich ein zu dem eingezäunten Bereich gehöriger Schuppen, in dessen Umfeld auf der Oberfläche sehr viel Metallschrott zu sehen ist.

Zahlreiche kleinere und größere Flächen wurden innerhalb der Messfläche ausgegraben, u. a. Fl. 21A–C, die zahlreiche Pfostenspuren und rekonstruierbare Hausgrundrisse hervorbrachte (vgl. Kapitel 5.3.4). Das gesamte Areal zeigt Siedlungsspuren des 5.–6. Jahrhunderts n. Chr., allerdings deuten einige C14 Daten auch auf sehr viel ältere Siedlungsspuren der Bronze- und Steinzeit hin. Bis auf die Ergebnisse der Fläche 21, die aus geophysikalischer Sicht in einem späteren Kapitel nochmal detailliert betrachtet werden (vgl. Kapitel 5.3.3), wurden die Resultate bereits von T. IBSEN (2010, 273ff.) in seiner Dissertation vorgelegt.

5.2.1.8 Fläche H

Westliche von Fläche G gelegen und getrennt von dieser durch die Bahnlinie Selenogradsk–Kaliningrad befindet sich die mit „H“ bezeichnete Messfläche (Abb. 27). Sie hat eine Größe von 3,6 ha, umfasst 4168 Anomalien von denen 6 angebohrt wurde (zzgl. 11 Kontrastbohrungen). Fünf

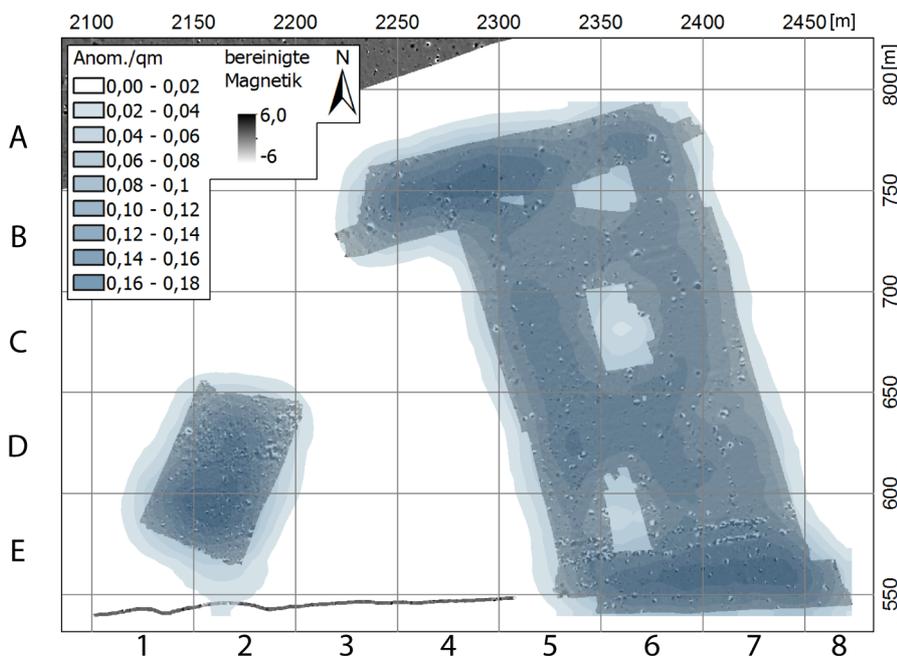


Abb. 27: Wiskiauten - Fläche H: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von ± 6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

der Bohrungen ließen einen Rückschluss auf anthropogene Einflüsse zu. Eine Anomalie ließ keinen menschlichen Einfluss erkennen.

Im Süden der Fläche (E5–E7) ziehen zwei parallele Streifen von Dipolen mit einem Abstand von ca. 7 m von West nach Ost durch die Messfläche. Zwischen den

beiden Dipolreihen befindet sich ein Feldweg der von dem heutigen Ort Mohovoe kommend Richtung Wiskiauten führt. Bei den Dipolreihen handelt es sich vermutlich um Reste eines den Feldweg begleitenden Zaunes. Senkrecht zu der nördlichen Reihe verläuft durch die Felder E7 und D7 Richtung Norden eine weitere Dipolreihe erst senkrecht nach Norden und dann durch die gesamte Fläche in einem Bogen am rechten Rand entlang. Auch hierbei handelt es sich vermutlich um Reste eines Zaunes, der eine Abgrenzung zur Bahnlinie hin darstellt.

Im Quadranten A5 wurden vier bereits angebohrte Anomalien durch kleine Flächen bis maximal 20 m² untersucht. Aufgrund der C14 Daten lässt sich in diesem Bereich ein ausgedehntes Siedlungsareal der zweiten Hälfte des ersten Jahrtausends n. Chr. postulieren, das von Fläche G im Osten und Fläche I im Norden reicht. Detaillierte Informationen zu den einzelnen Grabungsergebnissen finden sich wiederum in dem Grabungsbericht von T. IBSEN (2008b, 51f.).

5.2.1.9 Fläche I

Die verbleibende Fläche zwischen Fläche E im Norden, Fläche H im Süden und Fläche G im Osten ist als Fläche I benannt (Abb. 28). Aufgeteilt ist sie in drei Teilflächen (I1–I3), wobei es sich bei I1 um die größte Fläche handelt, I3 den kleinen Abschnitt im Nordwesten betitelt und I2 die schmalen Verbindungen zwischen den beiden Flächen. Zu Fläche E hin abgegrenzt ist die Fläche I durch die Straße, die von Wosegau nach Bledau führt, und von Fläche G wird sie durch die Eisenbahnlinie von Selenogradsk nach Kaliningrad getrennt. Die drei Teilflächen I1–I3 umfassen ein Areal von 9,5 ha, in dem sich 10981 Anomalien errechnen ließen. Von diesen wurden neun angebohrt und zu jeder gibt es eine Kontrastbohrung. Sieben der neun Bohrungen erbrachten einen archäologischen

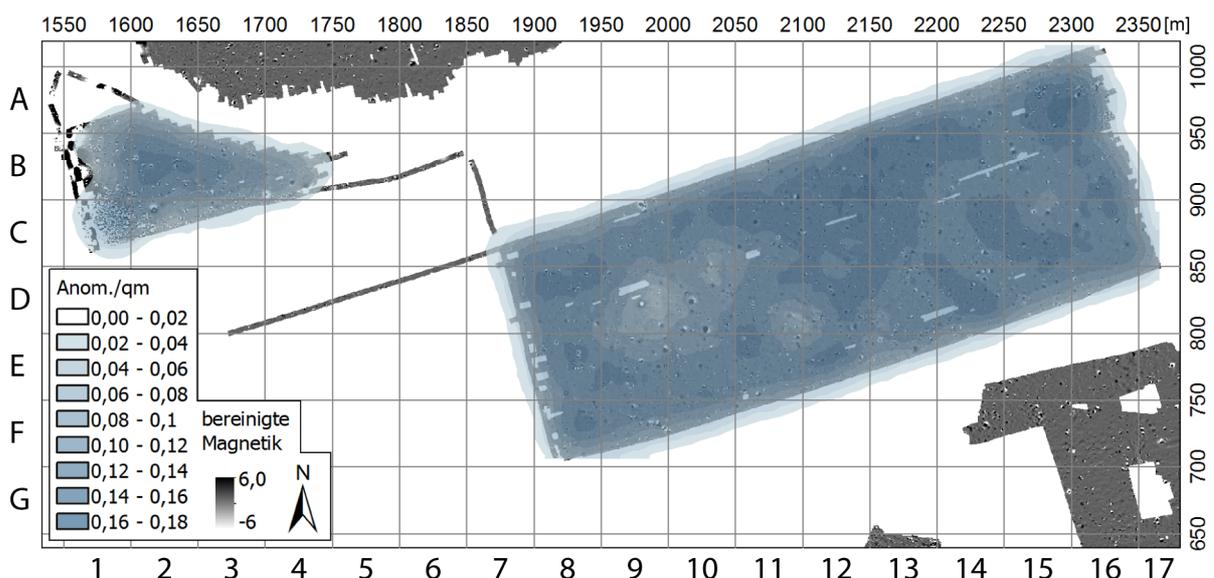


Abb. 28: Wiskiauten - Fläche I: In blauen Farben dargestellt die Anomaliedichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.

Befund, d. h. Hinweise auf anthropogene Aktivität als Bohrergebnis.

Die Fläche I3 grenzt südlich an den Gräberfeldabschnitt „kleine Kaup“ an, in dem sich Bestattungen des 10.–12. Jahrhunderts n. Chr. befinden (sogenannter „Spätheidnischer Aschenplatz“ (ENGEL 1935, 112; VON ZUR MÜHLEN 1975, Taf. 2). Entdeckt wurden diese Gräber bei der Anlage einer Lehmgrube (ENGEL 26. Juni 1932), die anscheinend in späterer Zeit als Abfallgrube genutzt wurde, denn in diesem Bereich sind die Magnetikdaten gänzlich komplett von Metallschrottdipolen beherrscht. In der großen Fläche I1 scheint es eine Konzentration an Anomalien in den Quadranten B12, B13, C12 und C13 zu geben. In diesem Bereich wurden auch drei Anomalien durch kleine Testschnitte untersucht, die archäologische Gruben zu Tage gefördert haben (Fläche 7 (IBSEN 2012, 278ff.), Fläche 8 (ebd. 297ff.) und Fläche 16 (IBSEN u. FRENZEL 2008)).

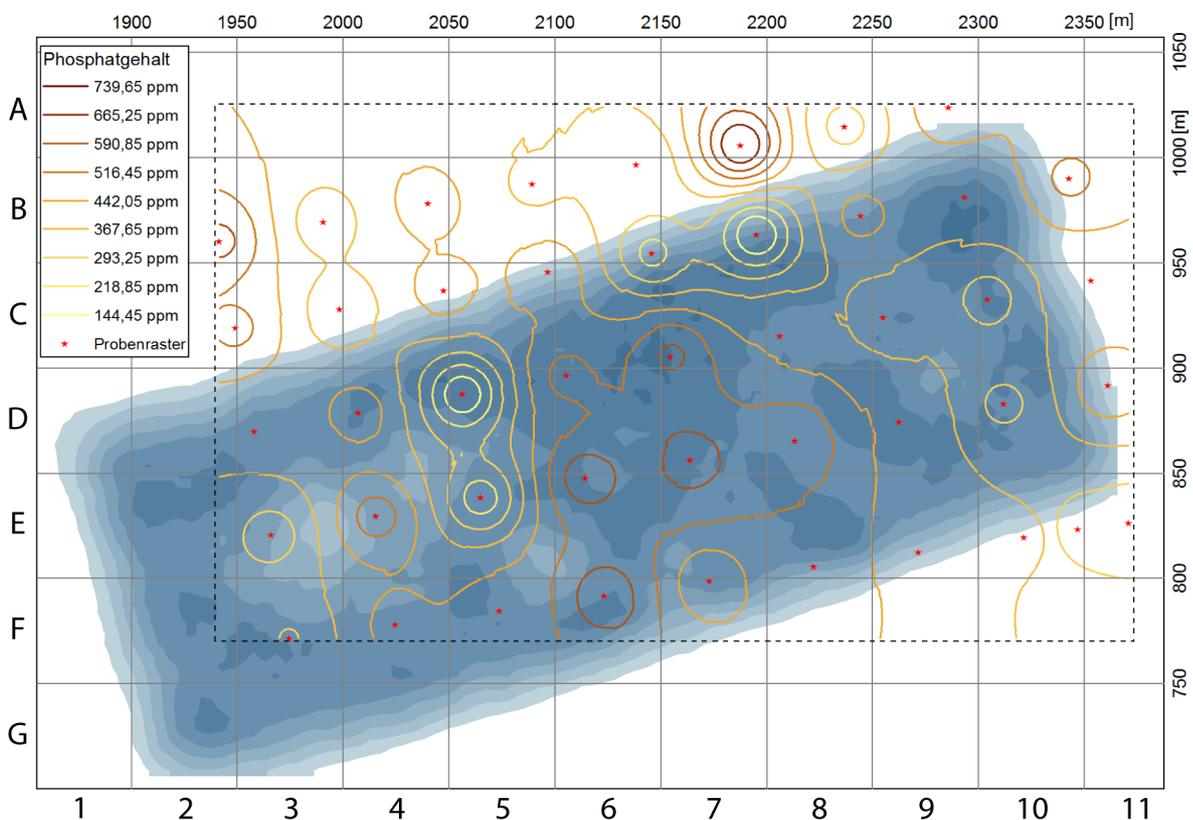


Abb. 29: Wiskiauten - Der Phosphatgehalt des Bodens im Bereich der Magnetikfläche I als Isoliniendarstellung auf die Anomaliendichte geplottet. Der schwarze gestrichelte Rahmen gibt die Begrenzung der errechneten Phosphatkartierung an.

In Fläche I wurde im Sommer 2007 eine Phosphatkartierung mit einem Proben-Entnahme-Raster von 50 m x 50 m durchgeführt. Abbildung 29 zeigt das Ergebnis in Form einer Isoliniendarstellung. Durch die begrenzte Fläche des Überschneidungsbereichs der Phosphatkartierung mit den Magnetikdaten ist eine Interpretation der Ergebnisse sehr wage, aber es lässt sich doch eine Tendenz aufzeigen. Es zeigt sich, dass das Areal der Quadranten C6, C7, D6, D7, E6 und E7 sowohl einen erhöhten Phosphatwert aufweist, als auch eine Erhöhung der aus den Magnetikdaten errechneten

Anomaliendichte. Im Detail betrachtet passen die Ergebnisse nicht gänzlich zusammen, aber an vielen Stellen geht eine erhöhte Anomaliendichte mit einem Anstieg der Phosphatwerte einher. Korreliert man die erhöhte Anomaliendichte mit einem stärkeren anthropogenen Einfluss, passt dies zu den erhöhten Phosphatwerten, die auch einen erhöhten menschlichen Eintrag im Boden belegen.

5.2.2 Georadar

In den beiden Messkampagnen der Jahre 2005 und 2007 wurden insgesamt 11 Flächen mit einer Größe zwischen 100 m² und 250 m² mit dem Georadar untersucht. Zum Einsatz kamen dabei 200 MHz und 400 MHz Antennen, wobei die 200 MHz Antenne in den meisten Bereichen die besseren Ergebnisse lieferte. Anhand der geomagnetischen Messergebnisse wurden gezielt Bereiche ausgewählt, die für eine detaillierte Untersuchung lohnenswert erschienen. Durch Steine verursachte Anomalien schienen ein lohnender Befundtyp, da sich diese nicht mit einem Pürckhauer-Bohrstab untersuchen lassen.

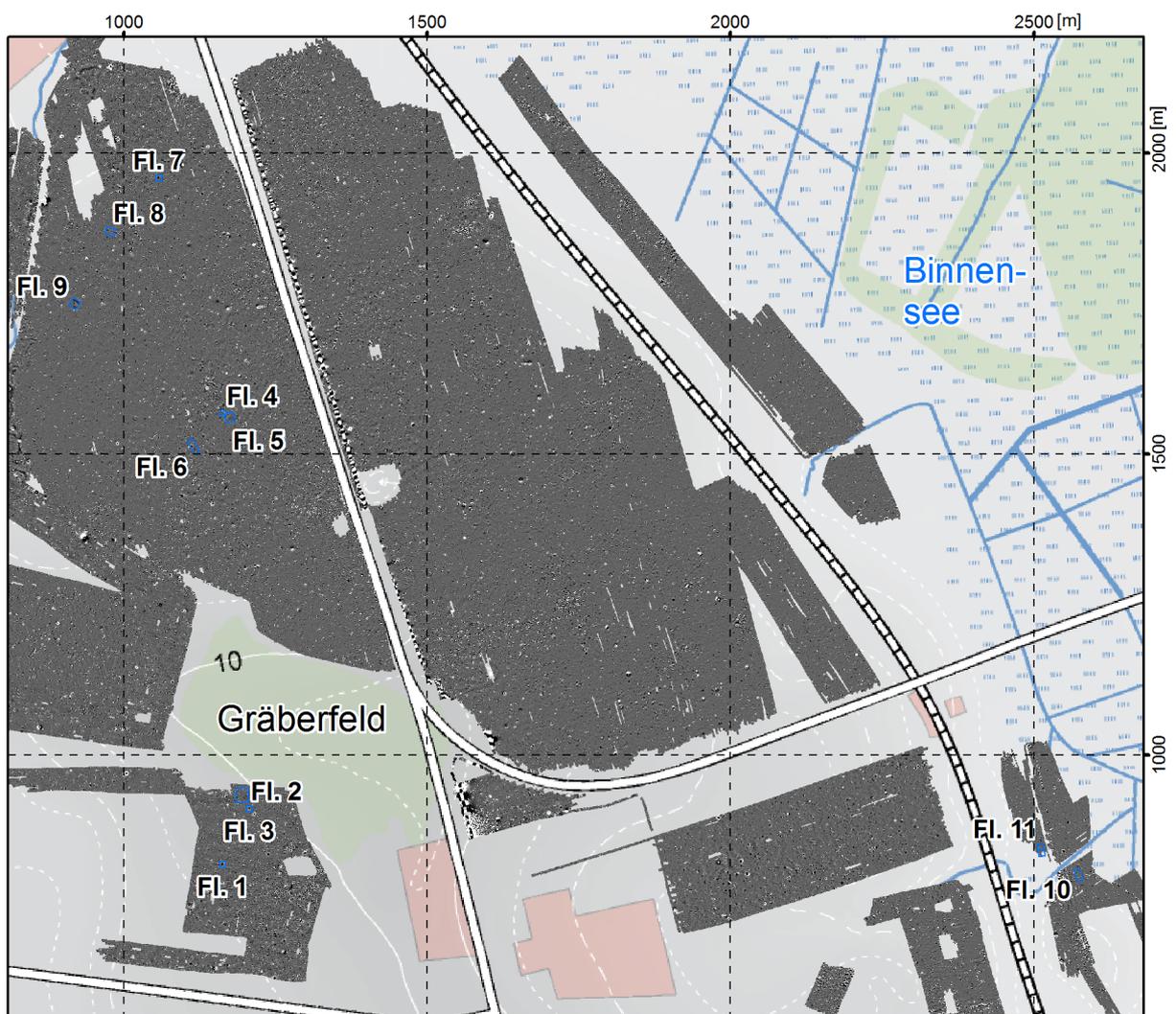


Abb. 30: Wiskiauten: Lage der Radarflächen in den Magnetikdaten.

5.2.2.1 Fläche 1 (Brunnen, An 207)

Ca. 150 m südlich des Gräberfeldes in Magnetikfläche A gelegen befindet sich die Anomalie 207 (vgl. Abb. 30). Bei der Sondierung mit dem Pürckhauer Bohrstab konnte eine Steinpackung in einer Tiefe von ca. 40 cm unter Geländeoberkante festgestellt werden, die mindestens einen Durchmesser von 100 cm hat. Aufgrund ihrer Größe wurde die Anomalie für eine 10 m x 10 m große Georadarfläche ausgewählt, die zusätzlich später ausgegraben werden sollte (Messergebnisse siehe Abb. 31; detaillierten Grabungsergebnisse (IBSEN 2010, 300ff.)).

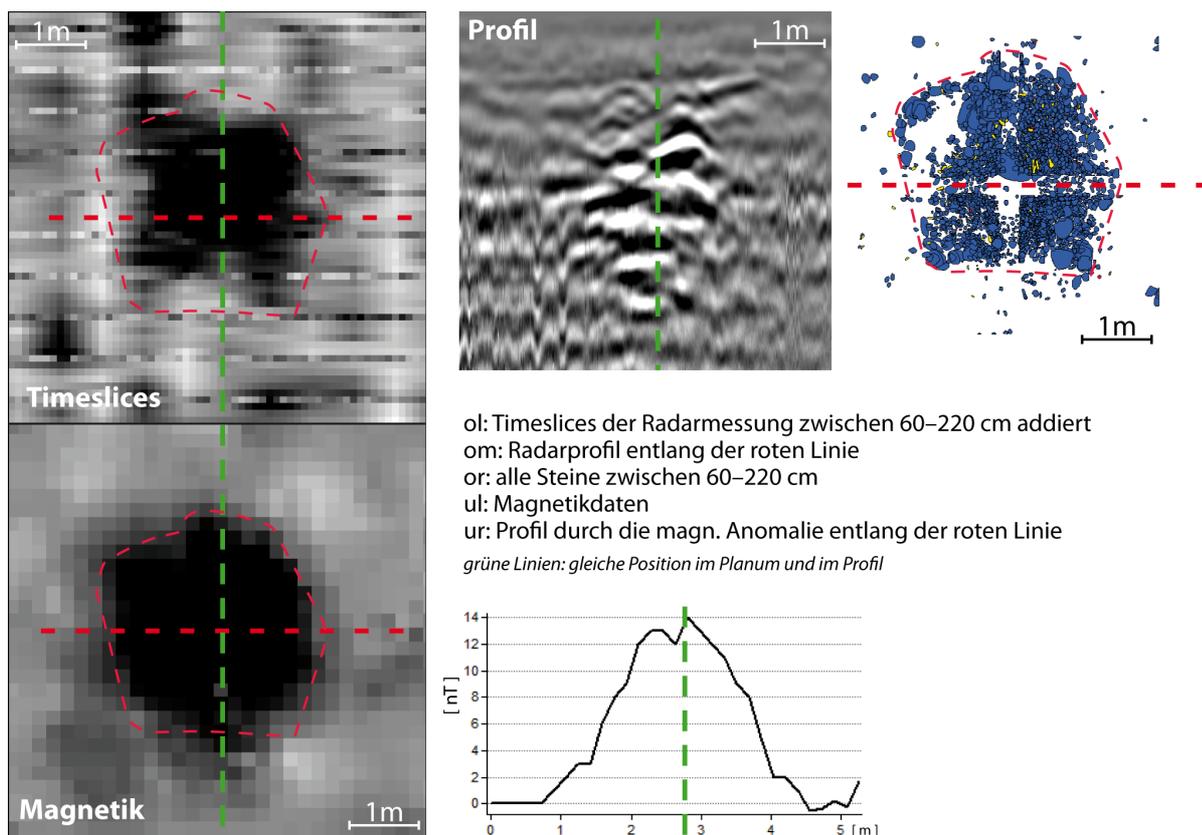


Abb. 31: Wiskiauten: Anomalie 207, Grabungsfläche 2 (Brunnen).

In der Geomagnetik zeigt sich die Anomalie als ca. 350 cm durchmessender rundlicher schwarzer Fleck mit einem Wertebereich zwischen -0,5 nT und 14 nT. Der Bereich mit erhöhten Werten in den Radarmessungen erscheint ein wenig kleiner als in der Magnetik (vgl. Abb. 31, links). Die Radardaten sind in der Abbildung für den gesamten Bereich aufsummiert, in dem sich die Steine in dem Profil in Form verschiedener Reflexionen zeigen. Die Umzeichnung aller während der Grabung dokumentierten Steine bewegt sich in ihrer Ausdehnung zwischen den Maßen der Radar- und Magnetik-Ergebnisse.

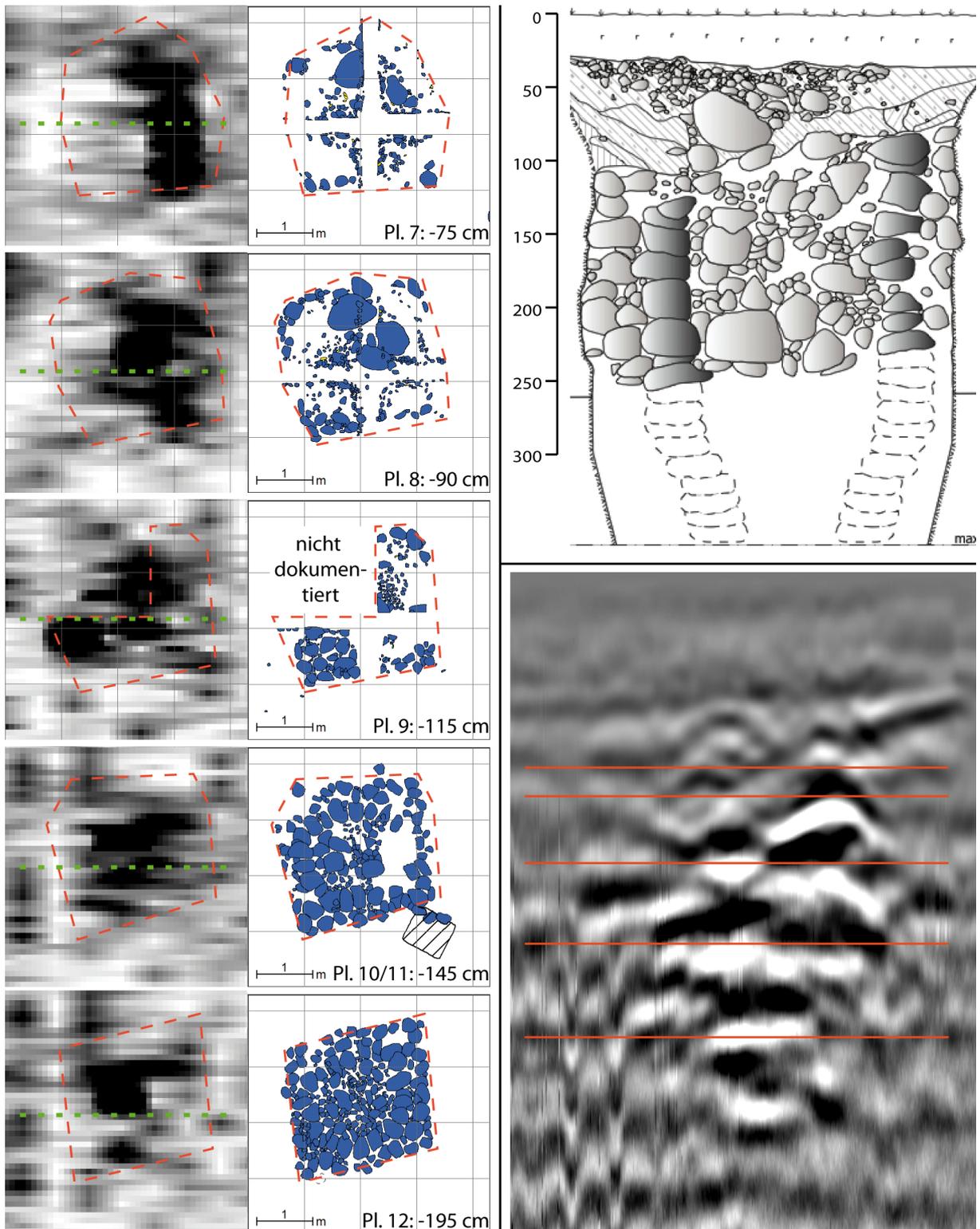


Abb. 32: Wischiauten – Anomalie 207, Grabungsfläche 2: **(links)** Zeitscheiben von fünf verschiedenen Plana jeweils mit der Umzeichnung der Steine in dem entsprechenden Planum; **(oben rechts)** Umzeichnung des archäologischen Profils (mittig durch den Befund von West nach Ost, Ansicht von Süd), die Skala gibt die Tiefe unter Oberfläche an; **(unten rechts)** Radargramm (von West nach Ost) an der Stelle der grünen gestrichelten Linien in den Zeitscheiben links (die fünf roten Linien geben die Horizonte der Zeitscheiben an).

Die Tiefe des Befundes scheint nach den Georadar-Ergebnissen bei ca. 220 cm unter der Geländeoberkante zu liegen, die Grabungen haben aber gezeigt, dass der Befund mindestens bis in eine Tiefe von 330 cm in den Boden reicht. Auch die in den Radarmessungen erscheinende extrem starke Verjüngung des Befundes ließ sich bei der Ausgrabung nicht nachvollziehen. Bis in eine Tiefe von ca. 220 cm erstreckt sich der Brunnenschacht mit nahezu parallelen Außenkanten in den Boden. Erst ab dieser Tiefe verjüngt sich der Steinkranz (vgl. Abb. 32, oben rechts).

Im Folgenden soll ein kurzer Vergleich der einzelnen während der Ausgrabung dokumentierten Plana mit den jeweiligen Zeitscheiben auf deren Übereinstimmung bzw. die Unterschiede vorgestellt werden. In Planum 7 ließ sich das erste Mal die quadratische Form des später als Brunnen interpretierten Befundes erkennen. Während in den Randbereichen eher wenige Steine liegen, scheinen sich diese im Zentrum des Befundes zu konzentrieren. Die Steine im Randbereich des Befundes markieren die Grubenaußenwand. Das Timeslice in dieser Höhe scheint die Steinkonzentration nicht sehr deutlich abzubilden (vgl. Abb. 32, links: Reihe 1). Obwohl die tendenziell größeren Steine der beiden östlichen Sektoren der Grabungsfläche deutlich in dem Timeslice zu erkennen sind, bleiben die Steine in den beiden westlichen Sektoren gänzlich verborgen. Das Radargramm hingegen zeigt in der entsprechenden Höhe über die gesamte Breite des Befundes erste hohe Signalamplituden. Ähnlich verhält es sich in den nächsten Plana. Die Bereiche mit den hohen Messwerten in den Zeitscheiben liegen zwar innerhalb der dokumentierten Steinkonzentrationen, die exakte Befundgrenze lässt sich aus den Zeitscheiben allerdings nicht ablesen. Besonders in den Plana 10/11 und 12, in denen der archäologische Befund jeweils eine massive Lage mit Steinen zeigt, wird der Unterschied deutlich (vgl. Abb. 32, links: Reihe 4 und 5). Betrachtet man jedoch das Radargramm, das den Befund von West nach Ost mittig abbildet, zeigen sich über die nahezu gesamte Höhe des Befundes Bereiche mit hohen Signalamplituden. Es wird deutlich, dass die Radarergebnisse den Befund nicht im Detail abbilden. Tendenziell werden größere Steine eher abgebildet als die Kleinen.

Die maximale Tiefe des Befundes lässt sich anhand der Georadarmessungen bis in eine Tiefe von ca. 220 cm nachvollziehen, wohingegen die Steine bis mindestens 350 cm unter der Geländeoberfläche nachgewiesen werden konnten. Dies mag darauf zurückzuführen sein, dass sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Radarwellen mit zunehmender Tiefe verringern kann oder dass die massive Steinverfüllung des Brunnens im Bereich von Planum 12 (ca. 165 cm unter Geländeoberkante) das Signal abdämpft.

5.2.2.2 Fläche 2 (Graben, An212)

Südlich des Gräberfeldes am nördlichen Rand der Magnetikfläche A (vgl. Abb. 30) gelegen ist in der Magnetik ein ca. 130 m langer und zwischen 8 m und 10 m breiter leicht gebogener Streifen mit erhöhten Messwerten zu erkennen. Zur Klärung der Ursache dieser magnetischen Anomalie wurden weitere Methoden angewendet. Zuerst wurde eine Nord-Süd und damit senkrecht zu der

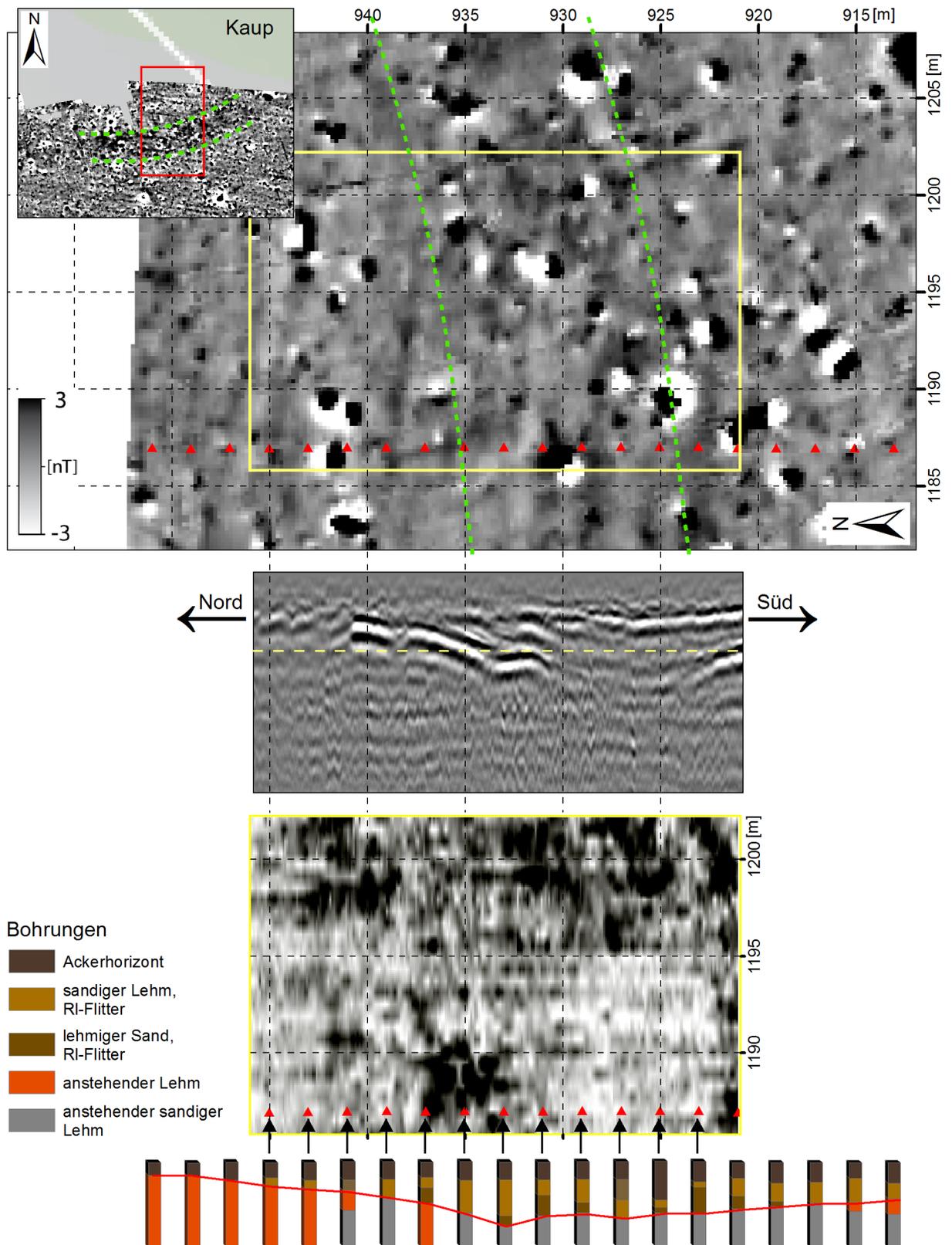


Abb. 33: Wiskiauten – Radarfläche 2; **(oben)** Übersicht und Ausschnitt aus den Magnetikdaten (grüne gepunktete Linie = gräuliche Verfärbung, die sich südlich der Kaup von Ost nach West erstreckt, gelber Rahmen = Radarfläche, rote Dreiecke: Positionen der 20 Bohrungen); **(mittig)** Radarprofil an der Stelle der Bohrcatena (zwischen Bohrung 4 und 16) und Timeslice auf Höhe der gelben Linie im Radargramm (bei 24ns); **(unten)** Bohrprofile jeweils unter den roten Dreiecken, Länge einer Säule 165 cm, die rote Linie gibt die Unterkante der anthropogen beeinflussten Schichten an.

Anomalie orientierte Bohrcatena angelegt. Sie umfasst 20 Bohrungen mit einem Abstand von 2 m, so dass eine Gesamtlänge von 38 m erreicht wurde. Aneinandergereiht zeigen die Bohrungen, dass es sich bei der Anomalie um einen recht flachen Graben handelt, der seinen tiefsten Punkt allerdings am nördlichen Rand der in der Magnetik sichtbaren Anomalie zu haben scheint (vgl. Abb. 33 unten, zehnte Bohrung von links). Weiterhin wurde nahezu östlich der Bohrcatena eine diese um 1 m überlappende Radarfläche von 25 m x 10 m angelegt und vermessen. Abbildung 33 zeigt in der Mitte das Radarprofil an der Stelle der Bohrcatena und eine Zeitscheibe. Das Timeslice zeigt die aufsummierten Messwerte zwischen 24 und 26 ns, was einer geschätzten Tiefe von 90 cm unter Geländeoberkante entspricht. Das Radarprofil zeigt deutlich die bereits in den Bohrungen zu erkennende grabenartige Struktur in diesem Bereich. Der tiefste Punkt der Grabensohle wird in der Bohrcatena und in dem Radarprofil an der gleichen Stelle angezeigt, nämlich am nördlichen Rand der in der Magnetik erkennbaren Struktur.

In der Magnetik wird die Anomalie undeutlich abgebildet, die Grabenbreite erstreckt sich nach Norden über die in der Magnetik erkennbare Grenze noch ca. 4 m bis 5 m hinaus (vgl. Abb. 33, oben). Im Süden scheint die graue Struktur annähernd mit der in den Bohrungen erkennbaren Grenze übereinzustimmen. Die Bohrungen geben Aufschluss über das Material der einzelnen Schichten. Zwischen dem maximal 35 cm mächtigen Oberboden und dem anstehenden Lehm (stellenweise leicht sandig) befindet sich eine humose, überwiegend sandige Schicht, die teilweise einen anthropogenen Ursprung in Form von Holzkohle-Partikeln erkennen lässt. In dem Bereich des Grabens, der in der Magnetik sichtbar ist, ist diese Schicht mindestens 60 cm mächtig. Nördlich und südlich nimmt die Mächtigkeit der Schicht ab und scheint nicht mehr ausreichend zu sein, dass sie von der Magnetik gemessen werden kann. Das Radar hingegen kartiert die Obergrenze der Lehmschicht ungeachtet dessen, welche Schichten bis zur Geländeoberkante hin aufliegen. In diesem Fall dient die Magnetik also als schnelle Methode zum generellen Erkennen der Struktur. Die genauen Ausmaße der Struktur werden dabei durch die Magnetik ungenau abgebildet. Erst die zusätzlichen Untersuchungen mit dem Georadar geben Aufschluss über die genauen Maße des Befundes. Anhand der Bohrungen lässt sich der anthropogene Einfluss in Form von Holzkohlepartikeln nachweisen. Suszeptibilitätsmessungen könnten klären, welche Schichten der Bohrungen von der Geomagnetik gemessen werden können, wurden in diesem Fall jedoch nicht durchgeführt.

5.2.2.3 Fläche 3 (Grube, An 201)

Südlich des Wäldchens Kaup in Messfläche A (vgl. Abb. 30) gelegen befindet sich die Anomalie 201, die im Jahr 2005 magnetisch vermessen und angebohrt wurde. Anhand der Bohrung ließ sich auf eine 105 cm tiefe Grube unter dem 35 cm mächtigen Ackerhorizont schließen. Im gesamten Bohrkern konnte viel Holzkohle nachweisen werden und in den unteren Schichten trat zusätzlich gebrannter Lehm auf. In der Magnetik zeigt sich die Anomalie als ca. 3 m durchmessender schwarzer Fleck mit einem Nordwest ausgerichteten weißen Hof. Die Messwerte erstrecken sich über den Bereich zwischen -2 und +22 nT. Im Radar-Timeslice erscheint die Anomalie als nahezu weißer Fleck und das Radarprofil lässt erkennen, dass die Anomalie die parallel zur Geländeoberkante be-

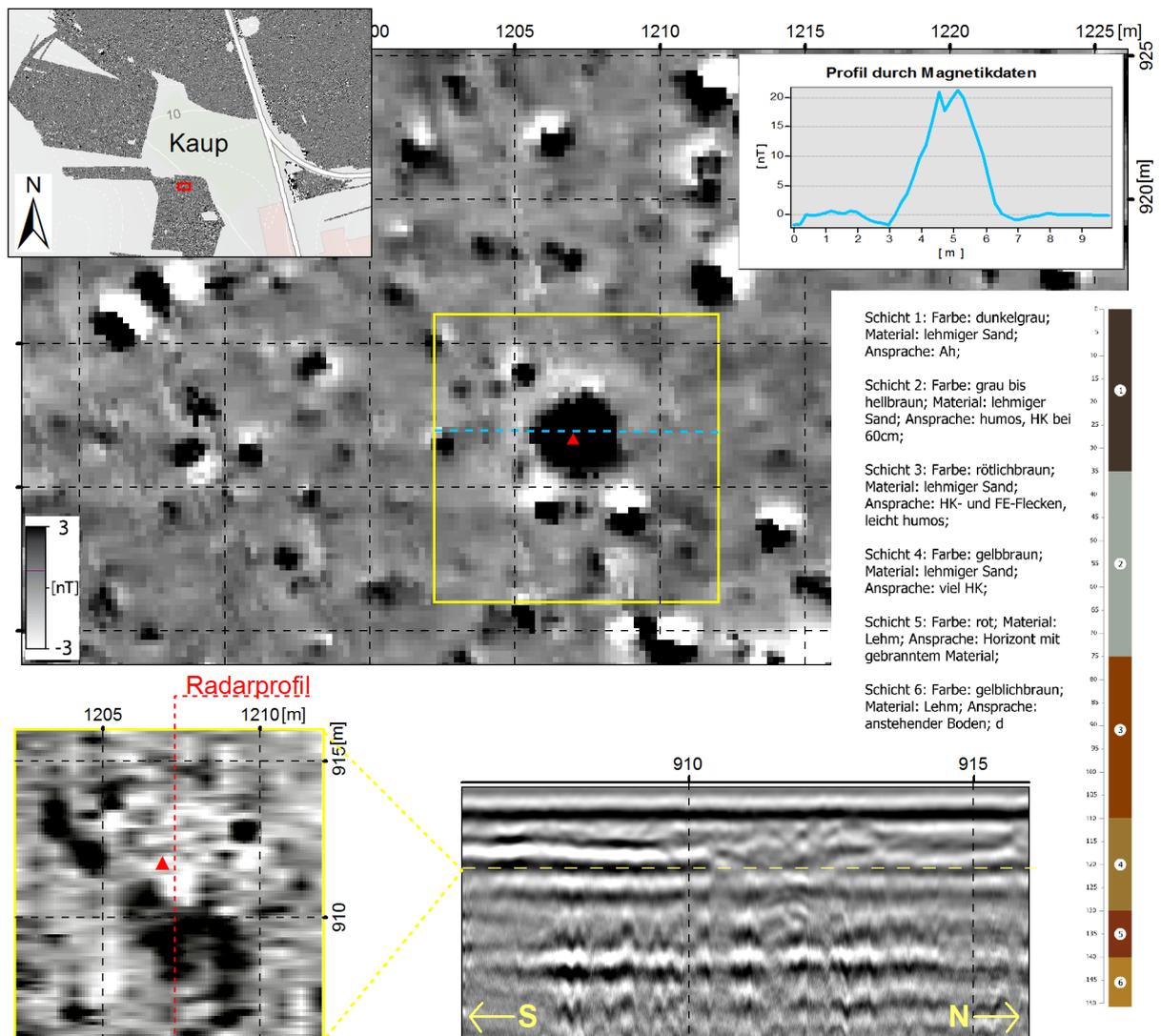


Abb. 34 Wiskiauten – Radarfläche 3: **(oben)** Magnetikdaten; **(oben rechts)** Graph der Magnetikwerte entlang der blauen Linie; **(unten links)** Radar-Timeslice in ca. 70 cm Tiefe (gelbe Linie im Radarprofil); **(unten mittig)** Radarprofil entlang der roten Linie im Timeslice; **(unten rechts)** Bohrprotokoll der Bohrung; rotes Dreieck: Position der Bohrung; Magnetikausschnitt und Radar-Timeslice genordet.

stehende Schichtung fast scharfkantig durchschneidet. Der unter dem Ackerhorizont anstehende Lehm reflektiert das Radarsignal sehr stark und es erscheint ein horizontales Band im Profil. An der Stelle, an der die Grube in den Boden eingetieft ist, fehlt dieser Reflektor, da die Grube mit sehr viel lockerem Material (hoher Sandanteil) verfüllt ist. Dadurch wird die elektrische Leitfähigkeit der Grubenverfüllung im Vergleich zum Umfeld herabgesetzt. Der hohe Anteil an gebranntem Material in der Grube sorgt dafür, dass diese von der Magnetik sehr deutlich erfasst werden kann.

13 m südöstlich von Anomalie 201 befindet sich die Anomalie 202, die im Sommer 2005 ausgegraben wurde (siehe (IBSEN 2010, 273ff.)). In der Magnetik weist diese Anomalie eine ähnliche Größe aus, hat allerdings bei gleicher nT-Skala einen stärker ausgeprägten weißen Hof. Die Grabung hat ergeben, dass der Befund einen sehr viel höheren Anteil an gebranntem Material enthält, als Anomalie 201. Es handelt sich bei Anomalie 202 um einen eingestürzten Ofen, dessen verziegelte Wandung größtenteils in die Ofenkammer gestürzt ist.

5.2.2.4 Fläche 4 (F11, 2007)

Nördlich der Kaup, mittig in Messfläche D (vgl. Abb. 30), befinden sich zwei sich kreuzende Strukturen. Die von Nordwesten nach Südosten verlaufende, leicht gekrümmte Struktur lässt sich in den Magnetikdaten auf einer Länge von 180 m nachvollziehen. An ihrem südlichen Ende setzt eine zweite lineare Struktur an, die in südöstlicher Richtung auf einer Länge von ca. 130 m nachvollzogen werden kann. Diese wurde auch sowohl von einer Radarfläche (Fläche 6, vgl. Kapitel 5.2.2.6) als auch einer Bohrcatena untersucht. Radarfläche 5 (vgl. Kapitel 5.2.2.5) erfasst den Kreuzungspunkt beider linearer Strukturen.

Die 10 m x 10 m große Radarfläche 4 ist ca. 15 m nördlich des Kreuzungspunktes angelegt und sollte zusätzlich zur Bohrcatena die Ausdehnung der Struktur im Untergrund klären. Anhand der Bohrungen ließ sich eine ca. 3,5 m breite Steinpflasterung als Ursache für die dunkle Verfärbung in den Magnetikdaten nachweisen. Weitere Bohrungen wurden im Verlauf der linearen Struktur in Richtung des Kreuzungspunktes ausgeführt und auch diese wiesen Steine in einer Tiefe von ungefähr 35 cm auf.

Die Radarmessungen ermöglichten es, die in der Magnetik nahezu einheitlich wirkende Struktur in verschiedene einzelne Linien aufzuteilen (Abb. 35, unten links). Gerade der Randbereich der Anomalie wirkt in den Radar-Zeitscheiben dunkler und klar begrenzt. In den Radarprofilen erscheint die Anomalie als blockartige Störung, ähnlich dem Erscheinungsbild in den Magnetikdaten. Darüber hinaus ließ sich aus dem Radarprofil ableiten, dass die Struktur nicht wie aus den Bohrergebnissen geschlossen 3,5 m breit ist, sondern nur 2,5 m misst (vgl. Kapitel 4.1.3). Ob es sich allerdings um einzelne parallel verlaufende Steinreihen handelt oder eine flächige Steinpackung, lässt sich anhand dieser Ergebnisse nicht klären. Dazu wäre eine Grabung in dem Bereich nötig.

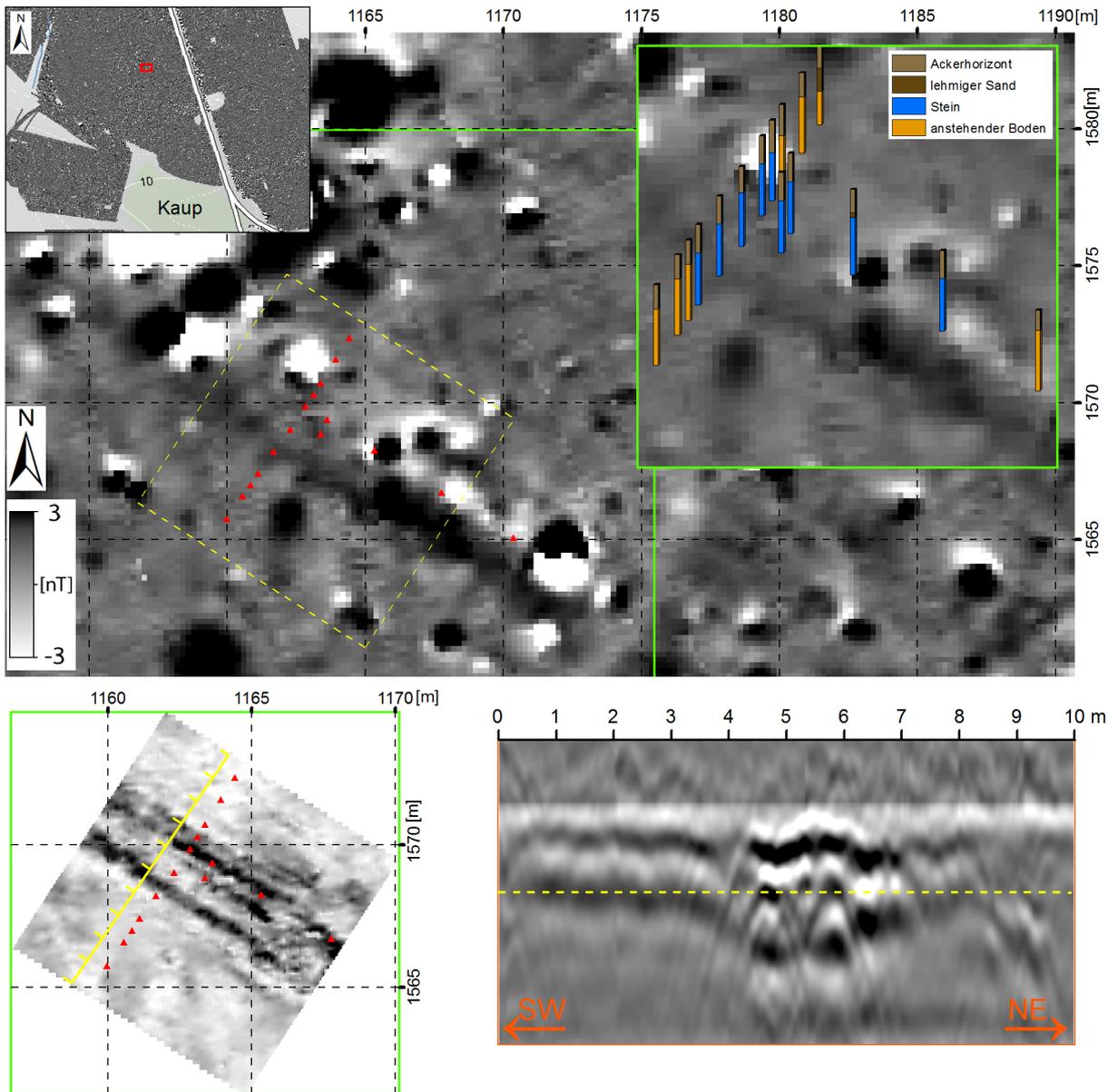


Abb. 35: Wiskiauten – Radarfläche 4: **(oben)** Übersicht und Ausschnitt der Geomagnetikdaten (grüner Rahmen: entspricht dem Magnetikausschnitt oben rechts und dem Umriss der Radarfläche unten links, gelber gestrichelter Rahmen: Radarfläche, rote Dreiecke: Bohrungen); **(oben rechts)** Darstellung der Bohrprofile am Ort der jeweiligen Bohrung; **(unten links)** Zeitscheibe in ca. 55 cm Tiefe (gelbe gestrichelte Linie unten rechts); **(unten rechts)** Radarprofil an der Stelle der gelben Linie im Timeslice (Länge der gelben Linie = 10 m).

5.2.2.5 Fläche 5 (FI2 2007)

Radarfläche 5 umfasst den Kreuzungspunkt der beiden linearen Strukturen (vgl. Abb. 36), die anhand der Radarflächen 4 (vgl. Kapitel 5.2.2.4) und 6 (vgl. Kapitel 5.2.2.6) bzw. Bohrkatena 3 und 4 untersucht wurden. An dieser Stelle treffen die beiden linearen Strukturen aufeinander. In den Magnetikdaten sieht es so aus, als ob die Nordwest-Südost verlaufende lineare Struktur (L1) vor der Südwest-Nordost verlaufenden Struktur (L2) endet, also von dieser geschnitten wird (vgl. Abb. 36). Das obere Timeslice zeigt allerdings deutlich, dass L1 oberhalb von L2 hinweg durchläuft. Auch in

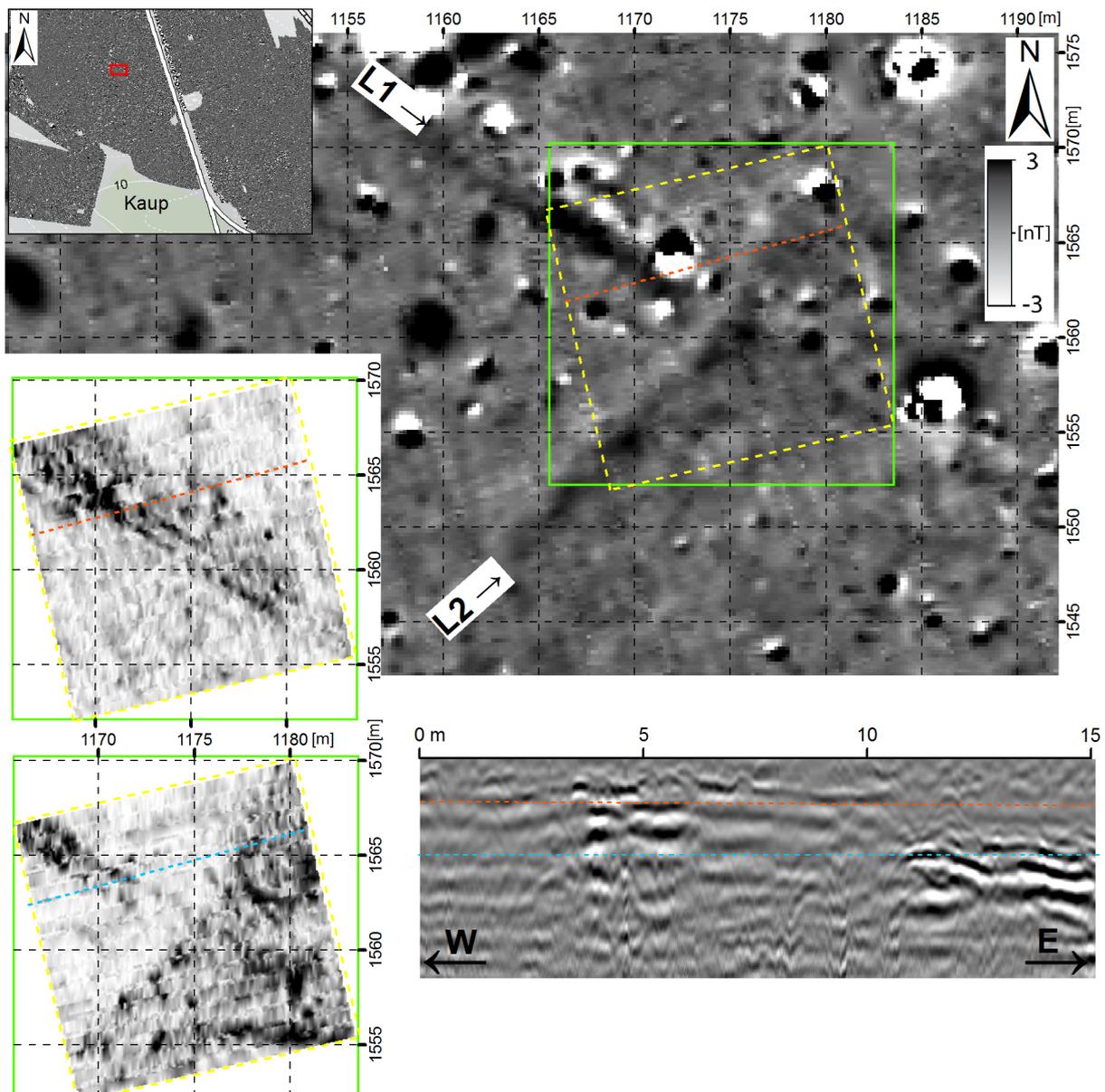


Abb. 36: Wiskiauten - Radarfläche 5: **(oben)** Übersicht und Ausschnitt der Geomagnetikdaten (grüner Rahmen entspricht dem Umriss der Radarfläche unten links, gelber gestrichelter Rahmen: Umriss der Radardaten, orange gestrichelte Linie: Position des Radarprofils; **(unten links)** Zeitscheiben in den Höhen 40 cm (oben) und 75 cm (unten), orange bzw. blaue Linie : Position des Radargramms (Länge = 15 m); **(unten rechts)** Radarprofil an der Stelle der orangen bzw. blauen Linie in den Zeitscheiben.

dem Radarprofil ist deutlich zu erkennen, dass L2 erst ca. 40 cm unterhalb von L1 ansetzt. Weiterhin scheint das Timeslice in 75 cm Tiefe anzuzeigen, dass es sich bei L2 nicht um eine lineare Struktur handelt, wie es in dem Magnetikbild scheint, sondern eine nach Südosten verlaufende flächige Anomalie, deren nordwestliche Grenze mit der ‚linearen Struktur‘ aus dem Magnetikbild übereinstimmt. Die Radarmessung schafft es also in diesem Fall, eine sehr viel detaillierte Interpretation der Strukturen zu erlauben. Gerade die Möglichkeit, dass sich Radardaten in sogenannte Zeitscheiben aufteilen lassen, ermöglicht die Aussage über die vertikale Anordnung der Strukturen zueinander. L2 ist zusätzlich in der Radarfläche 6 und in der Catena 3 untersucht worden, die im nächsten Abschnitt erläutert wird.

5.2.2.6 Fläche 6 (F13, 2007)

Südlich der 2005 ausgegrabenen Fläche 4 wurde eine 20 m x 10 m große Radarfläche in deren südöstlicher Verlängerung angelegt (vgl. Abb. 37). Fläche 4 brachte zahlreiche Pfostengruben zum Vorschein (vgl. IBSSEN 2010, 329ff.) und die Befundsituation an der südöstlichen Grabungsgrenze ließ vermuten, dass im südöstlichen Anschluss weitere Pfosten zu finden sind. Mit der Radarfläche sollte geklärt werden, ob sich diese im Radar nachweisen lassen. Ein weiteres Kriterium für die Anlage der Fläche an dieser Stelle war, dass sich eine durch Bohrungen als Brunnen identifizierte Anomalie (An34_2006) innerhalb dieser befindet, und dass sie die lineare Struktur L2 in ihrer vollen Breite erfasst (vgl. Abb. 36). Südwestlich der Radarfläche wurde zusätzlich eine Bohrcatena zur Untersuchung von L2 angelegt.

In der Bohrcatena zeigt sich in den Bohrungen 4–15 eine Schicht aus Feinsand, die direkt unterhalb des Ackerhorizontes anschließt. Die Bohrungen 5–13 reichen allerdings nicht bis in den anstehenden Untergrund, so dass sich über die maximale Tiefe der Sandschicht keine Aussage treffen lässt. Die Bohrungen 4, 14 und 15 zeigen jedoch, dass sich dieses Sandpaket zwischen dem Pflughorizont und dem anstehenden Lehm befindet. Die Magnetikdaten erwecken den Eindruck, dass die lineare Struktur an ihren Rändern durch zwei Streifen höherer Suszeptibilität eingefasst werden, die sich in den Bohrerergebnissen jedoch in dieser Deutlichkeit nicht nachvollziehen lassen. Das Radarprofil zeigt in diesem Bereich jeweils eine Hyperbel (vgl. Abb. 37: roter Kreis), die von ihrer Position her mit den dunklen Streifen in den Magnetikdaten korrespondieren. Ob es sich bei dieser Struktur um einen anthropogen angelegten Graben handelt, oder ob sie natürlichen Ursprungs ist, lässt sich anhand der vorgenommenen Untersuchungen nicht eindeutig klären. Nur die Bohrung 12 wies ein humoses Band zwischen 50 cm und 60 cm unter der Geländeoberkante auf. Anthropogene Anzeiger wie Holzkohle oder Hüttenlehm fehlen jedoch gänzlich in den Bohrerergebnissen.

Nahezu mittig in der Radarfläche befindet sich eine ca. 3,5 m durchmessende tiefschwarze Anomalie (max. 32 nT) die mithilfe einer Pürckhauer Bohrung untersucht wurde. Mittig ließ sich der Bohrstab bis 3,5 m im Boden versenken, dann traf er auf Steine. Ab 2,9 m war der Bohrstab mit nassem

Mittelsand gefüllt, der ein Hinabreichen des Befundes bis in den Grundwasserbereich nahelegt. Holzkohle und Rotlehmteilchen im Bohrkern deuten auf eine anthropogene Anlage hin.

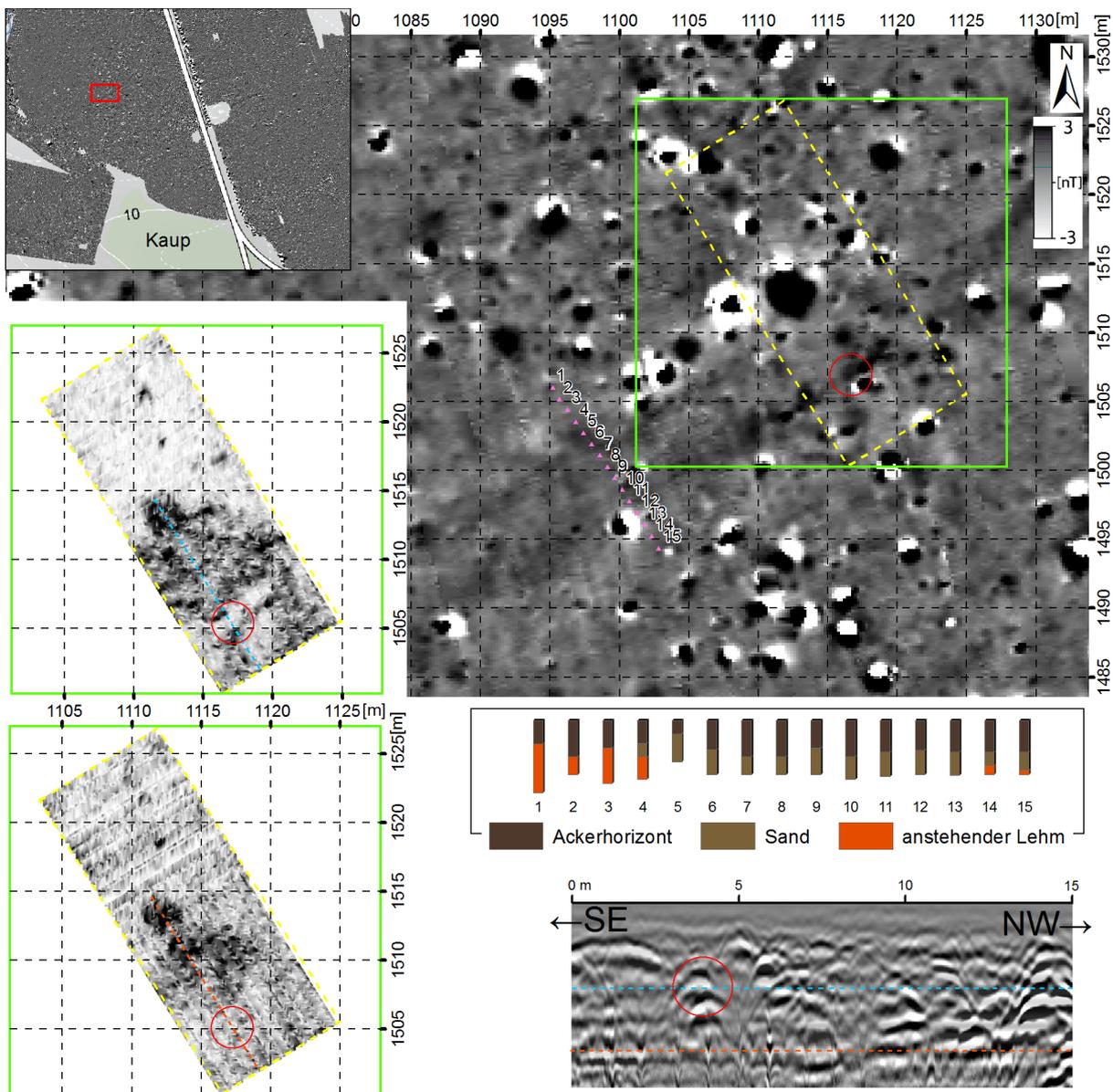


Abb. 37: Wiskiauten - Radarfläche 6: **(oben)** Übersicht und Ausschnitt der Geomagnetikdaten (grüner Rahmen: Umriss der Radarfläche links unten, gelber gestrichelter Rahmen: Umriss der Radardaten); **(unten rechts)** Radarprofil an der Stelle der orangen Linie im Timeslice links unten (das Profil erfasst nur die südliche Hälfte der Radarfläche, roter Kreis: südöstliche Grenze der linearen Struktur L2); **(links)** Zeitscheiben in einer geschätzten Tiefe von ca. 82 cm (oben) und 133 cm (unten); **(rechts mittig)** Bohrcatena.

Die Radar-und Magnetikdaten ergänzen sich in dem Bereich von Fläche 6 sehr gut. Wo die Magnetik nur ein Gesamtsignal abbildet, liefert das Radar weitere Informationen zu der Tiefe einzelner Objekte. Das Ziel, weitere wie in Ausgrabungsfläche 4 nachgewiesene Pfosten zu erfassen, können beide Methoden in diesem Fall nicht erfüllen.

5.2.2.7 Fläche 7 (Fl4, 2007)

Im nördlichen Bereich der Magnetikmessfläche D (vgl. Abb. 30) befindet sich eine ca. 3,5 m x 3,5 m durchmessende schwarze Anomalie von nahezu rechteckiger Form. Von Süd nach Nord wird sie von einem hellgrauen Streifen geschnitten, der die Anomalie mittig durchtrennt. Die als An9_2006 betitelte Anomalie wurde 2006 mit dem Pürckhauerbohrstab untersucht, der folgendes Ergebnis brachte. Im Zentrum ließ sich der Bohrer einen Meter in dem Befund versenken und förderte dunkelbraunes humoses Material mit Holzkohle und Rotlehmteilchen zu Tage. Aus Ermangelung einer Verlängerung konnte der Befund nicht tiefer erbohrt werden. 50 cm östlich und westlich des Zentrums traf der Bohrer zwischen 50 cm und 60 cm Tiefe auf Steine. Diese Anomalie wurde mit einer 10 m x 10 m großen Radarfläche untersucht. Die Zeitscheibe in ca. 75 cm Tiefe (vgl. Abb. 38, unten links) zeigt deutlich die nordsüdliche Durchtrennung des Befundes vermutlich durch einen Plug, wie eine spätere Freilegung des ersten Planums nahelegte (vgl. Abb. 39). Im Radarprofil lassen sich ab einer Tiefe von ca. 28 cm zwei deutliche Hyperbeln erkennen die in einem Abstand von ca. 2 m

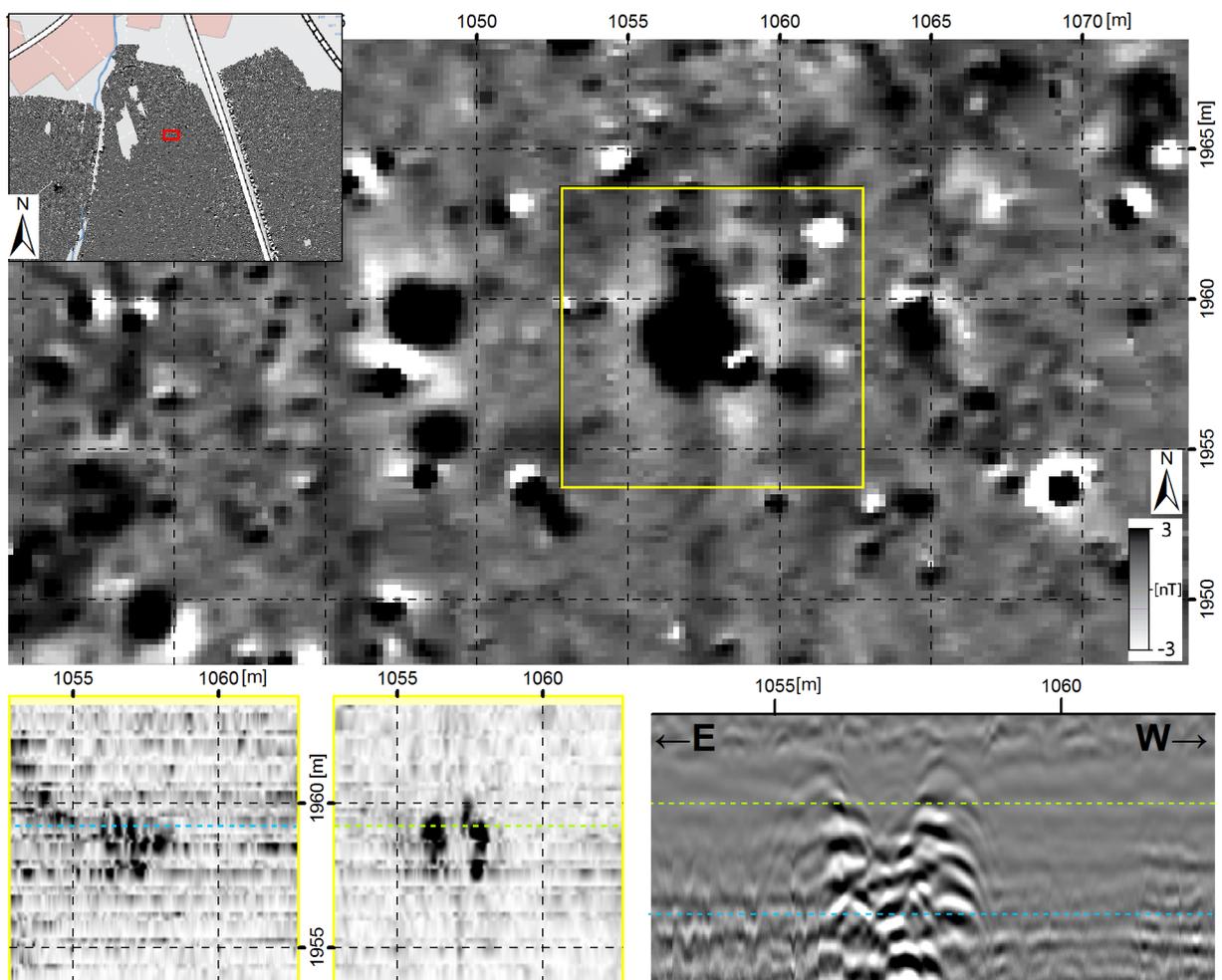


Abb. 38: Wiskiauten - Radarfläche 7: **(oben)** Übersicht und Ausschnitt aus den Magnetikdaten, gelber Rahmen entspricht der Ausdehnung der Radarflächen; **(unten links)** zwei Zeitscheiben in den geschätzten Tiefen von 75 cm (rechts) und 125 cm (links); **(unten rechts)** Radarprofil an der Stelle der blauen bzw. grünen Linie im Timeslice unten links.



Abb. 39: Wiskiauten – Grabungsfläche 19, Foto von Planum 2.

zueinander liegen (vgl. Abb. 38, unten rechts). Die Mitte zwischen den Hyperbeln scheint frei zu sein, was sich in dem archäologischen Befund auch widerspiegelt (vgl. Abb. 39). Beide Steinpakete in Planum 2 haben einen mittleren Abstand von 2 m zueinander und der Streifen dazwischen, der durch den Pflug erzeugt wurde, ist frei von jeglichen Steinen. Erst in größerer Tiefe scheinen die beiden Hyperbeln sich zu überlagern. Dies dürfte mit dem verfüllten Brunnenschacht korrespondieren

(ähnlich dem Brunnenbefund in Radarfläche 1 (vgl. Kapitel 5.2.2.1)), was in diesem Fall allerdings nicht nachgewiesen ist, da keine Verlängerung für den Pürckhauer Bohrstab vorhanden war. Die ungefähre Tiefe im Radarprofil, in der die Hyperbeln sich überschneiden, liegt aber unterhalb von einem Meter, so dass zumindest dies mit dem Bohrergebnis übereinstimmt. Das Radargramm in ca. 125 cm Tiefe zeigt eine flächige Ausdehnung des Befundes.

Aus zeitlichen Gründen und der in Grabungsfläche 2 (Brunnen, Anomalie 207) gesammelten Erfahrung wurde entschieden, diesen Befund nicht auszugraben. bei diesem Befund entschieden, ihn nicht auszugraben, sondern abzudecken und wieder zu Verfüllen.

5.2.2.8 Fläche 8 (F15, 2007)

Im nördlichen Bereich von Magnetikfläche D und ca. 110 m östlich des Flüsschens Woy (vgl. Abb. 30) befindet sich eine Nordwest-Südost verlaufende lineare Struktur, die sich nach den Magnetikergebnissen über eine Länge von 40 m nachvollziehen lässt. Die Struktur setzt sich aus einer Aneinanderreihung von Einzelanomalien zusammen. Ein Abschnitt davon wurde in der 15 m x 12 m großen, entlang der Struktur ausgerichteten Radarfläche 8 untersucht (vgl. Abb. 40). In dem abgebildeten Radarprofil ist deutlich zu erkennen, dass es sich bei der Struktur um eine sehr scharf begrenzte ca. 2 m breite Bodenstörung handelt. Sie beginnt in ca. 45 cm–60 cm unter der Geländeoberkante und reicht nach den Radarprofilen zu urteilen bis in eine Tiefe von ca. 120 cm hinab. In nahezu allen Radarprofilen zeigt sich die Struktur als ein solcher klar begrenzter Block in gleichbleibender Tiefenlage. Stellenweise ist der Block ähnlich wie bei der linearen Struktur in Radarfläche 4 auf beiden Seiten von Hyperbeln begrenzt (vgl. Abb. 35). Aufgrund dieser Ähnlichkeit lässt sich die Vermutung anstellen, dass es sich auch bei dieser Struktur um eine aus Steinen zusammengesetzte Anomalie handelt. Allerdings scheint sie kompakter – vielleicht mit einer Mauer vergleichbar zu sein. Weitere Untersuchungen zu dieser Struktur liegen nicht vor, so dass eine endgültige Interpretation ausbleiben muss.

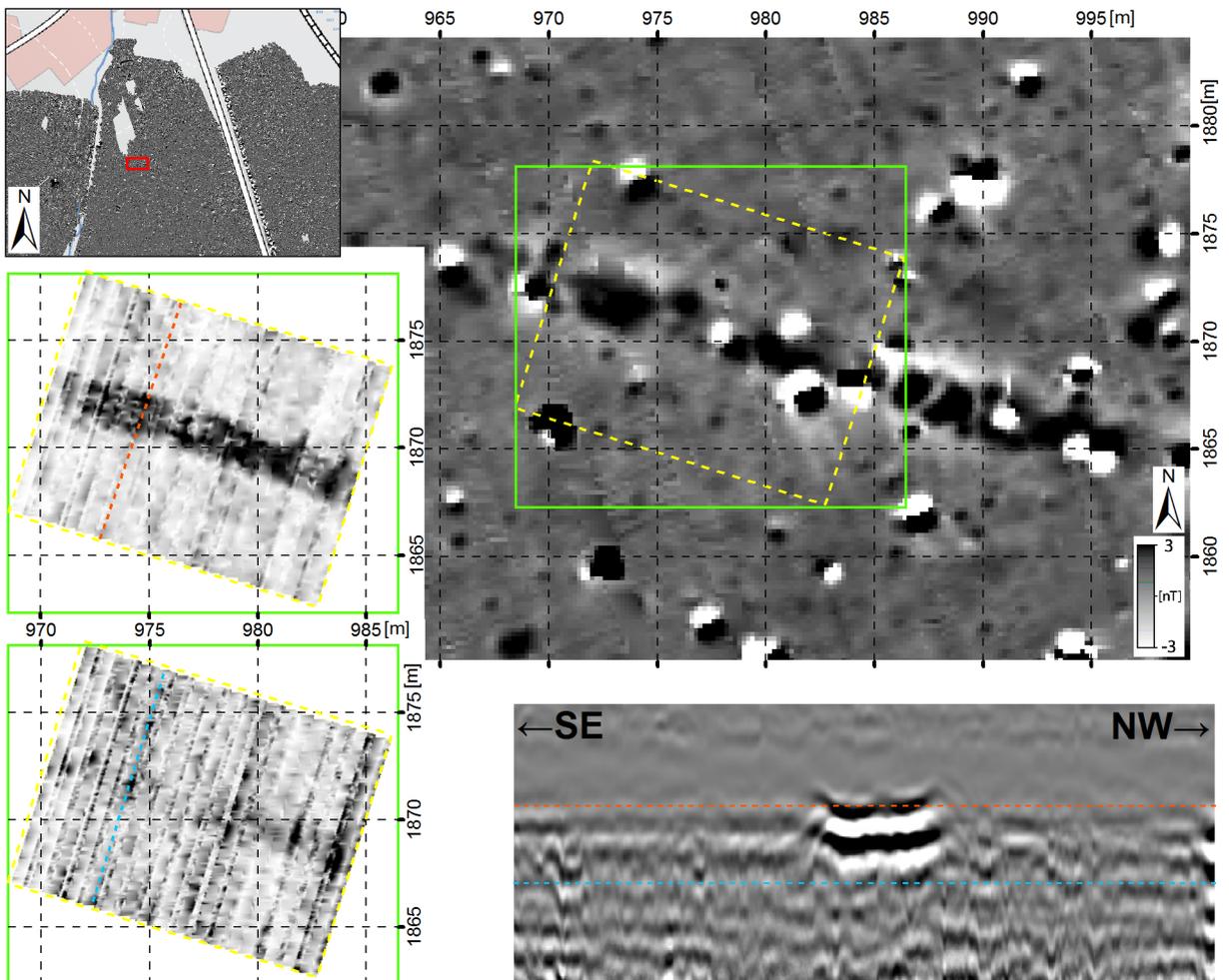


Abb. 40: Wiskiauten - Radarfläche 8: **(oben)** Übersicht und Ausschnitt der Magnetikdaten, grüner Rahmen: Umriss der Radarfläche links, gelber gestrichelter Rahmen: Umriss Timeslice; **(links)** zwei Timeslices in den geschätzten Tiefen 75 cm (oben) und 120 cm (unten); **(unten rechts)** Radargramm an der Stelle der orangen bzw. blauen Linie in den Zeitscheiben.

5.2.2.9 Fläche 9 (Fl6, 2007)

130 m südsüdwestlich von Fläche 8 (vgl. Abb. 40) zeigt sich eine leicht ovale Struktur von recht schwacher Magnetisierung (zwischen -1 nT und $+4$ nT). Sie hat ein Ausmaß von 13 m in Nordwest-Südost Richtung und misst an der breitesten Stelle 3,5 m. Mittig in der Radarfläche befindet sich ein ca. 3 m durchmessender Dipol (Abb. 41).

Das abgebildete Radarprofil befindet sich mit seiner Südwest-Nordost Ausrichtung mittig in der Fläche und schneidet auf diese Weise sowohl den Dipol im Flächenzentrum als auch die geschwungene Struktur (vgl. Abb. 41, unten rechts). Mittig in dem Radarprofil ist der Dipol sehr deutlich als eine durch das gesamte Radargramm ziehende Reflexion zu erkennen. Reflexionen, die sich durch das gesamte Radargramm ziehen, stammen sehr wahrscheinlich von metallischen Körpern (PATZELT u. a. 1998, 135).

Die leicht gebogene lineare Struktur nordöstlich davon scheint allerdings vom dem Radar nicht erfasst zu werden. In keinem der Profile zeigt sich ein deutlicher Hinweis auf die Struktur und auch

in den einzelnen Zeitscheiben lässt sie sich nicht identifizieren. Weitere Untersuchungen in Form von Bohrungen oder Ausgrabungen gibt es nicht, so dass die Frage nach der Ursache für diese Struktur ungeklärt bleiben muss.

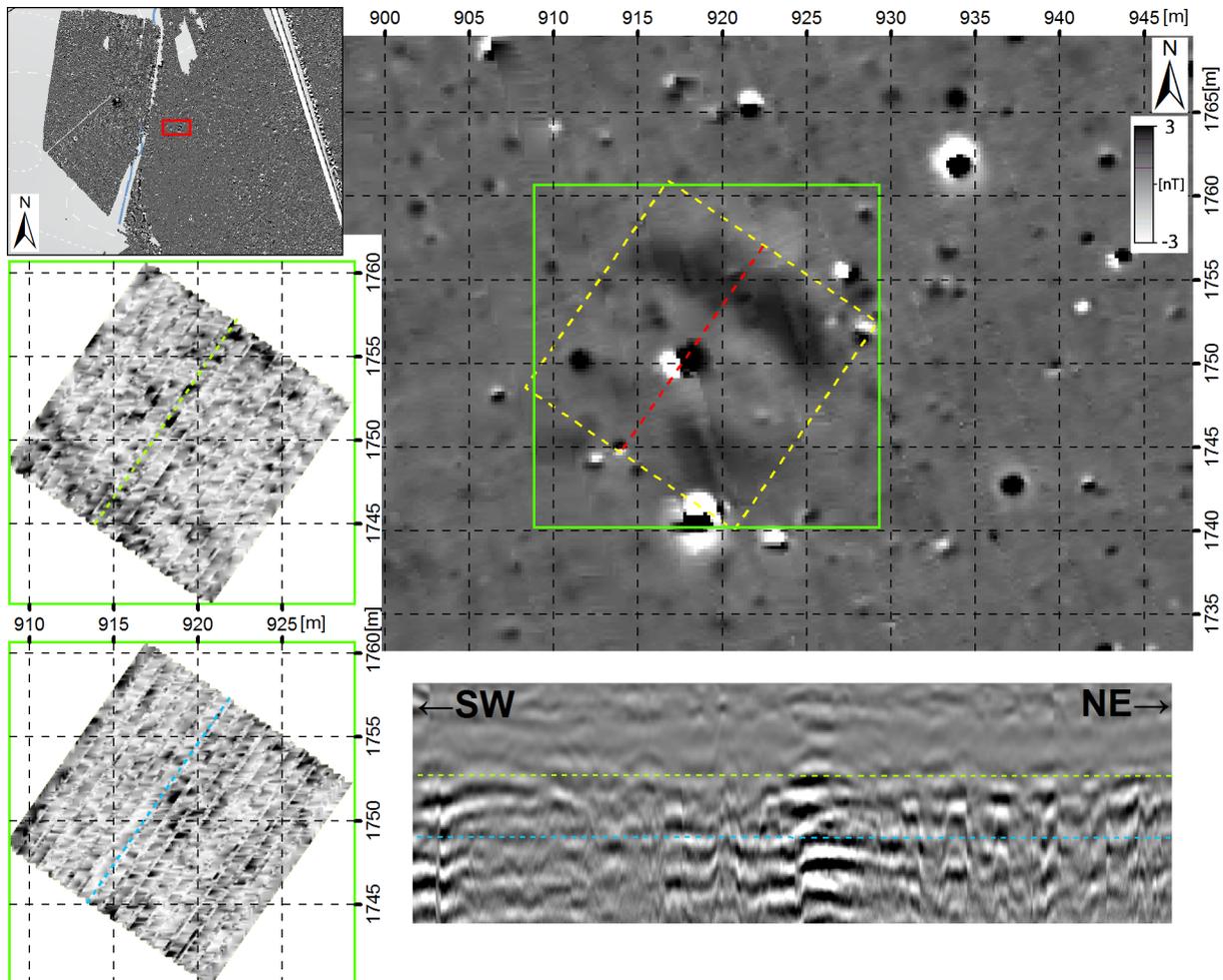


Abb. 41: Wiskiauten - Radarfläche 9: **(oben)** Übersicht und Ausschnitt der Magnetikdaten, grüner Rahmen: Umriss der Radarfläche links, gelber gestrichelter Rahmen: Umriss Zeitscheiben; **(unten rechts)** Radarprofil an der Stelle der grünen bzw. blauen Linie im Timeslice links; **(links)** zwei Zeitscheiben in den geschätzten Tiefen 75 cm (oben) und 120 cm (unten); Größe der Radarfläche: 15 m x 15 m.

5.2.2.10 Fläche 10 (FI7, 2007)

Östlich der Bahnlinie Selenogradsk-Kaliningrad in Messfläche G3 gelegen befindet sich Radarfläche 10 (vgl. Abb. 30). Die ungefähr von Nord nach Süd ausgerichtete Messfläche deckt einen Bereich von 20 m x 10 m ab. Sie wurde an einer Stelle angelegt, die im Bereich der durch Bohrungen nachgewiesenen ehemaligen Uferzone zu einem Binnensee hin gelegen ist (IBSEN 2010, 152f.) und sollte zeigen, ob sich diese ehemalige Uferzone in Form von Ablagerungshorizonten mit dem Georadar nachweisen lässt.

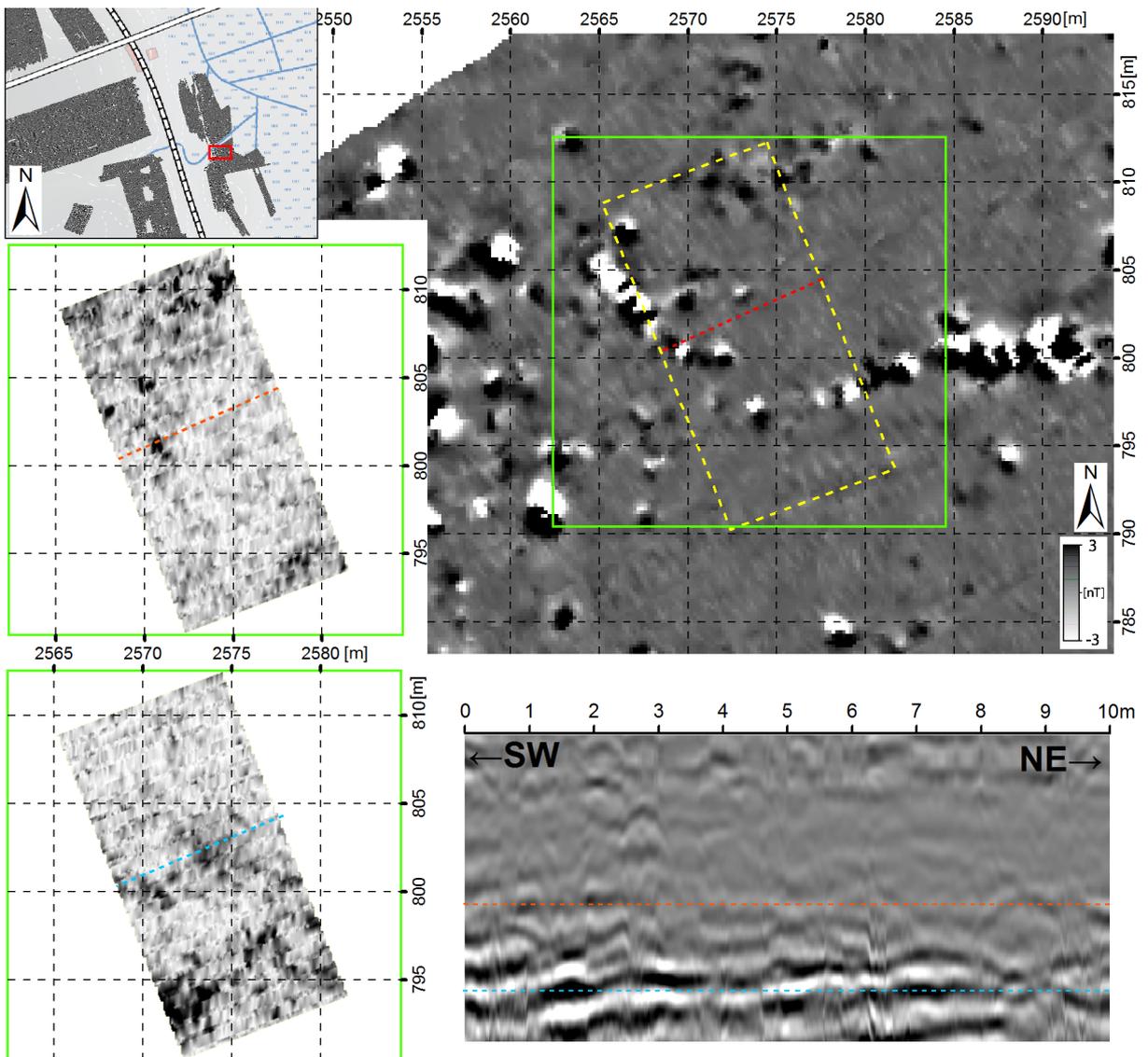


Abb. 42: Wiskiauten - Radarfläche 10: **(oben)** Übersicht und Ausschnitt der Magnetikdaten, grüner Rahmen: Umriss der Radarfläche links, gelber gestrichelter Rahmen: Umriss der Zeitscheiben; **(links)** zwei Zeitscheiben in den geschätzten Tiefen 75 cm (oben) und 150 cm (unten); **(unten rechts)** Radargramm an der Stelle der orangen bzw. blauen Linie in den Zeitscheiben.

In den Magnetikdaten zeigen sich in der abgesteckten Fläche in erster Linie verschiedene Dipole (vgl. Abb. 42, oben). Sie ziehen von Ost nach West durch die südliche Hälfte, schwenken dann nach Nordwesten hin ab und verlassen in der nördlichen Hälfte die Messfläche in westlicher Richtung. Diese Dipolreihe lässt sich nach Süden hin in einem Bogen um die östliche Grenze der als Palwe betitelten Halbinsel herum weiterverfolgen und taucht weiter südlich in der 2008 untersuchten Grabungsfläche 10 wieder auf. Dort konnte als Ursache dieser Dipolreihe der Reste eines Stacheldrahtzauns im Boden ausgemacht werden. Es scheint, dass die Palwe mit einem Zaun eingefasst war, der sie vom westlich gelegenen feuchten Flachwasserbereich abgrenzt und im Bereich der Radarfläche 10 als Dipolreihe in der Magnetik gefasst wird.

Vergleicht man die verschiedenen Zeitscheiben miteinander, erscheinen ab einer Tiefe von ca. 40 cm unter Geländeoberkante zuerst im nördlichen Bereich verschiedene Anomalien (vgl. Abb. 42,

oberes Timeslice als ein Beispiel). In dieser Tiefenlage ist die südliche Hälfte noch frei von Anomalien. Hier zeichnen sich erst ab einer Tiefe von ca. 110 cm erste Anomalien ab (vgl. Abb. 42, unteres Timeslice als ein Beispiel). Die Anomalien scheinen also in der Südhälfte tiefer zu liegen als im nördlichen Bereich. Das Gelände der Palwe fällt nach Norden zum Bach hin ab und man könnte annehmen, dass der Horizont mit den Anomalien horizontal verläuft und entweder im Süden Material aufgelagert ist oder in der nördlichen Hälfte – eventuell durch den Wasserlauf – Material ab erodiert ist. Mit den Messergebnissen der Geomagnetik lassen sich die Anomalien in den Radarbildern nicht in Einklang bringen. Ohne weitere Untersuchungen in Form von archäologischen Grabungen lassen sich die Messergebnisse kaum interpretieren.

5.2.2.11 Fläche 11 (F18, 2007)

Nördlich der Radarfläche 10, am südlichen Ende der Magnetikfläche G1 (vgl. Abb. 30) gelegen, befindet sich die Radarfläche 11 (vgl. Abb. 43). Sie liegt ca. 30 m westlich der Ausgrabungsfläche 21, die in den Jahren 2009 (21A) und 2010 (21B+C) ausgegraben wurde.

Die Magnetikdaten umfassen eine sehr deutliche Anomalie in der nordwestlichen Ecke des Messbildes (zwischen -0,2 nT und 13 nT) und verschiedene sehr schwache (zwischen 0 nT und max. 3 nT). Aus dem Radarprofil lässt sich entnehmen, dass die Befunde in der nördlichen Hälfte tiefer liegen als in der südlichen. Die Schichten scheinen nach Süden hin anzusteigen. Nur der sehr große Dipol in den Magnetikdaten an der Westgrenze der nördlichen Radarflächenhälfte lässt sich eindeutig in den Radardaten nachvollziehen. Alle anderen Magnetikanomalien scheinen sich im Radar nicht zu erkennen zu geben. Das Radar zeigt zahlreiche weitere Anomalien auf, die von den Magnetikmessungen nicht erfasst werden.

Im Bereich der südlichen Radarfläche liegt die Sondage S 8 mit einem ähnlichen Schichtaufbau wie bei der ca. 50 m westlich gelegene Grabungsfläche 5 (IBSEN 2010, 290f.). In der Sondage ließen sich ab einer Tiefe von 50 cm drei fundführende Schichten voneinander trennen, die Keramikfragmente und Tierknochen enthalten. Dabei dürfte es sich um drei unterschiedliche Kulturschichten handeln, die sich anhand von C14 Proben drei verschiedenen Epochen zuordnen lassen (untere Schicht: Bronzezeit⁸, mittlere Schicht: vorrömische Eisenzeit⁹, obere Schicht: 6.–10. Jahrhundert n. Chr.¹⁰). Darüber liegt ein 20 cm mächtiges fundleeres Band, über dem der 30 cm dicke Ackerhorizont als oberstes Schichtpaket das Profil abschließt. In der Sondage S 9, die sich am nördlichen Ende der Radarfläche befindet, ließ sich nur noch das 20 cm mächtige fundleere Band aus S 8 wiederfinden,

⁸ KIA 37098: Radiocarbon Age: BP 2864±32, One-Sigma-Range: cal BC 1113-980, Two-Sigma-Range: cal BC 1129-924.

⁹ KIA37097: Radiocarbon Age: BP 2382±29, One-Sigma-Range: cal BC 507-398, Two-Sigma-Range: cal BC 706-392.

¹⁰ KIA37096: Radiocarbon Age: BP 1274±107, One-Sigma-Range: cal AD 659-831, Two-Sigma-Range: cal AD 591-988.

das direkt unter dem Ackerhorizont liegt. Die drei darunter liegenden Kulturschichten konnten in S 9 nicht nachgewiesen werden.

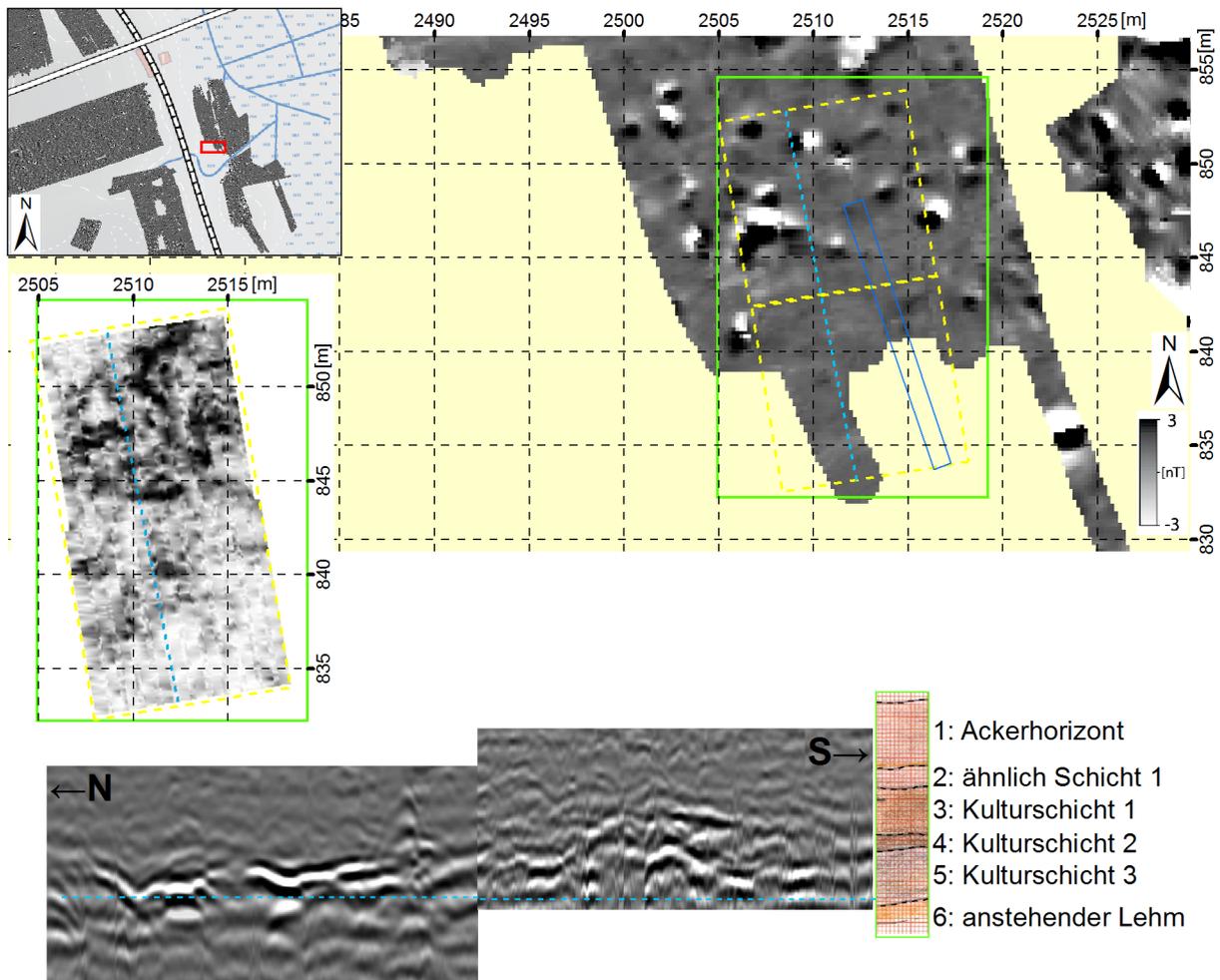


Abb. 43: Wis Kiauten - Radarfläche 11: **(oben)** Übersicht und Ausschnitt der Magnetikdaten, grüner Rahmen: Umriss der Radarfläche links, gelber gestrichelter Rahmen: Umriss Zeitscheibe, blauer Rahmen: Sondage-schnitt; **(links)** Zeitscheibe in 105 cm Tiefe; **(unten links)** Radarprofil an der Stelle der blauen Linie im Timeslice; **(unten rechts)** Südprofil des von Nord nach Süd durch die Radarfläche laufenden Sondagegrabens.

Betrachtet man das Radarprofil, lässt sich dieser Schichtaufbau nur bedingt nachvollziehen. Ein schwarz-weiß-schwarzes Band schließt das Profil als nahezu horizontale durchgehende Linie nach unten ab. Ab der nördlichen Radarflächenhälfte (im Profil der linke Abschnitt) zeigen sich über dem durchlaufenden Reflektor keine weiteren Störkörper. In der südlichen Hälfte hingegen ist der Abschnitt über dem durchlaufenden Band sehr unruhig und verschiedene Anomalien oder Schichten lassen sich hier erkennen. Soweit stimmt dies mit dem tatsächlichen Schichtaufbau überein, allerdings weichen die Tiefenangaben in dem Radarprofil ab, denn das unterste durchlaufende Band müsste nach Norden hin ansteigen, wohingegen es im Radarprofil nahezu horizontal verläuft. Auch hier bleibt eine Interpretation der Ursache der verschiedenen Anomalien in den Radardaten aus. Grabungen könnten einen Aufschluss über die Ursache der Anomalien bringen.

5.2.3 Bohrungen

Wie beschrieben wurden im Anschluss an die Magnetikmessungen Pürckhauerbohrungen ausgeführt um die von der Geomagnetik identifizierten Anomalien zu überprüfen und zu verstehen. Anfangs wurden gezielt große und sehr aussagekräftige Anomalien für eine Bohrung ausgewählt. Mit fortschreitendem Erkenntnisgewinn wurden auch gezielt undeutliche oder schwach-magnetische Anomalien für die Sondierung ausgesucht, um auch diesen Anomalientyp zu verstehen. Ziel war es, möglichst verschiedene Arten von Anomalien anzubohren, um ein breites Spektrum an unterschiedlichen Typen zu erhalten.

5.2.3.1 Kategorisierung der Bohrergergebnisse

Die Untersuchung der magnetischen Anomalien mit dem Pürckhauerbohrstab bietet einen raschen Erkenntnisgewinn über die Ursache der Anomalie. Aus der optischen Ansprache des Bohrkerns lässt sich häufig bereits eine Erklärung für den Grund der lokalen Störung des Erdmagnetfeldes an einer bestimmten Stelle ableiten. Zusatzinformationen wie Suszeptibilitätsmessungen können zu einem weiteren Erkenntnisgewinn beitragen. In der Regel wird zu jeder Bohrung innerhalb einer Anomalie auch eine Bohrung an einer Stelle im näheren Umfeld ausgeführt, an der im geomagnetischen Messbild keine Anomalien zu sehen ist. Durch den Unterschied der beiden Bohrprofile zueinander lässt sich eine Unterteilung der Bohrergergebnisse in verschiedene Kategorien durchführen, aber auch eine einzelne Bohrung bietet einen Interpretationsansatz auf die Ursache der Anomalie. Damit die Bohrergergebnisse untereinander vergleichbar sind, wurden folgende Kategorien zur Einteilung der Bohrergergebnisse benutzt:

1 Brunnen: die anthropogen erzeugte Schicht weist eine besonders hohe Mächtigkeit auf im Vergleich zu den sie umgebenden Bohrungen. Weiterhin lässt sich die Schicht bis auf die Höhe des Grundwassers nachweisen. Ein intakter Brunnen mit Steineinfassung zeigt sich als Ring aus Steinen mit einem Freiraum in der Mitte bis auf Grundwasserhöhe.

2 Feuerstelle: Die Bohrung innerhalb der Anomalie weist eine Schicht mit einer massiven Lage an gebranntem Lehm und/oder viel Holzkohle auf.

3 Grube: zwischen der Deckschicht und dem anstehenden, natürlichen Untergrund befindet sich in der zentralen Bohrung eine weitere Schicht, die in der Kontrastbohrung nicht vorhanden ist. Im Idealfall zeigt die Grube Anzeichen anthropogener Einwirkung.

4 Grube/Schicht: Aufgrund einer fehlenden Kontrastbohrung lässt sich nicht eindeutig entscheiden, ob es sich bei der in der zentralen Bohrung erkannten Schicht um einen durchlaufenden Horizont oder eine lokal begrenzte Schicht und damit um eine Grube handelt.

5 *Grube+Schicht*: sowohl in der zentralen Bohrung als auch in der Kontrastbohrung findet sich unter dem Pflughorizont eine gleichbleibende durchlaufende Schicht. Zusätzlich zeigt sich in der zentralen Bohrung ein weiteres Schichtpaket darunter, das in der Kontrastbohrung fehlt.

6 *Grube+Stein*: Die Bohrung wird nach unten durch einen Stein begrenzt. Zwischen dem Stein und dem Ackerhorizont befindet sich in der zentralen Bohrung zusätzlich ein Schichtpaket, das in der Kontrastbohrung fehlt.

7 *Kein Befund*: anhand der optischen Ansprache der Bohrung lässt sich keinerlei Aussage über die Ursache für die magnetischen Anomalie treffen.

8 *Schicht*: Sowohl in der zentralen Bohrung einer Anomalie als auch in der Kontrastbohrung befindet sich ein Schichtpaket zwischen Ackerhorizont und anstehendem Untergrund, das sich in seiner Mächtigkeit zwischen den beiden Bohrungen nicht verändert.

9 *Schicht+Stein*: Wie bei der Kategorie „Schicht“ zeigt die Bohrung und der Kontrast einen gleichbleibenden Abschnitt unterhalb des Ackerhorizontes. Zusätzlich befindet sich bei dieser Kategorie ein Stein unterhalb der Schicht in der zentralen Bohrung. Ob dieser zu einem möglichen Befund gehört oder natürlich an dieser Stelle im Untergrund vorkommt lässt sich anhand der Bohrung nicht klären.

10 *Stein/Steine*: die Bohrtiefe ist nach unten durch einen Stein limitiert, ohne dass in der Bohrung ein Schichtpaket mit anthropogenem Einfluss sichtbar ist. Durch mehrmaliges Bohren und dadurch eventuell erkennbare Freiräume, lässt sich eventuell unterscheiden, ob es sich um einen großen oder mehrere kleine Steine handelt.

5.2.3.2 Die Bohrergebnisse

Tabelle 3 zeigt eine Zusammenfassung aller auswertbaren Bohrprotokolle, die in Wiskiauten zwischen 2005 und 2011 dokumentiert wurden. Insgesamt lassen sich 348 Bohrungen¹¹ einer der in Kapitel 5.2.3.1 definierten Kategorien zuweisen. Die vollständige Tabelle mit allen dokumentierten Werten befindet sich auf der CD im Anhang.

Die Spalten „UOberfl.-Min“ und „UOberfl.-Max“ geben an, in welcher Tiefe die Oberkante der relevanten Schicht unter Geländeoberkante (GOK) liegt. Die Differenz zwischen Ober- und Unterkante der relevanten Schicht ist in den Spalten „Mächtigkeit.-Min.“ und „Mächtigkeit.-Max.“ zusammengefasst und zeigt die Varianz in der Mächtigkeit einer Kategorie. „Breite-Min.“ und „Breite-Max.“ gibt den Abstand zwischen der zentralen Bohrung und der Kontrastbohrung wieder. Stellt die Kontrastbohrung allerdings einen tatsächlichen „Kontrast“ zur zentralen Bohrung dar, und klärt damit die Zu-

¹¹ zur Benutzung des Wortes Bohrung siehe Fußnote 5, Seite 19.

ordnung zu einer bestimmten Kategorie, zeigt der Abstand der Kontrastbohrung zur zentralen Bohrung lediglich die maximale Ausdehnung der Anomalie an. Dementsprechend lässt sich der Minimalwert nur festlegen, wenn in der Kontrastbohrung der gleiche Schichtaufbau wie in der zentralen Bohrung zu erkennen ist. Die beiden Kategorien, bei der der Schichtaufbau der zentralen und der Kontrastbohrung identisch sein muss, sind die Kategorien „Schicht“ und „kein Befund“. Bei den anderen Kategorien würde ein identischer Schichtaufbau in der Kontrastbohrung bedeuten, dass es sich im gedachten Sinne nicht um einen Kontrastbohrkern handelt. Werte bei der minimalen Breite eines erbohrten Befundes treten nur bei der Kategorie „Schicht“ auf. Alle anderen Kategorien umfassen jeweils mindestens eine Bohrung, die ohne Kontrast dokumentiert wurde. Dadurch ergibt sich für die minimale Breite der Wert „0“. In Bezug auf die statistische Übersicht haben die Werte zur minimalen und maximalen Breite allerdings keinen Aussagewert.

Nr.	Kategorie	Anz.	UOberfl.- Min.	UOberfl.- Max.	Mächtigg.- Min.	Mächtigg.- Max.	Breite- Min.	Breite- Max.
1	Brunnen	5	30	40	30	380	0	100
2	Feuerstelle	14	20	40	16	105	0	300
3	Grube	46	20	75	8	127	0	1000
4	Grube/Schicht	20	16	55	5	92	0	400
5	Grube+Schicht	5	15	38	25	70	0	300
6	Grube+Stein	6	30	65	15	107	0	200
7	kein Befund	158	19	70	0	58	0	300
8	Schicht	44	8	50	12	65	50	300
9	Schicht+Stein	11	10	40	14	30	0	500
10	Stein/Steine	39	10	75	0	0	0	200

Tabelle 3: Wiskiauten: Übersicht der Bohrergebnisse: Anzahl der Bohrungen pro Kategorie (vgl. Kapitel 5.2.3.1) mit einigen statistischen Werten (UOberfl. (=Unter Oberfläche)-Min./Max.: kleinster/größter Wert der oberen Schichtgrenze unter der Geländeoberkante; Mächtigg.-Min./Max.: Dicke der relevanten Schicht; Breite-Min./Max.: kleinster/größter Abstand zwischen Bohrung und Kontrast); Einheit aller Angaben: cm.

Die Bohr- und Ausgrabungsergebnisse auf dem Fundplatz Wiskiauten haben gezeigt, dass die Befunde in den meisten Fällen direkt unter dem Ackerhorizont beginnen. Die fundführenden Schichten sind in der Regel durch die ackerbauliche Tätigkeit bereits teilweise gestört. Häufig ließ sich zwischen den in den anstehenden Boden eingetieften Befunden und dem Pflughorizont keine Kulturschicht nachweisen.

Der hohe Anteil an Bohrungen der Kategorie „kein Befund“, die also keinerlei anthropogene Tätigkeit erkennen lassen, ergibt sich u. a. daher, dass in dieser Tabelle auch sämtliche Kontrastbohrungen mit aufgeführt sind. Die meisten Kategorien brauchen eine Kontrastbohrung der Kategorie

„kein Befund“ um überhaupt als Grube angesprochen werden zu können. Nach Abzug aller Kontrastbohrungen bleiben noch 74 Bohrungen übrig, anhand derer sich keine Befundgattung erschließen lässt. Teilweise ist das darauf zurückzuführen, dass auch bewusst zwar große aber eher undeutliche Anomalien (= niedrige Messwerte) angebohrt wurden, um deren Ursache zu ergründen. So sollten mithilfe der Bohrungen neben der schnellen Erkundung des Untergrundes nach archäologischen Spuren auch die Interpretation der Magnetikdaten selbst, und das Verständnis für die Ursache verschiedener lokaler Magnetfeldabweichungen erleichtert werden. Häufig bleibt jedoch auch bei sehr deutlichen Anomalien die Frage nach der Ursache ungeklärt. Eine mögliche Erklärung ist ein Stein, der sich in einer Tiefe befindet, die mit dem Pürckhauer nicht erreicht wurde.

Am zweithäufigsten ist die Kategorie „Grube“ vertreten. Bei einfachen Gruben handelt es sich um den häufigsten archäologischen Befundtyp, und daher ist es nicht verwunderlich, dass sich diese Kategorie oft nachweisen lässt. Der Nachweis von Holzkohle-, Rotlehmteilchen und/oder sonstigen, nicht natürlich vorkommenden Einschlüssen wie Knochen- oder Keramikfragmenten, ermöglicht es aber erst, einen anthropogenen Einfluss bei der Entstehung der Grube zu postulieren. Die Oberkanten der erbohrten Gruben liegen in einer Spanne zwischen 20 cm und 75 cm unter der Geländeoberkante. Dies bedeutet nicht, dass im Fall der 75 cm unter Geländeoberkante beginnenden Grube der Ackerhorizont bis in diese Tiefe hinabreichen muss. Zwischen dem Ackerhorizont und der Grubenoberkante können sich weitere Schichten befinden, bei denen sich aber keinerlei Nachweis anthropogener Tätigkeit erbringen ließ und die deshalb nicht eindeutig der Grubenverfüllung zugesprochen werden konnten. Dementsprechend ist bei dieser Kategorie die „Mächtigkeit“ als Mindestwert der Befundmächtigkeit zu verstehen. Schichten ohne Nachweis anthropogener Tätigkeit zwischen anstehendem Untergrund und der Grube, wurden der Befundmächtigkeit zugerechnet, da sie aus stratigrafischen Gründen mit hoher Wahrscheinlichkeit auch zu dem Befund gehören. Die Kategorie „Grube+Stein“ müsste aus archäologischer Sicht mit der Kategorie „Grube“ zusammengefasst werden. Sie umfasst Bohrungen, die aufgrund der fehlenden anthropogenen Schicht in der Kontrastbohrung als Grube angesprochen werden müssen, deren anthropogene Schicht in der zentralen Bohrung nach unten aber durch einen Stein begrenzt ist. Dabei kann es sich beispielsweise um eine mit Steinen verfüllte Grube handeln. Geophysikalisch macht es aber Sinn, diese beiden Kategorien voneinander zu trennen da sich ein anderer Einfluss auf das Erdmagnetfeld ergeben kann. Lässt sich zwischen Ackerhorizont und Grubenoberkante eine weitere Schicht mit Holzkohle und/oder gebranntem Lehm abgrenzen, die sich bis in die Kontrastbohrung fortsetzt, ist die Anomalie in die Kategorie „Grube+Schicht“ eingeordnet. Bei einer Siedlungsgrabung würde man standardmäßig diese Kategorie erwarten, nämlich eine Kulturschicht, von der aus die Befunde in den anstehenden Untergrund eingetieft sind. Aufgrund der oberflächennahen Befunde auf dem Fundplatz Wiskiauten ist die Kulturschicht allerdings in vielen Fällen bereits durch die ackerbaulichen Tätigkeiten zerstört.

Die dritthäufigste Gruppe bilden die im Untergrund vorhandenen Steine. Wie bei den Gruben kann die Oberkante der Steine in einiger Tiefe unter der Geländeoberkante liegen. Zwischen dem Stein

und dem Ackerhorizont können sich weitere Schichten abzeichnen, die keinen Hinweis auf anthropogene Tätigkeit liefern, weshalb die Anomalie der Kategorie Stein zugeordnet wurde. Über die Mächtigkeit der Steine, die in diesem Fall mit dessen Durchmesser gleichzusetzen ist, lässt sich keine Aussage treffen, da ein Stein die Bohrtiefe nach unten limitiert.

Nun folgen mit ihrer Häufigkeit Bohrerergebnisse, die als Schichten angesprochen wurden. Die sowohl in der zentralen Bohrung als auch in der Kontrastbohrung nachweisbare anthropogene Schicht veränderte sich im Vergleich kaum in ihrer Mächtigkeit. Anhand der beiden Bohrungen ließ sich allerdings meist nicht entscheiden, ob es sich möglicherweise auch um eine, je nach Distanz zwischen Bohrung und Kontrast, größere Grube handelt. Während der archäologischen Grabungen hat sich gezeigt, dass eine ehemals vorhandene Kulturschicht meist bereits durch die ackerbauliche Tätigkeit zerstört war. Gerade die besonders mächtigen Schichten von 65 cm müssen wahrscheinlich als Gruben angesprochen werden. Grenzte die Unterkante der anthropogenen Schicht an einen Stein, so wurde die Anomalie in die Kategorie „Schicht+Stein“ eingeordnet. Wie bei den Kategorien „Gruben“ und „Grube+Stein“ müssten die beiden Kategorien „Schicht“ und „Schicht+Stein“ aus archäologischer Sicht zusammengefasst werden, geophysikalisch hat es aber wiederum Sinn sie voneinander zu trennen.

Fehlt eine Kontrastbohrung, so ließ sich nicht entscheiden, ob es sich bei der anthropogen entstandenen Schicht um eine Grubenverfüllung oder eventuell um eine Kulturschicht handelte. Solche Anomalien wurden der Kategorie „Grube/Schicht“ zugeordnet. Die Varianz in den Werten dieser Kategorie ist sehr groß. Die maximale Mächtigkeit betreffend, liegt „Grube/Schicht“ mit dem Wert zwischen den Schichten und den Gruben. Es ist zu überlegen, ob man anhand der Mächtigkeit eine Unterscheidung in diese beiden Kategorien vornehmen kann. Weitere Analysen anhand der Messwerte können zeigen, ob eine solche Einteilung gerechtfertigt ist.

Die Kategorie „Feuerstelle“ stellt eine Sonderform der Gruben dar. Ihr wurden die Bohrungen zugeordnet, die in den relevanten Schichten sehr viel gebrannten Lehm und/oder Holzkohle enthielten. Feuerstellen zeichnen sich besonders gut in den geomagnetischen Messdaten ab, und sind deshalb von den Gruben getrennt aufgeführt.

„Brunnen“ lassen sich nur in besonderen Fällen mithilfe der Pürckhauer-Sondierung identifizieren. Das Hauptkriterium eine Anomalie als Brunnen anzusprechen, ist der Nachweis von Grundwasser im Bohrkern. Die Absenkung des Pürckhauer-Bohrers bis auf Grundwasserhöhe ist meist aufgrund von Störkörpern im Brunnenschacht unmöglich. In solchen Fällen ließ sich die Anomalie nicht als Brunnen ansprechen. Zwei der drei erkannten Brunnen in Wiskiauten ließen sich nur aufgrund der archäologischen Ausgrabung als Brunnen identifizieren.

5.3 Analyse der Daten

5.3.1 Überprüfung der Kategorien

Um die grundlegende Unterscheidbarkeit der auf Basis der Bohrerergebnisse kategorisierten Strukturen in den Magnetikdaten zu untersuchen, wurden die jeweiligen gefundenen Anteile an Holzkohle und gebranntem Lehm in den Bohrkernen den maximalen Suszeptibilitätswerten der einzelnen

Kategorie	HK	RL	Suszept. Min	Suszept. Max	Suszept Mittel
Feuerstelle	viel	viel	37,68	2311,04	416,84
Grube	wenig	wenig	0	175,84	89,49
Grube	mittel	mittel	12,56	314,00	161,61
Grube	mittel	mittel	12,56	301,44	171,98
Grube	mittel	mittel	0	288,88	188,40
Grube	mittel	mittel	25,12	326,56	198,45
Grube	kein	kein	37,68	301,44	208,50
Grube	wenig	wenig	25,12	502,40	247,01
Grube	kein	kein	25,12	427,04	296,42
Grube	kein	kein	12,56	489,84	301,44
Grube	wenig	wenig	25,12	678,24	364,24
Grube	viel	viel	12,56	2273,36	414,48
Grube	viel	viel	12,56	1833,76	428,30
Grube+Schicht	viel	viel	0	251,20	117,61
Grube+Schicht	wenig	mittel	12,56	1733,28	531,71
kein Befund	kein	kein	12,56	226,08	142,35
kein Befund	kein	kein	12,56	263,76	145,01
kein Befund	kein	kein	12,56	200,96	147,13
kein Befund	kein	kein	62,8	213,52	177,93
kein Befund	kein	kein	25,12	288,88	198,87
kein Befund	kein	kein	37,68	314,00	205,98
kein Befund	kein	kein	113,04	276,32	213,52
kein Befund	kein	kein	0	439,60	215,09
kein Befund	kein	kein	37,68	351,68	230,79
kein Befund	kein	kein	12,56	351,68	235,50
kein Befund	kein	kein	12,56	477,28	243,66
kein Befund	kein	kein	37,68	351,68	245,82
kein Befund	kein	kein	37,68	1469,52	351,68
Schicht	wenig	wenig	0	100,48	59,37
Schicht	viel	viel	12,56	276,32	174,05
Schicht	wenig	wenig	12,56	314,00	200,96
Schicht	wenig	wenig	25,12	477,28	301,44
Schicht	wenig	wenig	37,68	1004,80	347,91

Tabelle 4: Torki 4+5: Auflistung aller Bohrungen mit Kategorie, Menge an Holzkohle und Hüttenlehm und den Minima, Maxima und Mittelwerten der Suszeptibilitätswerte (Einheit SI).

aufweist. Zwei Gruben, bei denen sich in den Schichten des Bohrprotokolls viel Holzkohle bzw. gebrannter Lehm nachweisen ließ, enthalten allerdings ähnlich hohe Werte. Auch bei den Kategorien „Grube+Schicht“, „kein Befund“ und „Schicht“ gibt es jeweils eine Anomalie, die ungewöhnlich hohe Suszeptibilitätswerte hat. Alle übrigen Bohrungen weisen einen maximalen Suszeptibilitäts-

Bohrungen gegenübergestellt. Als Beispiel seien im Folgenden die Ergebnisse für den Fundplatz Torki 4+5 vorgestellt.

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der Bohrerergebnisse. Die Spalte „Kategorie“ beinhaltet die Einteilung der Bohrerergebnisse anhand der definierten Kategorien. In den Spalten „HK“ und „RL“ ist markiert, wie hoch der Anteil an Holzkohle und gebranntem Lehm in den Bohrkernen ist. Zur Beschreibung der Bohrerergebnisse wurden deren Anteile in „wenig/mittel/viel“ eingeteilt. Die Einteilung beruht auf der optischen Ansprache des jeweiligen Bearbeiters. Die Spalten „Suszept. Min/-Max/-Mittel“ enthalten die jeweils kleinsten, größten und den Mittelwert der Suszeptibilitätswerte, der in den einzelnen Schichten eines Bohrkerns gemessen wurde.

Auffallend ist, dass die Feuerstelle den höchsten Suszeptibilitätswert

wert zwischen 100,48 SI und 502,4 SI auf bzw. in einem Fall steigt der Wert auf 678,24 SI. Die Einteilung der Kategorien spiegelt sich kaum in der Verteilung der Suszeptibilitätswerte wieder.

Betrachtet man nun eine mögliche Kategorisierung aufgrund der Anteile an gefundener Holzkohle und gebranntem Lehm in Kombination mit den maximalen Suszeptibilitätswerten, lassen sich Tendenzen erkennen, die zu einer möglichen automatischen Trennung der Kategorien genutzt werden können. Die Betrachtung der drei Parameter allein reicht aber nicht aus. Hinzukommen müssen weitere Kriterien wie z. B. Form und Größe der Anomalien. Diese können mit der Slope- und Fuzzy-Analyse aus den Magnetikdaten gewonnen werden (vgl. Kapitel 4.2.1).

5.3.2 Geomagnetikdaten

Mithilfe der in Kapitel 4.2.1 beschriebenen Slope- und der Fuzzy-Analyse ließen sich insgesamt 193199 Anomalien in den Magnetikdaten von Wiskiauten automatisiert detektieren (Tabelle 5). Die Größe der bestimmten Polygone bewegt sich dabei zwischen 0,04 m² und 452,08 m², wobei die kleinsten Polygone einem Bildpixel der Magnetikdaten entsprechen. Die durchschnittliche Polygongröße von 1,67 m² mit einer Standardabweichung von 3,05 m² weist darauf hin, dass es sich bei den großen Polygonen um Einzelfälle handelt (Abb. 44). Ferner sind nur 4,6% der Anomalien größer als 7,7 m². Betrachtet man die großen Anomalien genauer, so stellt sich heraus, dass es sich dabei um stark übersteuerte Messbereiche handelt. Diese können bedingt sein durch z. B. eine erhöhte Konzentration an Metallgegenständen im Boden oder durch Stromleitungen oder Kanalarohre.

	Anzahl Polygone	minimale Fläche	maximale Fläche	Mittelwert	Standardabweichung
<i>Alle Polygone:</i>	193199	0,04	452,08	1,67	3,05

Tabelle 5: Wiskiauten: Alle mit der Slope- und Fuzzy-Analyse markierten Polygone.

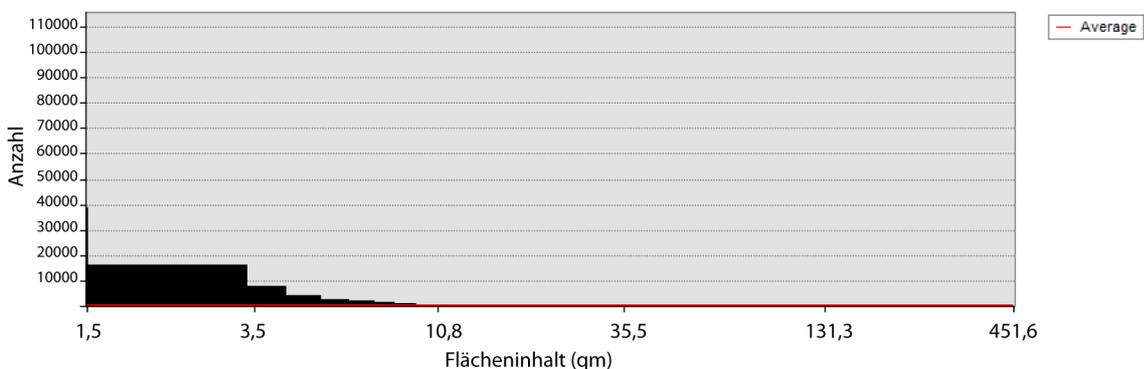


Abb. 44: Histogramm der Flächeninhalte. Die x-Achse ist logarithmisch dargestellt.

5.3.3 Deutbare Anomalien

Mittels räumlicher Verschneidung der automatisch erzeugten Polygone in den Magnetikdaten mit den Ergebnissen aus den durchgeführten Bohrungen, lassen sich 176 der detektierten Polygone einer der vorgestellten Kategorien zuweisen. Dabei wurden nur die Bohrungen berücksichtigt, die im Zentrum der magnetischen Anomalien ausgeführt wurden. Diese kombinierte Betrachtung von Bohrergebnissen und Magnetikdaten ermöglicht eine statistische Analyse der Magnetikdaten im Bezug auf die einzelnen definierten Kategorien (vgl. Kapitel 5.2.3.1).

Tabelle 6 zeigt eine Übersicht der 176 Polygone, gruppiert nach den einzelnen definierten Kategorien, zusammen mit einer Auswahl an jeweils charakteristischen Werten, welche auf der Menge aller geomagnetischen Messwerte einer der jeweiligen Kategorien beruhen. Die vollständige Ergebnistabelle der durchgeführten Statistik findet auf der CD im Anhang.

Die Zahl der Bohrergebnisse ist mit 176 sehr klein im Gegensatz zu den 193199 automatisch bestimmten Polygonen, was die Etablierung einer automatischen Klassifizierung der Polygone leider nicht möglich macht. Dennoch lassen sich anhand einer statistischen Analyse der 176 zugewiesenen Polygone signifikante Charakteristika der einzelnen Kategorien aufzeigen.

Kategorie	Anzahl	Magn. Werte- Min Min	Magn. Werte- Min Max	Magn. Werte- Min Mean	Magn. Werte Max Min	Magn. Werte- Max Max	Magn. Werte- Max Mean	Magn. Werte- Mean Min	Magn. Werte- Mean Max	Magn. Werte- Mean Mean	Range-Min	Range-Max	Range Mean	Polyg.-Fläche Max	Polyg.-Fläche Mean
Brunnen	3	0,38	0,45	0,41	15,37	33,62	21,67	4,63	9,86	6,61	14,99	33,16	21,26	16,80	14,63
Feuer- stelle	11	-10,63	2,62	-2,54	17,01	225,79	63,66	5,25	77,21	18,50	16,61	224,48	66,21	16,16	8,29
Grube	31	-10,58	0,69	-0,60	3,55	627,24	51,54	0,90	23,02	5,25	3,17	626,86	52,14	68,36	14,57
Grube/ Schicht	13	-6,79	0,57	-0,27	11,51	391,37	50,86	1,67	59,90	8,93	11,13	390,80	51,13	101,80	20,53
Grube+ Schicht	3	0,38	0,41	0,39	7,53	16,99	12,65	2,37	4,08	3,26	7,12	16,61	12,26	9,20	7,81
Grube+ Stein	3	0,38	0,69	0,48	8,79	24,68	16,96	1,98	10,45	5,00	8,41	23,99	16,48	36,30	17,08
kein Befund	65	-9,82	0,50	-0,39	1,17	76,03	17,87	0,56	22,24	4,05	0,79	85,53	18,27	275,40	17,37
Schicht	17	0,38	0,50	0,39	0,95	286,21	29,84	0,56	14,77	3,03	0,57	285,83	29,45	193,40	29,80
Schicht+ Stein	5	-3,69	0,45	-0,41	20,68	81,77	44,78	5,19	22,72	11,85	20,30	81,31	45,19	9,96	6,78
Stein	25	-15,80	0,69	-0,88	7,05	87,18	29,04	2,07	27,73	7,22	6,67	86,75	29,91	18,32	8,42

Tabelle 6: Wiskiauten: Übersicht charakteristischer Statistikwerte basierend auf der Menge aller von den Polygonen einer Kategorie eingeschlossenen geomagnetischen Messwerte (Magn. Werte) einer der jeweiligen Kategorien. Min Min/Min Max/Min Mean = kleinster/größter/mittlerer Wert der jeweils unteren Messwerte einer Kategorie; Max Min/Max Max/Max Mean = kleinster/größter/mittlerer Wert der jeweils oberen Messwerte einer Kategorie; Mean Min/Mean Max/Mean Mean = kleinster/größter/mittlerer Wert der jeweiligen Mittelwerte der Messwerte einer Kategorie; Range Min/Range Max/Range Mean = kleinster/größter/mittlere Wert der jeweiligen Spannweite der Messwerte einer Kategorie; Polyg.-Fläche Max/ Polyg.-Fläche Mean = die größte Fläche und der Mittelwert der Flächen aller Polygone einer Kategorie.

Betrachtet man z. B. den mittleren Magnetikwert einer Kategorie (vgl. Spalte „Magn. Werte Mean Mean“ in Tabelle 6) so grenzt sich die Kategorie Feuerstelle von der nächst folgenden Kategorie, der Kategorie „Schicht+Stein“ ab. Dies hat als Ursache, dass Feuerstellen sich in der Magnetik als eine Kombination aus sehr hohen und sehr niedrigen Messwerten zeigen, visuell übersetzt als schwarzer Fleck mit einem weiß Hof darum. Die anderen Kategorien hingegen zeigen ein weit homogeneres Bild in der Magnetik mit allgemein geringeren Werten, was sich auch in den Mittelwerten der gemessenen Magnetikwerte widerspiegelt. Dass die Kategorien in Kombination mit einer Grube die nächsthöchsten Mittelwerte zeigen, liegt vermutlich daran, dass die Spannweite der Amplituden und damit auch die maximal erreichten Werte mit zunehmendem Anteil an gebranntem Lehm und Holzkohle in der Grubenverfüllung ansteigen (vgl. Tabelle 4).

Die Gesamtheit der statistischen Werte von „Gruben“ betrachtet, zeigt sich diese Kategorie sonst allerdings eher als unspezifischer Anomalientyp. Sie weisen zwar die größten Magnetikwerte auf (vgl. Spalte „Magn. Werte Max Max“ in Tabelle 6), allerdings handelt es sich hierbei um Ausreißer und deren statistische Relevanz konnte nicht nachgewiesen werden. Bei den anderen Werten führte die statistische Analyse der einzelnen Gruben zu einem sehr weit gefächerten Ergebnis, weshalb sich die Kategorie „Grube“ nicht klar von anderen Kategorien aufgrund vorgestellter Statistik trennen lässt. Als Ursache dieser Vielfalt in den Ergebnissen sei zu sagen, dass als „Gruben“ angesprochene archäologische Befunde das größte Spektrum an möglichen Formen und Verfüllungen haben. Eine weitere Untergliederung des Typs „Grube“ allerdings ist nicht möglich aufgrund des im Bohrkern gefundenen Materials. Der Anteil an gebranntem Lehm oder Keramikfragmenten in den Bohrkernen ist ein wichtiges Indiz, um die Kategorie weiter zu unterteilen.

Die Polygone, die sich mit den als „Schicht“ angesprochenen Bohrerergebnissen in der vorgenommenen Verschneidung decken, weisen die größten mittleren Flächeninhalte auf. Dies passt zu der Kategorisierung, da eine Schicht natürlich flächig und nicht punktuell, wie viele der anderen Kategorien, auftreten. Betrachtet man hingegen die maximalen Flächeninhalte der Polygone, weist die Kategorie „Schicht“ nur den zweithöchsten Wert auf. Größer als die Flächen bei den Schichten aber sind nur Polygone, die sich keinem Befund klar zuordnen lassen. Somit kann man schließen, dass derartig große Flächen wohl generell der Kategorie Schicht zugeordnet werden sollten.

Bei der Kategorie „Grube/Schicht“ handelt es sich um Bohrerergebnisse, die aufgrund einer fehlenden Kontrastbohrung keine Zuordnung in eine der Klassen „Grube“ oder „Schicht“ zuließen. Als Folge spiegeln natürlich auch die Statistikwerte dieser Kategorie einen mittleren Wert zwischen den Werten der „Grube“ und der „Schicht“ wieder.

Die Kategorie „Grube+Schicht“ weist vergleichsweise kleine maximale Amplituden innerhalb der ihr zugeordneten Messwerte auf und grenzt sich damit deutlich von den übrigen ab. Da es sich bei dieser Kategorie allerdings um eine Kombination aus einer „Grube“ und einer „Schicht“ handelt, die beide Amplituden von mindestens 286 nT erreichen können, muss dieses Ergebnis als unsicher

betrachtet werden. Ansonsten grenzt sich diese Kategorie bei keinem Wert deutlich von den übrigen Kategorien ab.

Die als „Brunnen“ identifizierten Polygone heben sich in keinem der statistischen Werte deutlich von den übrigen Kategorien ab. Trennbar wird die Kategorie aufgrund der Kombination mehrerer Werte. Betrachtet man die Spalte der kleinsten maximalen Magnetikwerte, so weisen „Brunnen“ zusammen mit den Kategorien „Feuerstelle“ und „Schicht+Stein“ die höchsten Werte auf. Betrachtet man hingegen die übrigen Spalten, mit Ausnahme der Polygonflächen, so haben „Brunnen“ bei dem Vergleich der drei Kategorien den jeweils kleinsten Wert.

Für die Kategorie „Stein“ lässt sich weder anhand eines einzelnen Statistikwertes, noch anhand einer Kombination aus mehreren Werten eine Abgrenzung von den übrigen Kategorien erkennen. Das Spektrum der Gesteinsarten ist auf dem Fundplatz Wiskiauten derart groß, das die statistische Auswertung ein zu weit gefächertes Ergebnis erbringt.

Die Betrachtung der statistischen Werte der Kategorie „kein Befund“ zeigt, dass sich diese Kategorie nicht durch spezielle Statistika von den anderen Befunden abhebt. Lediglich in der Spalte der maximalen Polygonfläche weist diese Kategorie den mit Abstand höchsten Wert auf, was allerdings als irrelevant bezeichnet werden kann, betrachtet man den Mittelwert der Polygongröße. Somit kann man schließen, dass bei der vorgestellten Kategorisierung keine definitiv erklärbare Kategorie übersehen wurde.

Die vorgestellte statistische Analyse der Geomagnetik mit den Bohrerergebnissen zeigt, dass sich auch anhand der Magnetikdaten tendenzielle Unterschiede zwischen den einzelnen Kategorien ergeben. Eine eindeutige Zuordnung der geomagnetischen Anomalien zu einer der Kategorien ist jedoch ohne weiteres nicht möglich. Klare Tendenzen konnten bei den Bohrerergebnissen festgestellt werden, bei welchen das Vorkommen von gebranntem Lehm und Holzkohle möglich ist (vgl. Kapitel 5.3.1).

5.3.4 Betrachtung einzelner Kategorien

Da sich gezeigt hat, dass die Betrachtung aller Kategorien kein eindeutiges Ergebnis erbracht hat, soll im Folgenden die Betrachtung einzelner Kategorien in Vordergrund stehen.

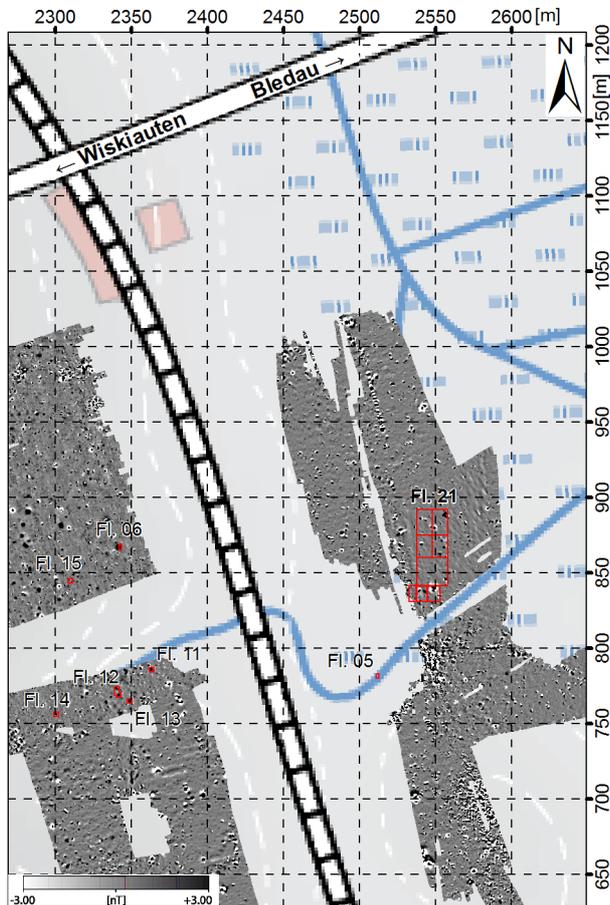


Abb. 45: Wiskiauten: Lage der Ausgrabungsfläche 21.

Während der beiden Grabungskampagnen 2009 und 2010 wurden in der Messfläche G2 westlich der Bahnlinie und südlich der Straße Wiskiauten-Bledau insgesamt 83 m² Fläche geöffnet und archäologisch untersucht (Abb. 45). Die Wahl dieser Stelle für eine größere Grabungsfläche erfolgte vor allem aufgrund von 2 Voraussetzungen: Die Grabungen der Jahre 2005–2008 brachten zahlreiche Hinweise, die für einen größeren Siedlungskomplex des 7. und 8. Jahrhunderts zwischen der Palwe und dem Hügelgräberfeld in der Kaup sprechen. Hinzu treten einige Befunde des 9. und 10. Jahrhunderts n. Chr., die insbesondere aus den in Ufernähe zu dem ehemaligen Binnensee gelegenen Sondagen 15 und 16 stammen (IBSEN 2010, 261). Die Fläche 21 teilt sich dabei in die drei Abschnitte A–C auf. Im Jahr 2009 wurde Fläche 21A mit einer Größe von 10 m x 15 m ausgegraben, wobei sich die genaue Wahl der Fläche an

2 großen geomagnetischen Anomalien orientierte. Eine Erweiterung der Fläche im folgenden Jahr erfolgte aufgrund der zahlreichen aufgedeckten Pfostenstandspuren. Im nördlichen Anschluss wurde eine 20 m x 50 m große Fläche (21B) geöffnet. Westlich wurde die Fläche um ein 5 m x 10 m großes Areal bis an den dort verlaufenden Weg erweitert (Fläche 21C). Zusätzlich zu der geomagnetischen Untersuchung des Bereichs im Frühjahr 2008 wurden die Flächen 21B und 21C im Sommer 2010 nach Abtrag des Ackerhorizonts erneut geomagnetisch vermessen. Diesmal erfolgten die Messungen mit einer Auflösung von 2 cm x 2 cm. Der Vergleich beider Messergebnisse bietet die Möglichkeit, den Einfluss des Ackerhorizonts auf die darunterliegende Befundschicht in den Messdaten zu überprüfen.

Abbildung 46 zeigt den Unterschied der beiden Messergebnisse in Fläche 21B. Die an der Oberfläche erhobenen Daten wirken unruhiger verglichen mit den Daten in Planum 1. Dies hängt in erster Linie damit zusammen, dass die Oberfläche mit ihrem starken Bewuchs sehr uneben ist, wodurch die Positionsbestimmung mit der GPS Antenne ungenauer wird. Planum 1 hingegen ist mit dem Bagger angelegt und mit der Schaufel abgezogen, so dass sich hier eine nahezu perfekte Ebene bietet, die sich sehr präzise vermessen lässt. Darüber hinaus fällt auf, dass Anomalien, die bereits bei den Messungen auf dem Ackerhorizont in der Magnetik sichtbar waren, im rechten Bild sehr viel klarer zu erkennen sind (rote Kreise). Dies liegt unter anderem daran, dass die Messauflösung im rechten Bild höher ist und dass die magnetischen Anomalien nicht durch den Ackerhorizont abgeschwächt werden. Die meisten der Dipole, die man im linken Bild ausmachen kann, verschwinden nach Abtrag des Ackerhorizonts (blaue Kreise). Dadurch wird die Vermutung bestätigt, dass es sich bei den Dipolen größtenteils um Gegenstände handelt, die vom Pflug in den Ackerhorizont eingebracht wurden. Zahlreiche neue, vorwiegend sehr kleine Anomalien erscheinen im rechten Bild (grüne Kreise (nur einige Beispiele markiert)), die durch den Ackerhorizont abgeschirmt wurden und an der Oberfläche nicht sichtbar waren. Die spätere Ausgrabung hat gezeigt, dass es sich dabei größtenteils um einzelne Pfosten handelt, die sich zu verschiedenen Hausgrundrissen zusammenfügen lassen. Ihr Durchmesser von häufig unter 20 cm und die meist nicht sehr mächtigen Pfostengruben, erklären, warum die Befunde nicht an der Oberfläche sichtbar waren.

Fünf der im Sommer 2010 dokumentierten Befunde wurden als Grundlage zur Berechnung eines Korrelationskoeffizienten in der Fläche genutzt (zur Methode vgl. Kapitel 4.2.4). Es handelt sich um drei sichere Pfosten (Befunde 31, 54 und 82), einen unsicheren Pfosten (Befund 52) und einen Tiergang (Befund 39) (vgl. Abb. 47). Die Klassifizierung der fünf Objekte erfolgte aufgrund ihrer Geometrie im Profil und des Materials der Verfüllung. Unter Nutzung der Fuzzy-Analyse wurden 66 Anomalien in der Fläche markiert. Die berechneten Korrelationskoeffizienten wurden mit den 66

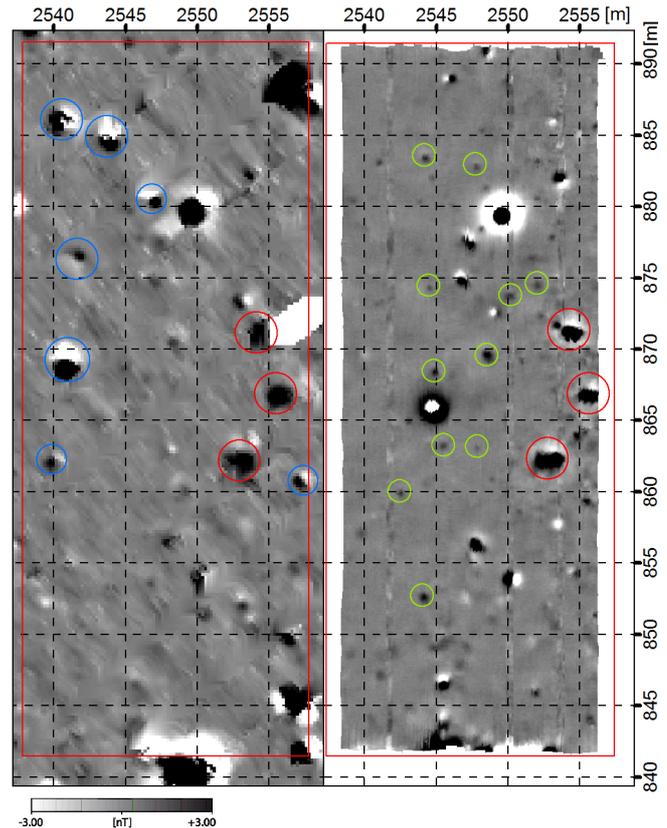


Abb. 46: Wiskiauten - Ausgrabungsfläche 21 B: **(links)** Magnetikdaten auf dem Ackerhorizont; **(rechts)** Magnetikdaten nach Abtrag des Ackerhorizonts; roter Rahmen: Grabungsgrenze Fläche 21B.

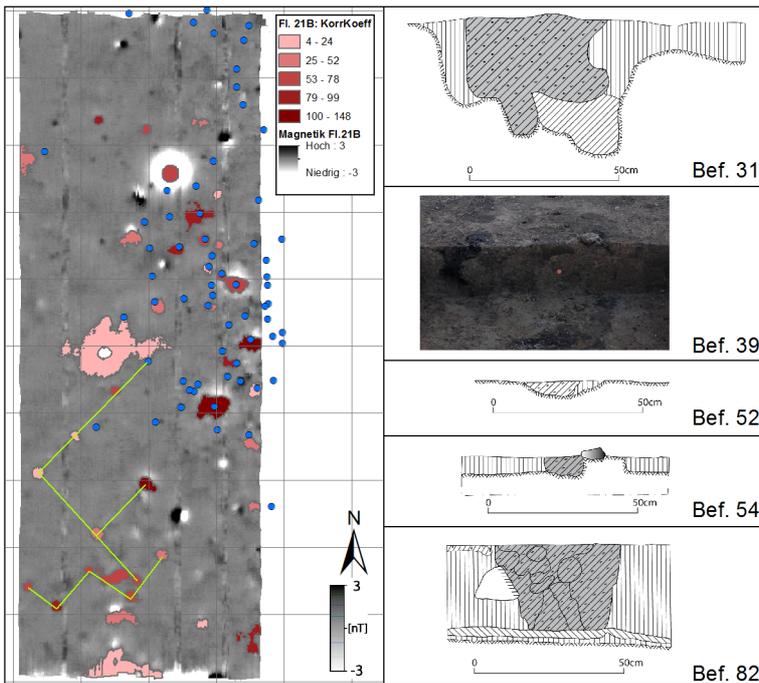


Abb. 47: Berechnung des Korrelationskoeffizienten für fünf verschiedene Befunde in Fläche 21B; **(links)** Magnetikdaten in Planum 1 (vgl. Abb. 46), blaue Punkte: dokumentierte Befunde, „Fl. 21B: Korr-Koeff“: Ergebnis der Fuzzy-Analyse; **(rechts)** Profile der fünf Befunde (dunkelgraue Flächen markieren jeweils den eigentlichen Befund).

markierten Anomalien verschnitten. Die farbige Signatur in abgestuften Rottönen (vgl. Abb. 47) zeigt an, wie oft die markierten Polygone mit den Befunden korrelieren. Dargestellt sind nur Korrelationen, mit einem Wert über 0,8, was einer starken Korrelation entspricht. Der Tiergang und der unsichere Pfosten, die in den Magnetikdaten nicht bzw. nur sehr schwach zu sehen sind, korrelieren dabei mit keinem der berechneten Polygone. Die Zuordnung der Anomalien zu der Kategorie „Pfosten“ ist in diesem Fall eindeutig, so dass alle errechneten Polygone Ausschnitte der Magnetik-

daten darstellen, die einem Pfosten ähnlich sehen. Zahlreiche der berechneten Polygone decken sich mit dokumentierten Pfostenbefunden und nur bei neun Polygonen ließ sich kein Befund feststellen. Auffällig ist, dass zahlreiche der kleinen grauen Flecken in der Magnetik, die bei einer optischen Ansprache als Pfosten klassifiziert worden wären, mit keinem der drei Pfostenbefunde korrelieren.

Zwar wurde auf der gesamten Fläche der Ackerhorizont abgetragen, archäologisch untersucht wurden aber nur die Befunde der nördlichen 30 m. In dem südlichen Abschnitt wurden die nach Abtrag des Ackerhorizonts sichtbaren Befunde lediglich dokumentiert. Durch die Analyse lassen sich nun zahlreiche der dokumentierten Befunde als Pfosten ansprechen. Einige befinden sich in einem geometrischen System zueinander und können so zu Teilen von weiteren Hausgrundrissen rekonstruiert werden. Partiiell lassen sich diese auch mit in der Grabung erkannten Befunden zu größeren Komplexen kombinieren. Sowohl in der südlich anschließenden Fläche 21A als in den nördlichen 30 m von Fläche 21B ließen sich Hausgrundrisse rekonstruieren. Daher ist es als wahrscheinlich anzusehen, dass sich auch in dem mittleren Abschnitt Siedlungsspuren nachweisen lassen.

Die Betrachtung nur einzelner Kategorien bei der statistischen Analyse zeigt, dass dies in Kombination mit den archäologischen Vorinformationen zu einem guten Resultat führen kann. Auf diese Weise lassen sich bestehende archäologische Ergebnisse mit Informationen aus der geophysikalischen Prospektion sinnvoll ergänzen.

5.3.5 Korrelation aller Polygone mit allen Bohrerergebnissen

Für die automatische Klassifizierung nicht kategorisierter Anomalien eignet sich die Methode der Korrelation, die hier beispielhaft vorgestellt sei für die Kategorien aus Kapitel 5.2.3.1.

	Befundgattung	Anzahl Polygone	minimale Fläche	maximale Fläche	Mittelwert	Standardabweichung
	<i>Alle</i>	116353	0,04 m ²	452,08 m ²	3,83 m ²	6,87 m ²
1	Brunnen	115	0,04 m ²	66,84 m ²	14,68 m ²	9,34 m ²
2	Feuerstelle	2403	0,04 m ²	241,72 m ²	7,06 m ²	8,02 m ²
3	Grube	80399	0,04 m ²	452,08 m ²	2,97 m ²	5,08 m ²
4	Grube/Schicht	2943	0,04 m ²	452,08 m ²	6,99 m ²	13,08 m ²
5	Grube+Stein	524	0,04 m ²	86,84 m ²	9,81 m ²	8,25 m ²
6	Schicht	2879	0,04 m ²	275,4 m ²	7,97 m ²	10,24 m ²
7	Schicht+Stein	707	0,04 m ²	76,08 m ²	7,59 m ²	5,83 m ²
8	Stein	17676	0,04 m ²	452,08 m ²	4,86 m ²	8,65 m ²
9	Steine	8707	0,04 m ²	452,08 m ²	5,62 m ²	9,61 m ²

Tabelle 7: Wiskiauten: Auswahl der automatisiert markierten Anomalien. Die Tabelle enthält Polygone, die sich mithilfe des für die Bohrerergebnisse errechneten Korrelationskoeffizienten einer Kategorie zuordnen lassen.

Die räumliche Verschneidung der mithilfe des Korrelationskoeffizienten errechneten Anomalienpunkte (zur Methode siehe Kapitel 4.2.4.) mit den Polygonen der Slope-/Fuzzy-Analyse ermöglicht die Identifizierung der magnetischen Anomalien, bei denen eine starke Korrelation mit einer durch eine Bohrung identifizierten Kategorie vorliegt (vgl. Tabelle 7). 116353 Polygone weisen einen solchen Zusammenhang auf. In Kapitel 5.3.3 wurde gezeigt, dass es starke Überschneidungsbereiche zwischen den Kategorien gibt. Infolgedessen kann bei der Korrelation aller Polygone mit allen Bohrerergebnissen ein einzelnes Polygon mit mehreren Kategorien korrelieren. In Tabelle 7 ist den Polygonen die Kategorie zugewiesen, mit der sie am häufigsten übereinstimmen. Wie bereits in Kapitel 5.3.1 gezeigt, müssen die Merkmale zur automatisierten Klassifizierung nochmals überdacht werden, da die in dieser Arbeit verwendeten zu einem nicht zufriedenstellenden Ergebnis führten. Eine Zusammenlegung einzelner Klassen z. B. könnte bereits eine große Verbesserung erzielen. In Kapitel 5.3.4 ließ sich zeigen, dass die Betrachtung einzelner Kategorien ein geeignetes Ergebnis erzielt.

Die Größe der Polygone bewegt sich in einer Spannweite zwischen $0,04 \text{ m}^2$ und $452,08 \text{ m}^2$, mit einem Mittelwert von $3,83 \text{ m}^2$ und der Standardabweichung $6,87 \text{ m}^2$ (vgl. Tabelle 7). Im Vergleich zu denselben Werten für alle errechneten Polygone steigen beide Werte an (vgl. Tabelle 5). Dies bedeutet, dass zahlreiche der kleinen Polygone nicht einer bestimmten erbohrten Anomalienkategorie zugewiesen werden können. Ein Auswahlkriterium zum Anbohren einer Anomalie war deren Form im geomagnetischen Messbild. Tendenziell wurden eher größere Anomalien für die Pürckhauer-Sondierung gewählt.

Die Ergebnisse aus Kapitel 5.3.4 haben gezeigt, dass die überwiegend sehr kleinen Pfostenbefunde mit selten mehr als 20 cm Durchmesser und einer erhaltenen Tiefe von oft weniger als 15 cm nicht an der Oberfläche messbar sind. Lediglich drei große Feuerstellen werden von der Oberflächenmessung erfasst. Ähnliche Ergebnisse zeigen sich bei den Messdaten der Grabungsflächen 22A-E und auch den zahlreichen Pfostenbefunden, die in Grabungsfläche 4 dokumentiert werden konnten (vgl. IBSEN 2010, 329ff.). Bei der archäologischen Untersuchung von Fläche 21A konnten größere Pfostenbefunde mit 40 cm Durchmesser und einer erhaltenen Tiefe von 35 cm–40 cm dokumentiert werden. Jedoch wurden auch diese Pfosten nicht von der Magnetik an der Oberfläche erfasst. Es scheint, dass der Ackerhorizont auf diesem Fundplatz die kleineren Befunde gänzlich in den Magnetikdaten überlagert. Bei den erfassten Befunden handelt es sich um größere Gruben, Feuerstellen und einige Brunnen. Dies äußert sich auch in dem Mittelwert der Polygongröße.

5.3.6 Ergebnis

Eine Markierung der Anomalien und darüber hinaus die Berechnung ihrer Korrelation mit bekannten Bohrerergebnissen bzw. Befunden erlaubte eine automatische Klassifizierung der Magnetikdaten. Die Kategorisierung der Bohrerergebnisse erfolgte anhand von archäologischen Befundgattungen. Oben vorgestellte statistische Analyse zeigt, dass es auch in den Geomagnetikdaten tendenzielle Unterschiede zwischen den einzelnen Kategorien gibt. Die Kategorien weisen bei der Analyse jedoch große Überlappungsbereiche auf, so dass eine eindeutige Trennung in diese ohne weiteres nicht möglich ist. Die Betrachtung einzelner Kategorien hat zu einem zufriedenstellenden Ergebnis geführt.

Die Erhebung weiterer Merkmale könnte zur besseren Trennung der Kategorien führen. Vorstellbar wäre u. a. eine Analyse der Größe der Polygone unabhängig von den Kategorien, da sich verschiedene archäologische Befundarten, wie z. B. Brunnen und Pfostenlöcher in ihrem geomagnetischen Abdruck deutlich in ihrer Größe voneinander unterscheiden sollten. Weiterhin könnte die Form der Polygone ein Unterscheidungskriterium darstellen. Pfostenlöcher z. B. sollten als regelmäßige und runde Polygone in der Magnetik erkennbar sein, Schichten dagegen dürften sich als große unregelmäßige Struktur zu erkennen geben oder Gräben in Form länglicher Polygone. Auch muss die Änderung der zugrunde liegenden Kategorien überdacht werden.

6 Apuolė (Litauen)

Im Rahmen eines 2011 durchgeführten gemeinsamen Feldpraktikums des Zentrums für Baltische und Skandinavische Archäologie in Schleswig und des Institute of Baltic Sea Region History and Archaeology der Universität Klaipėda in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geowissenschaften, Abteilung Archäometrie, der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel wurde der Fundplatz Apuolė unter Nutzung verschiedener geophysikalischer Prospektionsmethoden (Magnetik, Radar und Elektrik) partiell untersucht. Zur Überprüfung der geophysikalischen Messergebnisse wurden sieben der detektierten Anomalien mit dem Pürckhauerbohrer untersucht, fünf in der Magnetikfläche südlich der Burg und zwei in der Radarfläche auf dem Burgplateau (vgl. Abb. 48). Der Fundplatz Apuolė, bei dem es sich um eine Burganlage handelt, die aus einem zentralen Burgwall mit zugehöriger Vorbürgsiedlung und einem angrenzenden Gräberfeld besteht (LAMM 2009, Abb. 3), liegt ca. 80 km nordöstlich von Klaipėda. Aufgrund der unterschiedlichen archäologischen Komponenten aus denen sich das Denkmal zusammensetzt, war es gut geeignet, verschiedene geophysikalische Prospektionsmethoden auszuprobieren und diese den Studenten im Feld vorzuführen.

6.1 Das Denkmal

In der Nähe des heutigen Ortes Apuolė, Kr. Kretinga (heute Skuodas r., Litauen) befindet sich ein Burgberg, der zu den größten Anlagen der über 1000 registrierten Bodendenkmäler diesen Typs in Litauen zählt (BAUBONIS u. ZABIELA 2005, 20). Erwähnung findet der Ort in der „Vita Ansgarii“, in der Apuolė in Zusammenhang mit dem zweiten Besuch Ansgars in Schweden erwähnt wird („...Danach verließen sie, [...], ihre Schiffe, [...] und eilten kampfeslustig zu einer weiteren der Städte des Landes namens Apulia.“ (VITA 1828, 232ff.)). Diese Erwähnung, als Platz kriegerischer Auseinandersetzung zwischen der kurischen Bevölkerung und skandinavischen Angreifern, erklärt das starke Interesse, das schon früh sowohl von historischer als auch von archäologischer Seite dem Fundplatz entgegen gebracht wurde (LAMM 2009, 10). Der ca. 80 km nordöstlich von Klaipėda gelegene Burgwall befindet sich am Zusammenfluss der beiden Wasserläufe Brukis und Luoba, die heute als ca. 1–2 m breite Bäche in der Landschaft zu sehen sind. Ihre ursprüngliche Breite dürfte allerdings 100–200 m betragen haben und auch ihre Tiefe dürfte mit 15 m ihre heutige Tiefe von 1 m bei weitem überstiegen haben (ebd. 11). Beide Bachläufe schließen das sich etwa 15 m über den Talboden erhebbende Plateau, das sich mit einer ungefähren Breite von 70–80 m zungenförmig zwischen den Bachläufen erstreckt, auf natürliche Weise ein. Etwa 100 m von der äußeren Spitze entfernt wird dieses Plateau im Osten durch einen mindesten 7,5 m hohen Wall begrenzt. Östlich des Walls und damit diesem vorgelagert, befindet sich ein ca. 14 m breiter und bis zu 2 m tiefer Graben (ebd. 17).

Der Beginn der Erforschung dieses Fundplatzes liegt am Ende der 1920er Jahre und sollte unter der Leitung des Schweden Birger Nerman zu einer Zusammenarbeit schwedischer, lettischer und litauischer Archäologen führen. Nerman verfasste über seine Untersuchungen im Jahr 1931 ein auf

Deutsch verfasstes Manuskript, das allerdings erst nach seinem Tod 1971 beim Ausräumen eines Schrankes in seinem Emerituszimmer auftauchte (LAMM 2009, 11). Auf litauischer Seite gehörten zu den Ausgräbern von 1931 u. a. der archäologisch interessierte Generalleutnant Vladas Nagevičius und Professor E. Volteris (ebd. 26). Die Untersuchungen wurden folgendermaßen aufgeteilt: General Nagevičius führte die Untersuchungen am Burgwall durch, die Untersuchungen auf dem Burgplateau unterlagen Professor Volteris zusammen mit Professor Nerman und die Untersuchungen auf dem benachbarten Gräberfeld Professor Nerman alleine. Ebenfalls unter der Leitung Nermans fand die Suche nach der Siedlung statt. Zusammengestellt und publiziert wurden sämtliche Grabungsergebnisse allerdings erst 2009 durch Jan Peder Lamm.

6.2 Geophysikalische Prospektion

Während des zweitägigen Praktikums wurden einerseits südlich des Burgberges in einer als Siedlungsareal angesprochenen Region (LAMM 2009, 132) Geomagnetikmessungen durchgeführt und andererseits wurde der Burgberg mit einer Radarfläche im Inneren und Radarprofilen über den östlichen und den südlichen Wall untersucht. An der Stelle der Radarprofile wurden zusätzlich jeweils Elektrikprofile angelegt und gemessen. In der Magnetik- und in der Radarfläche wurden verschiedene Anomalien mit einem Pürckhauer Bohrstab untersucht (zur Lage siehe Abb. 48).

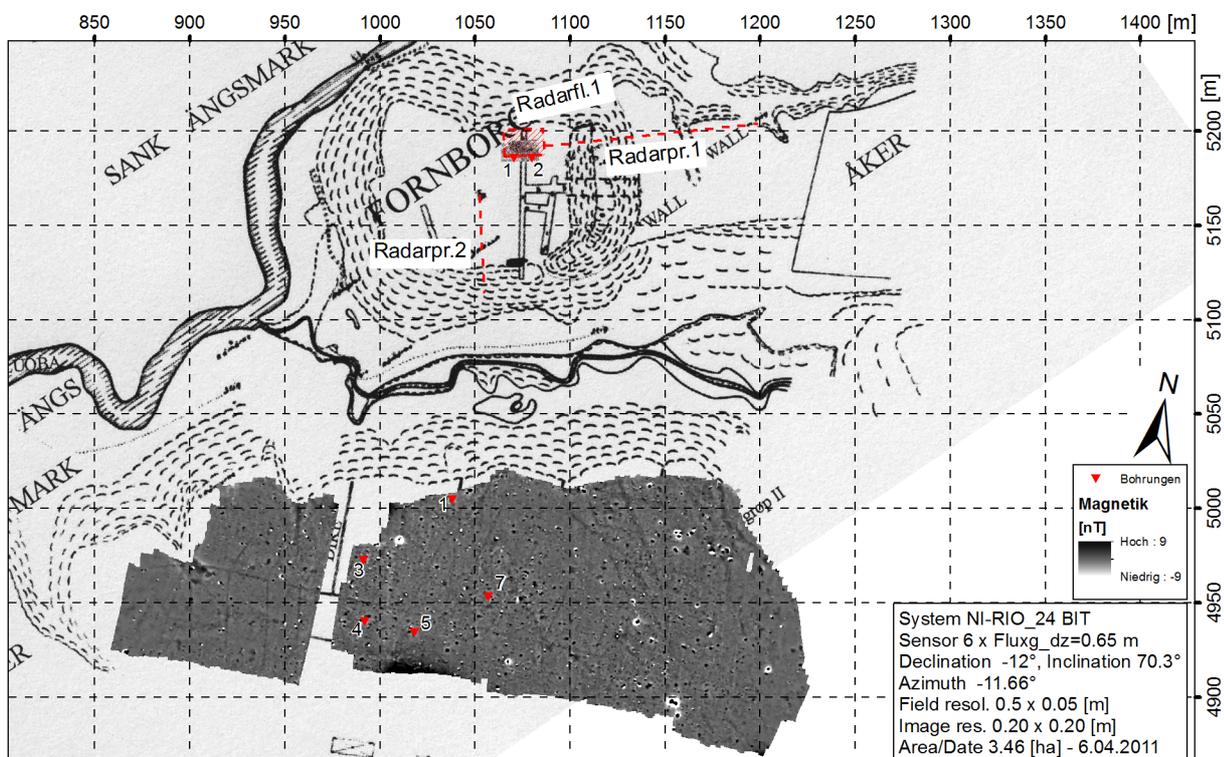


Abb. 48: Übersicht der geophysikalischen Untersuchungen in Apuolė: rote Linien: 2 Radarprofile + 1 Radarfläche im Bereich des Burgberges; südlich: 3,5 ha große Magnetikfläche; Hintergrundkarte: (LAMM 2009, Abb. 14); zur großräumigen Lage siehe Abb. 18.

6.2.1 Magnetik

Südlich des Burgberges über das Flüsschen Brukis hinweg schließt sich ein etwas niedrigeres Hochplateau an, das sich nach Süden erstreckt. Birger Nerman legte in diesem Bereich 1931 drei Suchschnitte an, die siedlungsanzeigendes Material zu Tage förderten (LAMM 2009, 132). Unter den sehr spärlichen Funden zeigen sich Keramikfragmente und verschiedene Fragmente von gebranntem Lehm mit Flechtwerkabdrücken. Ausgehend von diesen Testschnitten, die sich am nördlichen Rand des Plateaus befinden, wurde die Fläche nach Süden hin geomagnetisch untersucht (vgl. Abb. 48).

Auf den ersten Blick fallen zahlreiche lineare Strukturen auf, die sich in verschiedenen Richtungen durch die Magnetikfläche ziehen. Diese rühren mit großer Wahrscheinlichkeit von Drainageanlagen her und korrespondieren mit einigen auf älteren Karten verzeichneten solchen Drainagen (LAMM 2009, Abb. 14). Am südlichen Ende der östlichen Teilfläche zeigt sich eine größere dunkelschwarze Verfärbung die von einer Störung durch ein angrenzendes Wohnhaus verursacht wird. Die gesamte Fläche ist übersät von zahlreichen Dipolen, die von an der Oberfläche liegendem Metallschrott herrühren dürften. Dazwischen zeigen sich allerdings auch viele teilweise recht große Anomalien mit sehr hohen Amplituden. Größere Strukturen zusammenhängender Einzelanomalien scheint es auf den ersten Blick nicht zu geben.

Fünf der zahlreichen in den Magnetikdaten detektierten Anomalien wurden mit dem Pürckhauer-Bohrstab untersucht (vgl. Abb. 48). Die Bohrungen erbrachten meist übliche Siedlungsgruben: Mit Siedlungsanzeigern (u. a. Holzkohle und gebrannter Lehm) verfüllte Gruben zwischen 37 cm und 90 cm Tiefe. In allen Bohrkernen ließen sich Holzkohle- und Rotlehmartikel nachweisen. Anhand der Kontrastbohrungen lässt sich ein Durchmesser der Gruben von nicht mehr als 3–5 m, in einem Fall 10 m annehmen. Die Bohrungen bestätigen also die Existenz von Gruben in diesem Areal des Fundplatzes, die von der Magnetik deutlich erfasst und abgebildet werden. Über die Funktion und die Datierung der erbohrten Gruben lässt sich anhand der Bohrergergebnisse keine eindeutige Aussage treffen. Ob die von Nerman angenommene Gleichzeitigkeit der von ihm erforschten Siedlungsgruben in diesem Bereich auch auf die erbohrten Gruben zutrifft, muss unbeantwortet bleiben. Eine Datierung der genommenen C14 Proben aus den Bohrungen könnte einen Hinweis auf die Beantwortung der Frage geben.

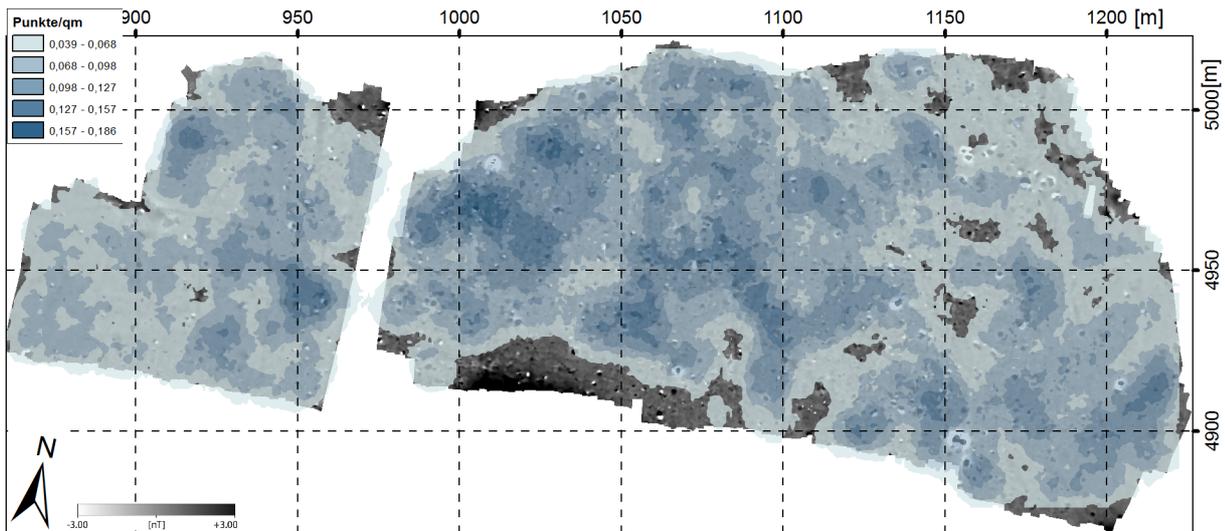


Abb. 49: Apuolė: Magnetikfläche südlich des Burgberges. Die magnetischen Anomalien sind umgerechnet als Dichtekartierung. Dargestellt werden Punkte/m² (Parameter siehe Kapitel 12.1).

Berechnet man aus den Mittelpunkten der einzelnen magnetischen Anomalien die Verteilung dieser Anomalien pro m², zeigt sich, dass gerade die kleinere westliche Teilfläche nach Westen hin sehr viel dünner mit Anomalien besetzt ist (zur Methode siehe Kapitel 4.2.3). In diesem Bereich ist sicher das Ende des Areals erreicht, das mithilfe des Pürckhauerbohrstabs als anthropogen beeinflusstes Gebiet angesprochen werden kann. Hier sollte der Bereich ohne Anomalien ausreichen, um vom Ende des Siedlungsareals sprechen zu können. Ein ähnliches Phänomen ist im Nordwesten der Messfläche zu beobachten. Auch hier nimmt die Anzahl an Anomalien pro Quadratmeter stark ab. Betrachtet man allerdings das Magnetikbild in dem Bereich, zeigt sich, dass hier einige Anomalien mit hohen Amplituden zu sehen sind, die sich aus einem schwarzen Fleck mit einem umlaufenden weißen Hof zusammensetzen. Eine ähnliche Anomalie wurde in Wiskiauten im Jahr 2005 angebohrt und anschließend ausgegraben (Wi05/Anomalie 202). Die Anomalie in Wiskiauten zeigte im Bohrprofil eine nicht mehr als 10 cm mächtige Schicht aus gebranntem sandigem Lehm. Während der Ausgrabung stellte sich heraus, dass es sich um die Überreste einer ehemaligen Ofenanlage handelt, deren eingestürzte Kuppel der Schicht mit gebranntem sandigen Lehm im Pürckhauer zuzuordnen ist (IBSEN 2010, Abb. 187). Sollte es sich bei den Anomalien in der Nordostecke der Magnetikfläche von Apuolė auch um solche Ofenanlagen handeln, läge die Vermutung nahe, dass in diesem Areal ein Produktionsbereich zu erwarten ist, in dessen Umfeld sich eine geringere Siedlungsaktivität abspielte. Auf dem Fundplatz Ves 5 im Suzdal Opolje (Kapitel 9.3) ließ sich das Phänomen der größeren Anomalien bei geringerer Anomaliendichte mithilfe einer Dichteverteilung und der Berechnung der durchschnittlichen Anomaliengröße nachvollziehen. Weitere Anomalien in Wiskiauten und auch in Kernavė (Kernavė2/Anomalie 2) mit ähnlichem Aussehen in der Magnetik lassen sich anhand des jeweiligen Bohrprotokolls der Befundkategorie „Feuerstelle“ zuweisen (Kapitel 5.2.3.1). Pürckhauersondierungen könnten einen raschen Aufschluss darüber geben, um welche Kategorie es sich bei den Anomalien in Apuolė handelt.

6.2.2 Wallprofil

Zur Untersuchung der das Burgplateau östlich und südlich begrenzenden Abschnittswälle wurden in beiden Abschnitten jeweils Radar- und Elektrikmessungen durchgeführt. Etwas genauer soll an dieser Stelle das Radarprofil durch den östlichen Abschnittswall erläutert werden, denn zu diesem gibt es aus einer archäologischen Untersuchung aus dem Jahr 1931 ein als Vergleich heranziehbares Grabungsprofil. Bei dem unter der Leitung von V. Nagevičius durchgeführten Wallschnitt wurde insgesamt eine Fläche von 360 m² freigelegt, von der 126 m² bis auf den anstehenden Untergrund abgetieft wurden. Heute ist die Lage des Wallschnitts noch als flache Mulde in der Wallkrone zu erkennen. Das Radar- bzw. Elektrikprofil wurde ca. 20 m nördlich des Wallschnittes positioniert, um sicher zu stellen, dass es sich zwar möglichst nah an dem Schnitt befindet um es vergleichen zu können, jedoch weit genug weg, um nicht den Einfluss der Erdarbeiten in Form von Aushub oder ähnlichem mit den Messungen zu erfassen.

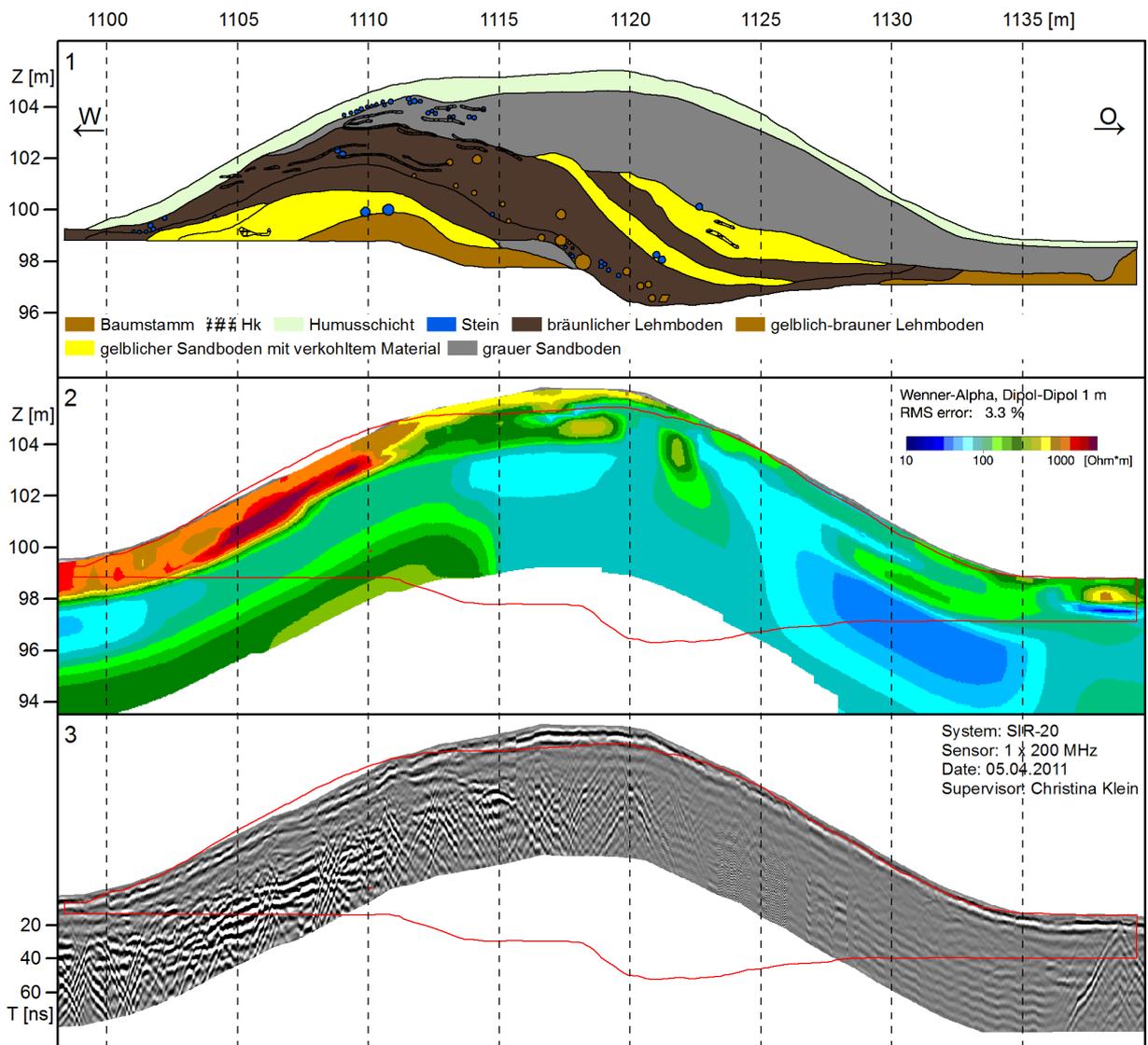


Abb. 50: Apuolè: Schnitt durch den östlichen Wall des Burgplateaus. **(1)** Wallschnitt von 1931 (nach LAMM 2009, Abb. 89); **(2)** Elektrikprofil, ca. 20 m nördlich des Wallschnitts, in rot markiert der Umriss des Profils aus 1; **(3)** Radarprofil, ca. 20 m nördlich des Wallschnitts, in rot markiert der Umriss des Profils aus 1.

Anhand der Dokumentation des Wallschnitts durch V. Nagevičius lässt sich eine vierteilige Entwicklungsphase des Burgberges postulieren (LAMM 2009, 142f.). Durch die auf allen Wallkronen der einzelnen Phasen vorhandenen Brandschichten und die Steinpflaster auf den Kronen der inneren Wälle ließen sich die Phasen deutlich voneinander trennen. Funde aus den einzelnen Bebauungsphasen ermöglichten eine grobe Datierung der Abschnitte. Phase I besteht aus einem ca. 1 m hohen und bis zu 4 m breiten Wall aus gelblich braunem Lehmboden, dem ein bis zu 14 m breiter und 2 m tiefer Graben vorgelagert ist (siehe Abb. 50.1) (ebd. 144). Dieser Bauabschnitt lässt sich in die Zeit 200–400 n. Chr. datieren. Ein Brandhorizont an der Oberfläche bezeugt den Übergang zur Phase II. Diese zeigt sich im Profil als eine bis zu 1,7 m hohe Aufschüttung aus gelblichem Sandboden, die den Wall auf eine Breite von bis zu 12 m vergrößert. Einzelne Pfostenspuren auf der inneren Wallböschung bezeugen eine Bebauung in diesem Bereich. Ein erneuter Brand ca. 200 Jahre später, der anscheinend aber nur einen Teil der Burganlage zerstörte, wurde zum Anlass genommen, die Wallanlage mit einer weiteren, nun sehr viel aufwändiger gestalteten Aufschüttung zu versehen. Auf die zur Stabilisierung eingebrachten Lagen aus Eichen- und Birkenstämmen mit Durchmessern zwischen 17 cm und 70 cm wurden Schichten aus bräunlichem Lehmboden aufgetragen. Die Basisbreite des so errichteten Walls beträgt nun etwa 15 m und er erreicht eine Höhe von 7–8 m. Auf der Krone ließ sich eine Befestigung der Walls durch Steine nachweisen. Die hohe Anzahl an skandinavischen Pfeilspitzen in den Schichten dieser Wallphase erlaubt es, die Phase III des Burgberges und den Wikingereinfall in Apuolė im Jahr 853 miteinander in Verbindung zu bringen. Phase IV ist charakterisiert durch eine ca. 4 m mächtige Aufschüttung aus grauem Sandboden auf der Außenseite des Walls, die an der Oberfläche mit Steinen befestigt wurde. Keramikfragmente aus dieser Aufschüttung lassen auf eine Datierung ins 11. Jahrhundert schließen.

Abbildung 50.3 zeigt das an die Topografie angepasste Radarprofil. Die maximale Eindringtiefe liegt bei 65 ns, was in diesem Fall ca. 5 m entspricht. Verschiedene Schichtgrenzen sind deutlich in dem Profil zu unterscheiden. Bei 12 ns verläuft parallel zur Oberfläche eine erste Grenze, die sich über die gesamte Profilbreite verfolgen lässt. Dabei dürfte es sich um die Untergrenze des Oberbodens handeln. Diese zeigt sich in dem Wallschnitt als ca. 80 cm mächtige Schicht auf dem eigentlichen Wall. Darunter folgt von der Westkante des Radarprofils bis zum Scheitel des Walls ein nahezu homogenes Band mit verschiedenen Hyperbeln, die mit oberflächennahen einzelnen Steinen erklärt werden können (vgl. LECKEBUSCH 2001, Abb. 48). Auch die von CONYERS (2004, 12) abgebildeten Messungen einer Steinverfüllung eines Grubenhauses zeigen ein ähnliches Aussehen. Dies entspricht auch den Beobachtungen aus dem Wallschnitt, bei dem sich als obere Befestigung der Phase III eine Steinpackung nachweisen ließ. Bei ca. 25 ns folgt nun eine weitere Schichtgrenze in der westlichen Profilhälfte. Diese äußert sich als sehr starker Reflektor in den Radardaten und ist immer wieder gestört von verschiedenen Hyperbeln, die sich bis zum Ende des Radarprofils nach unten fortsetzen. Der Wallschnitt weist in diesem Bereich eine massive Lehmschicht auf, die teilweise an der Oberfläche zur besseren Stabilisierung gebrannt ist. Als Innenkonstruktion fanden sich bis 6 m lange und 80 cm durchmessende Baumstämme, die quer zur Messrichtung im Boden liegen. Im

Wallschnitt folgt unter dem Lehmpaket eine weitere Sandschicht (Phase II). Bei 62 ns scheint sich in den Radardaten noch eine weitere Grenze abzuzeichnen, die dem Übergang dieser Sandschicht entsprechen könnte. Allerdings liegt sie zu dicht an der maximalen Eindringtiefe des Messsignals, um dies mit Sicherheit behaupten zu können.

Die östliche Hälfte des Radarprofils erscheint im Vergleich zu der westlichen sehr homogen. Auch dies lässt sich wieder mit den Grabungsergebnissen korrelieren, denn in diesem Abschnitt ließ sich inklusive Oberboden eine nahezu 5 m mächtige homogene Sandschicht im Grabungsprofil nachweisen, die nur an ihrer Untergrenze einige Steine aufweist. Diese liegen am Rand der maximalen Eindringtiefe des Radarsignals und werden vermutlich nicht erfasst.

Am östlichen Ende des Wallschnitts steigt der gelblich-braune Lehmboden der ersten Phase bis zum Ackerhorizont auf. Im Radarprofil zeigt sich an der Stelle eine Hyperbel und direkt östlich davon folgt eine Schichtgrenze, die dem Übergang zwischen Oberboden und dem Lehmpaket entsprechen dürfte.

Ähnlich eindeutig zeigt sich die innere Wallstruktur in dem Elektrikprofil (Abb. 50.2). LÜCK (2005, Abb. 8) konnte in einem Modelversuch zeigen, dass in Sand eingebettete Strukturen ein sehr breites Widerstandsspektrum beobachten lassen. Für den westlichen Teil des Walls offenbart die Elektrikmessung eine Auflage mit sehr hohen Widerständen, welche analog zu den Testmessungen von Lück der Steinauflage auf der Sandaufschüttung der Phase IV entsprechen dürften. Darunter folgt eine Schicht mit vergleichsweise niedrigen Widerständen, die die Lehmschichten der Phase III repräsentieren. Abschließend folgt ein Bereich mit mittleren Widerständen, die in diesem Fall von den untersten Sandschichten der Phasen I und II stammen dürften. Der östliche Wallabschnitt zeigt sehr viel weniger Varianz in den Widerständen. Eine Deckschicht mit mittleren Widerständen repräsentiert die Sandauflage, die auf den unteren Sand-/Tonschichten mit niedrigen Widerständen aufliegen. Am östlichen Ende des Profils ist wie bei den Radardaten eine Anomalie zu erkennen, die anhand der bisherigen Erkenntnisse als Stein interpretiert werden kann.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Radarmessungen das gegrabene Wallprofil nahezu identisch abbilden. Die Entfernung der beiden Profile von ca. 20 m und die mit einem leichten Fehler behaftete Umrechnung der Laufzeiten in Tiefenangaben sollte genügen, die kleinen Unterschiede zwischen dem Grabungs- und dem Radarprofil zu erklären. Bei der Auflösung der detaillierten Innenkonstruktion des Walls ist methodisch die Grenze von profilhaften (2D) GPR-Messungen erreicht, allerdings lassen sich die verschiedenen Bauphasen deutlich in den Messdaten wiederfinden.

6.2.3 Burgplateau

Auf dem Plateau des Burgbergs wurde eine 20 m x 10 m große, Ost-West ausgerichtete Fläche mit dem Radar vermessen, um in diesem Bereich eine mögliche Korrelation zwischen den alten Grabungsergebnissen und den Messergebnissen zu untersuchen. Für die Messungen wurde ein Bereich nahe dem nördlichen Rand des Burgplateaus gewählt, durch den ein 1930 von Volteris angelegter, Nord-Süd ausgerichteter Suchgraben zieht. Dieser erstreckt sich über das gesamte Burgplateau (LAMM 2009, 142). Zwei Bohrungen wurden zum besseren Verständnis der Radardaten in der Messfläche abgetieft.

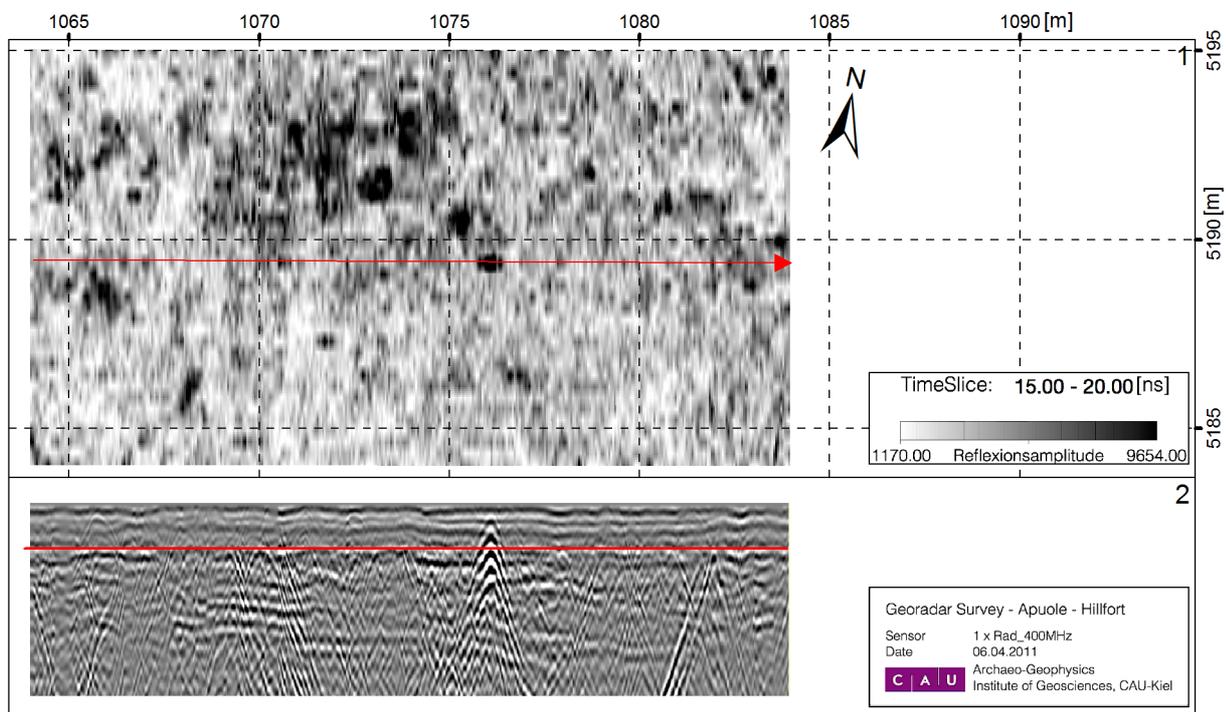


Abb. 51: Apuolė: Radarfläche im Innenbereich der Burg; **(1)** Zeitscheibe 10-15 nT, rote Linie: Position des Radargramms; **(2)** Radargramm, rote Linie markiert die Tiefe des Timeslice aus (1).

Die Altgrabungen aus den 30er Jahren haben eine durchschnittlich 45 cm mächtige Kulturschicht unter einem 10 cm starken Oberboden dokumentiert (LAMM 2009, 148). Eine Untergliederung in verschiedene Horizonte, den Wallphasen entsprechend, ließ sich nicht feststellen. Die beiden Bohrungen im Bereich der Radarfläche zeigen den Schichtaufbau weniger deutlich, als er sich bei den Grabungen dargestellt hatte. Der sehr flache Oberboden von unter 15 cm lässt sich im Bohrprotokoll wiederfinden. Allerdings zeigt sich die 45 cm mächtige Kulturschicht, die im Grabungsprofil unter dem Oberboden folgt, in der Bohrung nicht. Die Bohrung weist für den Bereich der Radarfläche eine lediglich ca. 25 cm mächtige Kulturschicht auf. Darunter folgt in den Bohrungen ein 20–30 cm mächtiger Mischhorizont bis hin zum anstehenden Boden. Die Ansprache der Schichten und vor allem Schichtgrenzen ist in dem sehr schmalen Bohrkerns stellenweise schwierig. Eventuell

gehören Teile des Mischhorizonts zu der Kulturschicht und damit würden die Ergebnisse übereinstimmen. Der Schichtaufbau des Grabungs- und des Bohrprofile stimmt durchaus überein.

Entgegen dem Grabungsprofil aus den 30er Jahren bestätigt das Radarprofil in der Fläche das Bohrerergebnis (vgl. Abb. 51.2). Die Bohrung der Anomalie 1 zeigt bis in eine Tiefe von 67 cm ein zwar dreigeteiltes Schichtpaket, das allerdings gänzlich aus einem sandigen Lehm besteht (zur Lage der Bohrungen siehe Abb. 48). Darunter folgt der anstehende Boden aus Lehm. Dieser Materialunterschied spiegelt sich in dem Radarprofil auf Höhe des Timeslice 10–15 nT wider, was einer ungefähren Tiefe von 70 cm entspricht. Zahlreiche in dieser Höhe ansetzende Hyperbeln repräsentieren das Bild der vielen in den Grabungen gefunden Steine in der Kulturschicht. Das Radargramm zeigt auch in tieferen Bereichen weitere Anomalien an, die aber aufgrund der Grabungsergebnisse nicht anthropogenen Ursprungs sind. Die hohe Eindringtiefe der 400 MHz Antenne bringt in diesem Fall wenig relevante Ergebnisse und die Nutzung einer Antenne mit höherer Frequenz zur besseren Auflösung der oberen Schichtpakete wäre sinnvoll.

6.3 Ergebnis

Der Anlass für die zweitägige Messkampagne in Apuolė war die Durchführung eines Geländepraktikums im Rahmen eines Seminars an der Universität Klaipėda. Dabei stand die Vermittlung der Methoden eher im Vordergrund, als die gezielte Erforschung des Burgwalls. Soweit es möglich war, wurden die verschiedenen Methoden in unterschiedlichen Bereichen des Fundplatzes eingesetzt, um einen möglichst hohen Informationsgewinn das Denkmal betreffend zu erhalten. Der Burgwall wurde dabei mit Radar und Elektrik untersucht, die Innenfläche des Burgplateaus mit Radar und die als offene Siedlung verstandene Fläche südlich des Burgberges mit Magnetik.

Es hat sich gezeigt, dass die Geophysik in allen Bereichen erfolgreich vorhandene Strukturen im Untergrund detektieren kann. Die Magnetik hat zahlreiche Anomalien kartiert, die, soweit sie mit einem Pürckhauerbohrer untersucht wurden, als anthropogen angelegte Gruben zu verstehen sind. Ihre genaue Funktion und vor allem die Datierung sind mangels fehlender Daten ungewiss. Nach einer detaillierten Betrachtung der Magnetikdaten wären weitere Bohrungen wünschenswert, um verschiedene Ideen die Interpretation das Siedlungsareal betreffend weiter zu verfolgen, ohne eine zeitaufwändige archäologische Grabungen durchzuführen.

Gewonnene Ergebnisse der Radar- und Elektrikmessungen auf dem östlichen Wall haben gezeigt, dass die Methoden recht genau den inneren Aufbau eines Walls nachweisen können. Die Radarmessungen im Innenbereich der Fläche sind aufgrund der verwendeten Antenne wenig aussagekräftig. Trotz der Kürze der Messkampagne lässt sich der Informationsgewinn das Denkmal betreffend hoch einstufen.

7 Grobiņa (Lettland)

In den Jahren 2010 und 2011 wurden durch das Zentrum für Baltische und Skandinavische Archäologie in Zusammenarbeit mit dem Lettischen Nationalmuseum Riga und dem Institut für Geowissenschaften der CAU-Kiel geophysikalische Prospektionen auf dem Fundplatzkomplex im Bereich des heutigen Ortes Grobiņa durchgeführt (vgl. Abb. 52). Untersucht wurde der Burgberg Skābaržkalns und die drei Gräberfelder Priediens I und II und Atkalni (VIRSE u. RITUMS 2012b). Ergänzt werden die geophysikalischen Messergebnisse durch zahlreiche Bohrungen, die zum besseren Verständnis der vorwiegend Geomagnetikdaten auf den einzelnen Fundstellen ausgeführt wurden. In 2012 erfolgte eine fünftägige Feldforschungskampagne, bei der das gesamte Stadtgebiet von Grobiņa inklusive der verschiedenen bekannten Fundstellen auf der Suche nach Siedlungsanzeigern in Form von Kulturschichten mit dem Pürckhauer Bohrstab untersucht wurde. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse der Prospektionen der drei Jahre findet sich in dem von T. Ibsen 2012 verfassten Bericht, der als unveröffentlichtes Dokument in Schleswig am Zentrum für Baltische und Skandinavische Archäologie vorliegt (IBSEN 2012). Die Forschungsgeschichte, die auf der Publikation von PETRENKO UND URTANS (1995) basiert, und Teile der Ergebnisse von 2010 sind in aufgearbeiteter Form bei VIRSE UND RITUMS (2012a) zusammengefasst.

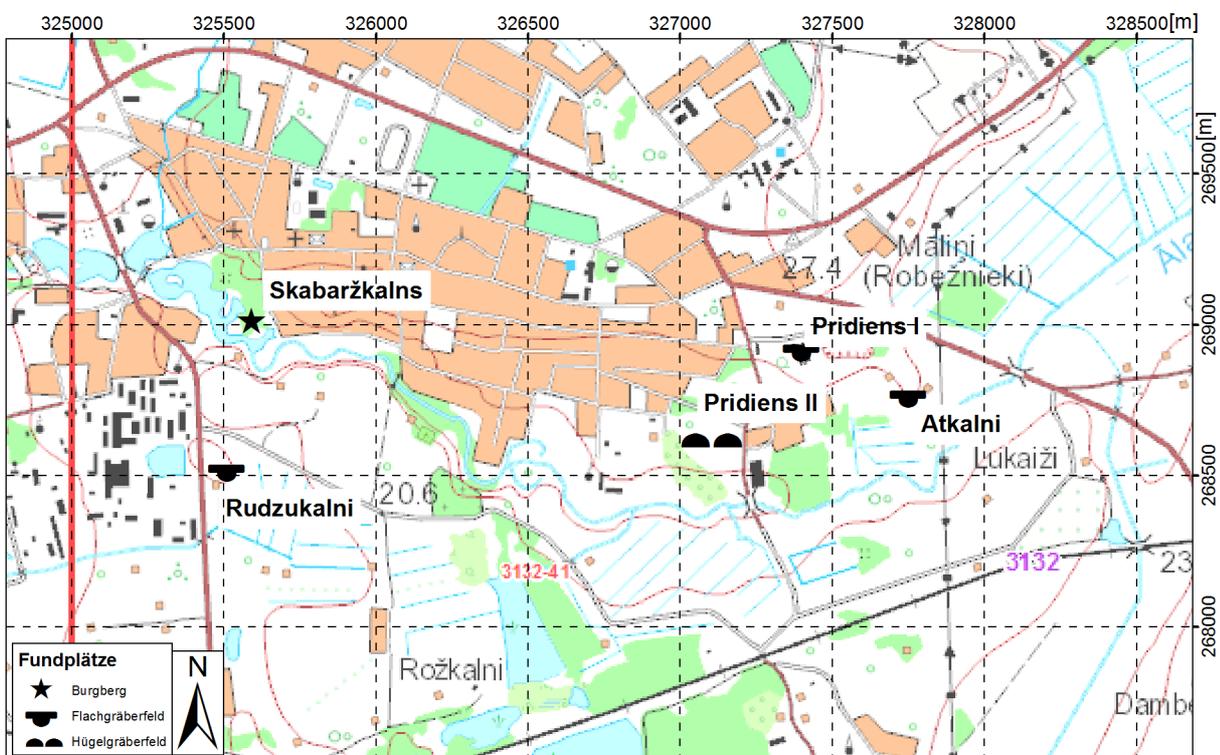


Abb. 52: Grobiņa: Übersicht über den Fundplatzkomplex; zur großräumigen Lage siehe Abb. 18.

7.1 Das Denkmal

11 km östlich der Ostsee-Hafenstadt Liepāja im westlichen Lettland gelegen befindet sich der Fundplatzkomplex Grobiņa, der wahrscheinlich bereits in Rimberts „Vita Ansgarii“ Erwähnung fand (“far from them [the Svear] was a people named the Couronians (Cori), which had once been subject to the Svear, but had recently rebelled and had refused to remain subjugated”. (RIMBERT 1986, 58)). Die ältesten Funde deuten auf eine Nutzung des Platzes seit der Steinzeit hin, der weit größte Anteil an Fundmaterial belegt jedoch eine intensive Nutzungsphase in der zweiten Hälfte des ersten Jahrtausends n. Chr. (PETRENKO u. URTANS 1995, 4f.). Für diesen Zeitraum lässt sich ein Komplex aus verschiedenen kurischen und skandinavischen Gräberfeldern, Siedlungsplätzen und einem Burgberg nachweisen (VIRSE u. RITUMS 2012a, 31). Dazu gehören das gotländische Flachgräberfeld Smukumi (heute Rudzukalni), das schwedische Hügelgräberfeld Priediens II, die beiden kurischen Flachgräberfeld Priediens I und Atkalni und der Burgberg Skābāržkalns (PETRENKO u. URTANS 1995, 4ff.).

Im Folgenden werden verschiedene Aspekte der geophysikalischen Prospektion vorgestellt, wobei die auffälligsten Untersuchungsergebnisse der beiden geophysikalischen Prospektionen im Vordergrund stehen.

7.2 Priediens II

Das am östlichen Rand von Grobiņa gelegene Hügelgräberfeld umfasst, soweit bekannt, ca. 2000 Grabhügel (PETRENKO u. URTANS 1995, 11), die sich aufgrund der Funde einem skandinavischen Personenkreis zuordnen lassen, deren Ursprung in Mittelschweden vermutet wird (STEUER 1999, 61). Anhand der bisherigen Forschungsergebnisse scheint eine Datierung von der Mitte des 7. Jahr-

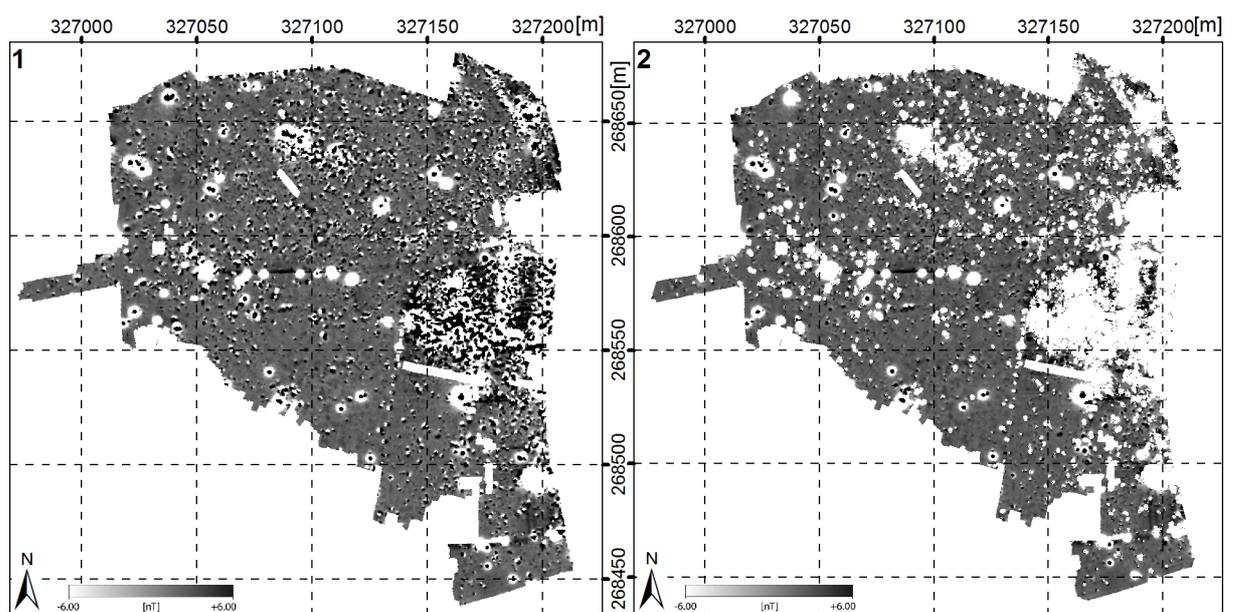


Abb. 53: Grobiņa: Messfläche Priediens II: **(1)** unbereinigte Magnetikdaten; **(2)** bereinigte Magnetikdaten; zur großräumigen Lage siehe Abb. 41.

hunderts bis um 800/850 n. Chr. als wahrscheinlich (ebd.). Der überwiegende Anteil am Fundmaterial besteht aus Gegenständen mit einer Herkunft aus dem heutigen Festland Schweden und wird in geringem Umfang ergänzt durch gotländisches Material und Funde aus dem Ostbaltikum. Die Hügel weisen einen Durchmesser von 3–15 m und eine Höhe zwischen 0,1 m und 1,4 m auf, wobei das Relief meist so flach ist, dass sie in der Landschaft kaum auszumachen sind.

1988 führte PETRENKO (1990, 122; vgl. auch VIRSE u. RITUMS 2012a, 32) systematische archäologische Untersuchungen in Priediens durch. Statt sich auf einzelne Grabhügel zu beschränken, deckte er ganze Ausschnitte des Gräberfeldes auf. Dadurch konnten zwischen den Grabhügeln immer wieder Gruben dokumentiert werden, die in einen Siedlungskontext zu setzen sind. Diese Tatsache war der Auslöser im Jahr 2010 vom ZBSA aus geophysikalische Untersuchungen auf dem Gräberfeld durchzuführen. Ausgeführt wurden die Messungen durch das Institut für Geowissenschaften an der CAU-Kiel. Ziel war es, die siedlungsverdächtigen Anomalien zu detektieren.

Insgesamt wurden auf dem Areal 3,06 ha geomagnetisch untersucht (Abb. 53). Nach Südwesten und Westen hin ist das Areal durch einen Wald begrenzt und im Norden und Osten wurde bis an die dort verlaufende Straße gemessen. Auf dem Gelände des Gräberfeldes, das heute zu einem Pferdehof gehört, befinden sich Pferdekoppeln. Zahlreiche durch Metallzäune verursachte Dipole und wahrscheinlich durch Metallschrott hervorgerufene Anomalien spiegeln diese Tatsache wieder.

Das gesamte Erscheinungsbild der Geomagnetikdaten wird dominiert von den vielen Dipolen. Bei genauerer Betrachtung zeigen sich zwischen den Dipolen jedoch einige Anomalien, die nicht von modernem Metallschrott verursacht werden, sondern ihre Ursache in einer Anomalie im Untergrund haben dürften.

Insgesamt wurden auf dem Gräberfeld sechs Anomalien angebohrt. Die Bohrkerne wurden beprobt, so dass später im Labor die Suszeptibilitäten der Schichten gemessen werden konnten (vgl. Kapitel 3.4). Im Bereich der Grabhügel wurden zwei Anomalien (2 und 3) angebohrt (zur Lage der Anomalien siehe Abb. 54.2), die zwischen Grabhügeln liegen. Die Anomalie 5 liegt innerhalb eines erkennbaren Grabhügels und die Anomalien 1, 6 (beide nicht auf der Abbildung) und 4 befinden sich in einiger Entfernung der Grabhügel, um auch dort eventuell vorhandene archäologische Befunde zu überprüfen.

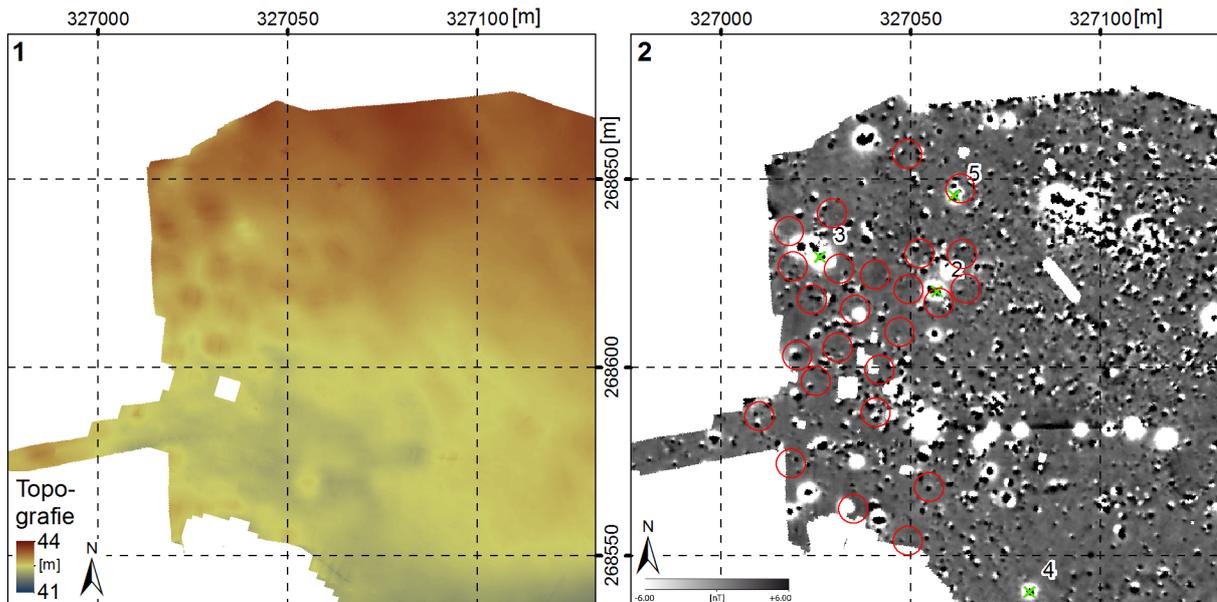


Abb. 54: Grobiņa: Ausschnitt der Messfläche in Priediens II: **(1)** Höhenmodell; **(2)** Magnetikdaten mit den in dem Geländemodell sichtbaren Grabhügeln (rote Kreise); grüne Kreuze: Bohrungen.

Die Bohrungen 2 und 3, die in der Magnetik an Stellen durchgeführt wurden, die ein deutliches Signal zeigen, lassen anhand des Bohrkerns nicht erkennen, was diese Anomalien erzeugt. Unter dem ca. 30 cm mächtigen Ackerhorizont folgen weitere Schichten ohne erkennbaren anthropogenen Einfluss, bis der anstehende Mittelsand in 56 cm bzw. 65 cm Tiefe unter der Geländeoberkante beginnt.

Die Bohrkerns der Anomalien 4 und 6 geben optisch keinerlei Aufschluss über die Ursache der im Messbild erkennbaren Störung. Anomalie 6 weist allerdings unter dem Ackerhorizont sowohl in der zentralen Bohrung als in der Kontrastbohrung eine Schicht mit erhöhter Suszeptibilität auf, die im Zusammenhang mit der Anomalie gesehen werden kann. In diesem Fall hat also erst das Messen des Suszeptibilitätswertes den Hinweis auf die Ursache der Anomalie gegeben. Die Interpretation des Befundes bleibt jedoch ungeklärt.

Anomalie 5 liegt im Randbereich eines Grabhügels. Der Schichtaufbau ist ähnlich dem der Anomalien 2 und 3 (25 cm Ackerhorizont, 55 cm Zwischenschicht, ab 80 cm unter Geländeoberkante anstehender Mittelsand). Ein Hinweis auf einen anthropogenen Einfluss in Form von Holzkohle oder gebranntem Lehm ist auch in diesem Fall in dem mittleren Schichtpaket nicht gegeben. Die späteren Messungen der Suszeptibilität konnten jedoch einen erhöhten Wert für diese Schichten nachweisen, womit sich die Sichtbarkeit der Anomalie in der Magnetik erklären lässt.

Anomalie 1 zeigt zwischen dem 23 cm mächtigen Ackerhorizont und dem anstehenden Mittelsand, der in 70 cm Tiefe unter der Geländeoberkante beginnt, ein Schichtpaket aus holzkohlehaltigem Mittelsand mit zwei darunter liegenden sehr schmalen Schichten aus gebranntem Stein bzw. verbranntem Sand. Dieses Schichtpaket weist einen bis zu zehn mal höheren Suszeptibilitätswert auf als der Ackerhorizont bzw. der anstehende Boden. Alle drei Schichten fehlen in der 5 m südlich

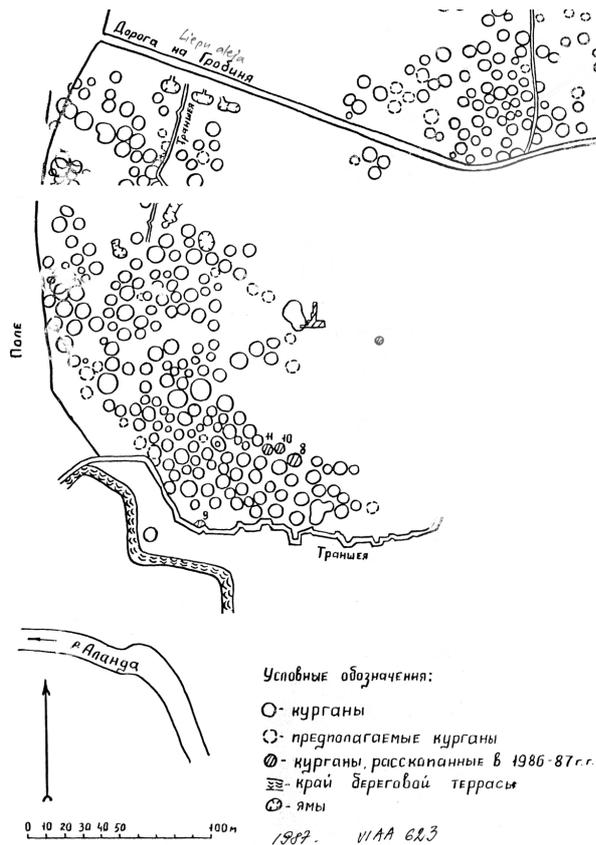


Abb. 55: Priediens II: Übersichtsplan des Gräberfeldes (PETRENKO 1987); zur großräumigen Lage siehe Abb. 18 und 52.

Möglichkeit bietet, den alten Gräberfeldplan von PETRENKO (vgl. Abb. 55), der sich heute aus Mangel an fehlenden Koordinaten nicht mehr verorten lässt, durch Abgleich der Grabhügelverteilung zu relokalisieren.

7.3 Skābāržkalns

Am westlichen Ortsrand von Grobiņa ist auf einer ca. 65–70 m langen und 40–45 m breiten Landzunge ein Burgberg errichtet, der nach Osten hin durch einen Abschnittswall vom Land abgegrenzt ist. Der Wall ist 40 m breit und erreicht heute noch eine Höhe von 2 m. Das flache Plateau erhebt sich 4,5–5 m über den mittleren Wasserspiegel der Alande und fällt mit steilen Hängen zum Wasserspiegel hin ab (PETRENKO u. URTANS 1995, 15).

Soweit begehbar wurde das Burgplateau 2011 mit der Methode der Geomagnetik und partiell dem Georadar untersucht. Die vorhandenen Lücken in den Messdaten sind durch Bereiche verursacht, die mit Büschen und kleineren Bäumen bewachsen sind, so dass diese Areale nicht untersucht werden konnten (vgl. Abb. 56). Fünf Anomalien in den magnetischen Messdaten wurden 2011 angebohrt. Hinzu kommen zwei nicht eingemessene Bohrungen aus dem Jahr 2010. Aus Boh-

gelegenen Kontrastbohrung und erklären die Anomalie an dieser Stelle. In diesem Fall lässt sich anhand der optischen Ansprache des Bohrerergebnisses die Ursache der magnetischen Anomalie erklären und wird gestützt von den späteren Messungen der Suszeptibilitätswertes.

Durch den Einsatz eines DGPS zur Positionsbestimmung entsteht ein hochauflösendes Geländemodell mit einer lateralen Auflösung von 2 cm (siehe Kapitel 3.5; Ergebnis siehe Abb. 54.1). Betrachtet man die Abbildung, fallen die zahlreichen kreisrunden Erhöhungen in der Topografie auf, bei denen es sich um die in der Landschaft nur schwer erkennbaren Grabhügel handelt. Durch die Aufzeichnung der Topografie entsteht somit eine detaillierte Kartierung der Grabhügel, die u. a. dabei hilft, gezielt die Anomalien zwischen den Grabhügeln zu identifizieren und darüber hinaus die

ung 1 aus dem Jahr 2010 wurde eine Holzkohleprobe entnommen, die im C14-Labor in Kiel auf ihr Alter hin untersucht wurde.

In jüngerer Zeit wurde das künstlich eingeebnete Plateau als Fest- und Tanzplatz genutzt, was sich in den Magntikdaten deutlich widerspiegelt. Das Messbild ist übersät mit kleineren und größeren Dipolen, und es finden sich zudem zahlreiche Kronkorken und weiterer Müll an der Oberfläche. In der östlichen Hälfte des Plateaus, also näher zum Abschnittswall hin und damit näher am Zugang, scheinen die Anomalien größer zu sein als in dem westlichen Bereich.

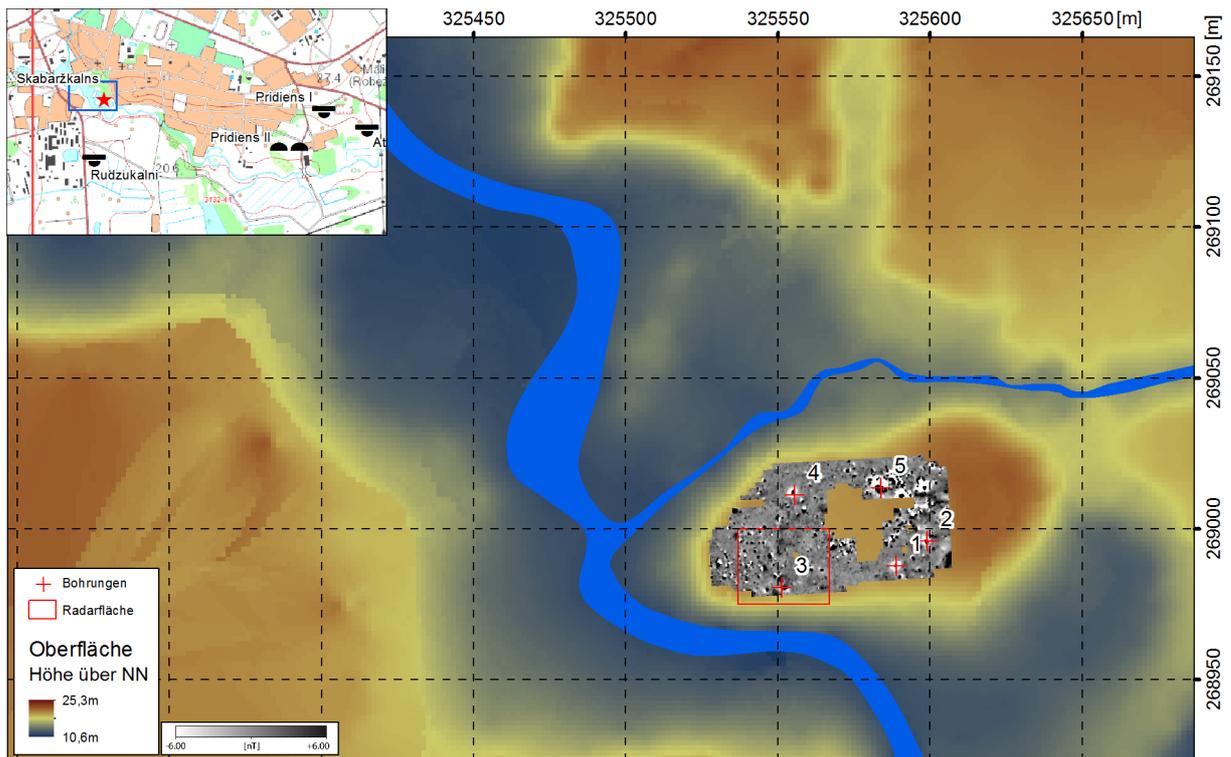


Abb. 56: Der Burgberg von Grobiņa: die fünf Bohrungen sind aus dem Jahr 2011; nahezu rechteckige Struktur in der Topografie am oberen Bildrand nördlich des Burgwalls: ein Plateau, auf dem die heute noch als Ruine erhaltene Burg des Deutschen Ordens aus dem 13. Jh. errichtet wurde (PETRENKO u. URTANS 1995, 15f.); zur großräumigen Lage siehe Abb. 18 und 52.

Die Bohrungen auf dem Burgplateau zeigen ein sehr einheitliches Ergebnis. Unter einem ca. 50 cm mächtigen Oberboden, der teilweise auch schon gebrannten Lehm und Holzkohle enthält, folgt bis in eine Tiefe von mindestens 190 cm unter Geländeoberkante (vgl. Abb. 56, Anomalien 1, 2 und 4) ein anthropogen beeinflusstes Schichtpaket. In Anomalie 3, die sich am südlichen Rand des Burgwallplateaus befindet, reicht dieses Schichtpaket bis in eine Tiefe von 225 cm hinab. Erst in dieser Tiefe lässt sich im Bohrkern ein steriler Boden nachweisen, der als anstehender Untergrund angesprochen werden kann. Das Schichtpaket zwischen Oberboden und anstehendem Untergrund lässt sich teilweise in verschiedene Abschnitte aufteilen. Sie bestehen alle aus einem Mittelsand, und unterscheiden sich in dem Anteil an Holzkohle und gebranntem Lehm innerhalb der einzelnen Schichtpakete voneinander. Die farbliche Varianz der verschiedenen Schichten zwischen mittel-

und dunkelbraun liegt an der Menge der enthaltenen Holzkohle- und Rotlehmfragmente. An der Stelle von Anomalie 5 reichten die Kulturschichten bis in eine Tiefe von 360 cm und in dieser Tiefe zeigte der Bohrkern den Grundwasserspiegel an. Vermutlich handelt es sich daher bei der Anomalie um einen Brunnen.

So einheitlich das Ergebnis der Bohruntersuchungen ist, so sehr widerspricht es den bei PETRENKO (1995, 15) veröffentlichten Ergebnissen der 1929 auf dem Burgplateau durchgeführten Grabungen. Danach erreichte die dokumentierte Kulturschicht eine Mächtigkeit von 120 cm, worauf der anstehende Untergrund folgt. Über die Lage der Grabungsfläche ist nur bekannt, dass sie sich im Zentrum des Burgbergs befunden hat. Eine genaue Verortung ist nicht möglich. Verglichen mit den Bohrungen müssten die anthropogen beeinflussten Schichten im Zentrum des Plateaus deutlich mächtiger als 120 cm sein. Die in der Grabung nachgewiesene Dreiteilung der Kulturschicht lässt sich in dieser Deutlichkeit anhand der Bohrkern nicht nachvollziehen, was aber wahrscheinlich an dem zu schmalen Ausschnitt von 2 cm liegt, den der Bohrkern bietet.

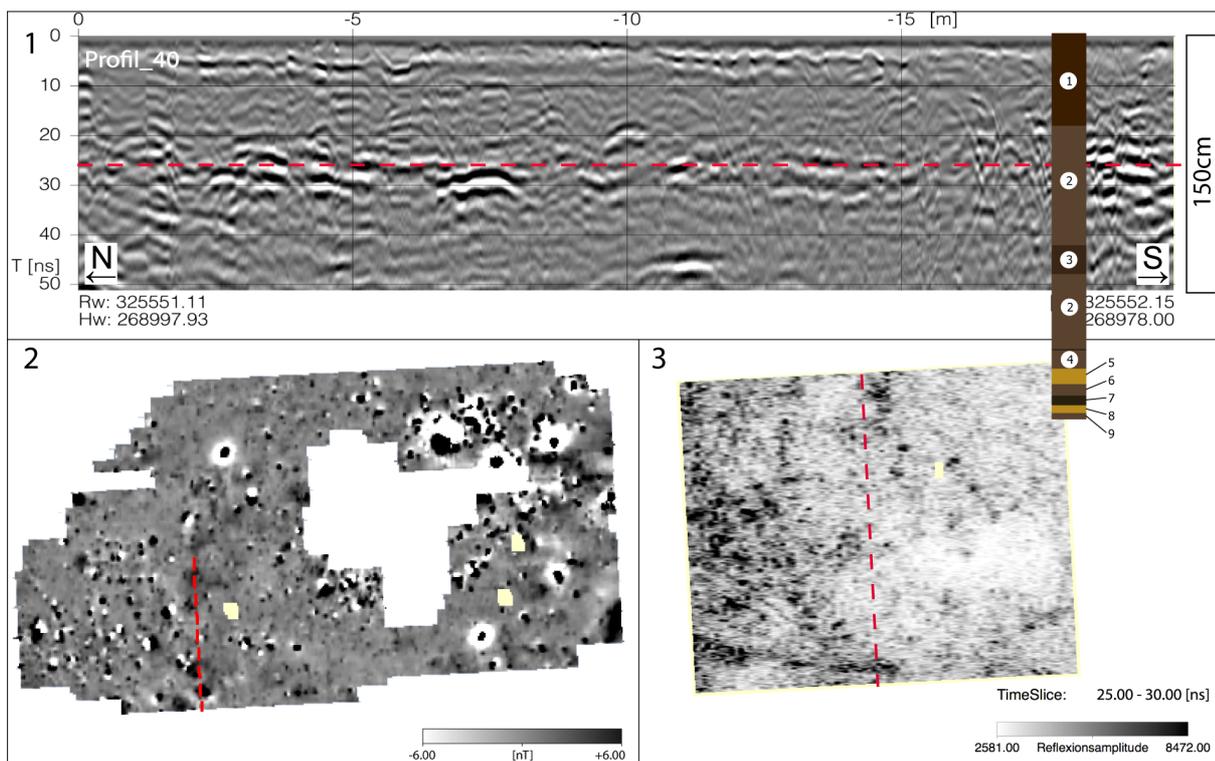


Abb. 57: Grobiņa, Burgberg: Radarmessung. **(1)** Radargramm an der Stelle der roten Linie in (2) und (3) mit maßstabsgetreuem Bohrprotokoll an Position der Bohrung (Anomalie 3); **(2)** Magnetikdaten mit eingezeichnetem Profilverlauf; **(3)** Zeitscheibe in der Höhe der roten Linie in (1).

Die Radarmessungen am südwestlichen Rand des Plateaus zeigen einen nahezu kontinuierlich reflektierenden Horizont bei ca. 30 ns (Abb. 57.1). Dies entspricht einer geschätzten Tiefe von 100–120 cm unter der Geländeoberkante und könnte die Untergrenze der in den Grabungen dokumentierten Kulturschichten sein. An verschiedenen Stellen sind Strukturen in größerer Tiefe zu erkennen (z. B. an der Stelle des eingezeichneten Bohrprofils (vgl. Abb. 57.1)). Dabei könnte es sich um

einzelne Befunde handeln, die vom Ende der Kulturschicht in ca. 100 cm Tiefe unter Geländeoberkante weiter in den anstehenden Boden hinabreichen. Bei den für die Bohrungen ausgewählten magnetischen Anomalien handelt es sich durchweg um Störungen mit Amplituden über 200 nT, von denen es im Zentrum der Magnetikfläche keine gibt. Die Messwerte sind in diesem Fall so hoch, dass die Anomalien durch die Kulturschicht bis an die Geländeoberfläche messbar sind. Kontrastbohrungen gibt es zu den fünf gebohrten Anomalien nicht. Die 2010 ausgeführten Bohrungen wurden zufällig auf dem Plateau platziert, und auch sie enthalten anthropogen beeinflusste Schichten bis in eine Tiefe von 200 cm. Dies spricht für tiefer hinabreichende Schichten auf dem Burgberg. Eine Bohrkatena über das Plateau kann zur Klärung dieser Frage beitragen.

7.4 Ergebnis

Der über ein sehr großes Areal verteilte und modern überbaute Fundplatz Grobiņa, der sich aus verschiedenen einzelnen Fundstellen zusammensetzt, wurde in den Jahren 2010 und 2011 in verschiedenen Teilaspekten geophysikalisch prospektiert. Dabei wurden der Burgberg und zwei Gräberfelder geomagnetisch untersucht und zusätzlich wurde im Randbereich des Burgbergs eine Fläche mit dem Georadar prospektiert. Auf dem Gräberfeld Priediens II war die Fragestellung, inwieweit sich die während verschiedener Ausgrabungen entdeckten Siedlungsgruben zwischen den einzelnen Grabhügeln nachweisen lassen. Das heute als Pferdekoppel genutzte Areal zeigt aufgrund der modernen Nutzung zahlreiche Metallanomalien, die von modernem Metallschrott herrühren. Dazwischen zeigen sich jedoch auch zahlreiche Anomalien, bei denen es sich um archäologische Befunde handeln kann. Die Pürckhauer-Sondierung verschiedener Anomalien konnte einige davon als solche identifizieren, häufig blieb die Ursache der magnetischen Anomalie allerdings verborgen. Die Grabhügel treten in den magnetischen Messdaten nur sehr undeutlich hervor, können aber durch das durch die Verwendung eines Differential GPS entstehende Geländemodell sehr eindeutig über die Topografie identifiziert werden.

Auf dem Burgberg ermöglichten die Magnetikmessungen die genaue Lokalisierung einzelner Anomalien. Die Untersuchung verschiedener Anomalien mit dem Pürckhauer-Bohrstab scheinen auf den ersten Blick den Grabungsergebnissen von 1929/1930 zu widersprechen, lassen sich dann aber unter Berücksichtigung der Radarmessungen doch mit diesen in Einklang bringen. Das eigentliche Ziel der Radarmessungen, im Randbereich etwaige Überreste eines Walls oder einer Befestigung zu identifizieren, konnte nicht erfüllt werden. Ob diese inneren Wallstrukturen nicht existieren oder mit dem Georadar nicht messbar sind, bleibt ohne eine archäologische Ausgrabung ungewiss. Verglichen mit den Radarergebnissen von Apuolė, wo die innere Wallstruktur sehr detailliert mit dem Georadar dokumentiert werden konnte, sollten vorhandene Strukturen im Wall des Burgbergs von Grobiņa messbar sein (vgl. Kapitel 6.2.2). Es ist in diesem Fall davon auszugehen, dass sie nicht existieren.

8 Kernavė (Litauen)

Im Rahmen eines gemeinsamen Projektes (Archaeolandscape) zwischen dem Lithuanian Institute of History (LIH) - Vilnius und dem Zentrum für Baltische und Skandinavische Archäologie (ZBSA) - Schleswig, wurden im März 2011 in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geowissenschaften der CAU - Kiel in einer dreitägigen Messkampagne geomagnetische Untersuchungen in verschiedenen Bereichen des insgesamt 193 ha großen Denkmals durchgeführt.

8.1 Das Denkmal

Das knapp 200 ha große Denkmal ist einer der größten archäologischen Komplexe in Litauen. Es umfasst 15 Fundplätze, die vom Paläolithikum bis in die heutige Zeit die Abfolge der Kulturen in dieser Mikroregion widerspiegeln. Nordwestlich des Flusses Neris erstreckt sich eine ca. 500 m breite Talau, bis das Gelände abrupt auf ein höher gelegenes Plateau ansteigt. Hervorragende Siedlungsbedingungen begünstigten die Gründung eines der ersten großen Zentren in Ostlitauen im 13.–14. Jahrhundert n. Chr.. An der Kante des Hochplateaus sind an drei Stellen durch die Anlage von Gräben Teile der Hangkante abgetrennt, die als Basis für drei Burgberge genutzt wurden. Die nordwestliche und die südöstliche Burganlage wurden durch die Aufschüttung von Ab-

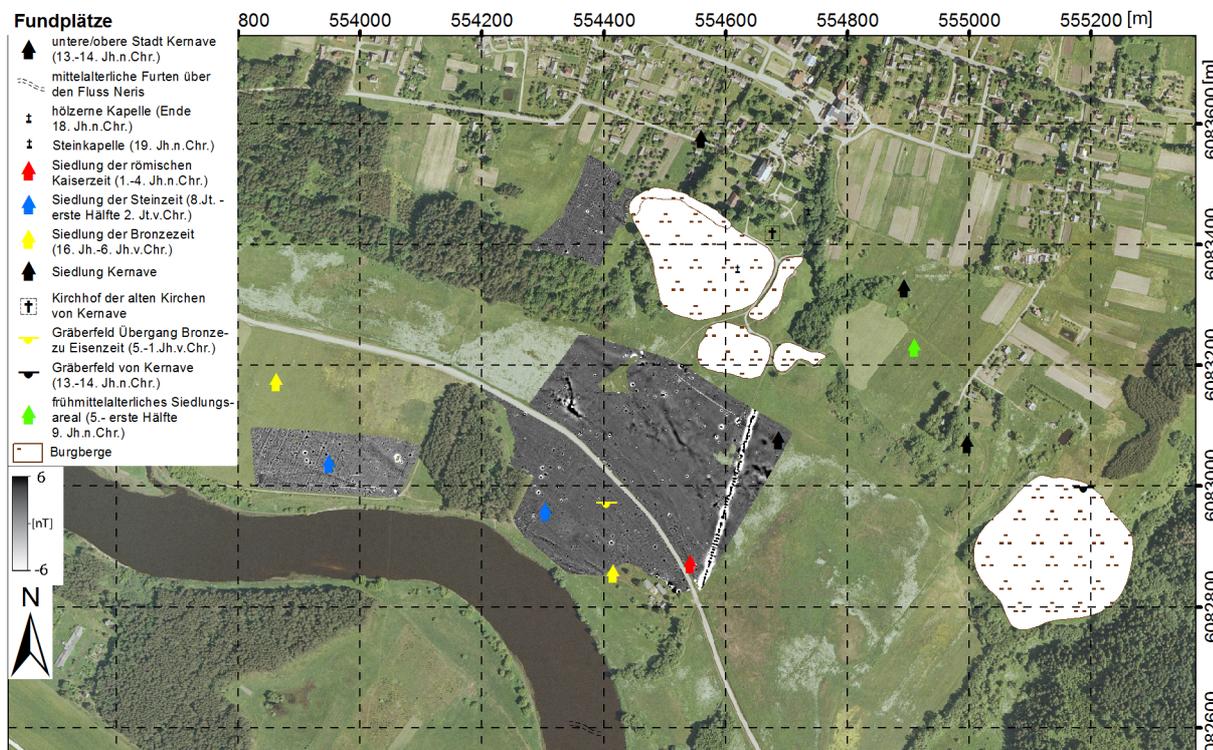


Abb. 58: Kernavė: Ausschnitt aus dem Fundplatz. Das insgesamt ca. 200 ha große Areal umfasst neben den fünf Burgbergen verschiedene Fundstellen unterschiedlicher Zeitstellungen. Die Lage der Fundstellen auf der Karte ist sehr ungenau und soll nur einen Eindruck vermitteln, wie intensiv die Talau zu allen Zeiten genutzt wurde. Zur großräumigen Lage siehe Abb. 18.

schnittswällen von dem Hochplateau abgetrennt. Die meisten Fundplätze liegen in der Talau in unmittelbarer Nähe zum Fluss und erst mit der Entstehung der fünf Burgen wird auch das Hochplateau als Siedlungsfläche genutzt (vgl. Abb. 58).

Seit 1979 wird die Mikroregion systematisch durch das „State Cultural Reserve of Kernavė“ archäologisch untersucht. 2004 wurde das Denkmal in die Liste der UNESCO Weltkulturerbestätten aufgenommen (VADIŠIS u. a. 2005, 1ff.). Dies hatte zur Folge, dass keine größeren Grabungstätigkeiten im Sinne einer Forschungsgrabung mehr innerhalb des Denkmals durchgeführt werden dürfen. Kleinere Sondagen und Testschnitte sind weiterhin erlaubt. Die geophysikalische Prospektion sollte nun klären, inwieweit es mit ihrer Hilfe möglich ist, zerstörungsfrei weitere Erkenntnisse über das Denkmal zu gewinnen. Die Interpretation der geophysikalischen Messergebnisse auf Grundlage bestimmter Vorinformationen stand im Mittelpunkt der Untersuchungen. Dadurch ließen sich größere archäologische Grabungen vermeiden und gezielte Eingriffe in Form kleiner Sondagen könnten bestimmte Fragestellungen klären. Es wurden drei Areale des Denkmals ausgesucht, in denen bereits durch ältere Untersuchungen Fundstellen bekannt sind.

8.2 Kernavė 1

Bei dem westlich der Burgberge auf dem Plateau gelegenen Areal handelt es sich um einen Bereich, in dem bei kleineren Untersuchungen Siedlungsgruben zum Vorschein kamen, die zeitgleiches Fundmaterial zu dem des östlich anschließenden Burgbergs hervor brachten. Die Funde dieser Untersuchungen sind bisher unpubliziert (Stand 2011). Sie wurden beim Besuch des Museums in Kernavė im Rahmen der geophysikalischen Prospektion im März 2011 präsentiert und erläutert. Aufgrund des Fundmaterials wird in dem Areal der Messfläche eine offene Siedlung vermutet, von deren Gesamtfläche 1,53 ha geomagnetisch untersucht wurden. Sechs der erkannten Anomalien wurden mit dem Pürckhauer-Bohrer untersucht. Die einzelnen Schichten der Bohrprofile wurden beprobt und der Suszeptibilitätswert von jeder Schicht gemessen. Auf Grundlage der Mess- und Bohrerergebnisse führte das „State Cultural Reserve of Kernavė“ im Sommer 2011 einen 5 m x 10 m großen Sondageschnitt unter der Leitung von Dovilė Baltramiejūnaitė durch, deren Ergebnisse dankenswerter Weise bei der Verfassung dieser Arbeit zur Verfügung standen. Zusammen mit den Bohrerergebnissen konnten diese zum besseren Verständnis der Magnetikdaten herangezogen werden.

Im Norden reichte die Messfläche bis an die moderne Siedlung Kernavė heran. Die östliche Grenze war bedingt durch die westlichste Burganlage umgebenden Abschnittswall, und im Süden erstreckt sich die Messfläche bis ans Ende des Hochplateaus, dessen nach Südwesten abfallende Hänge von einem Wald bedeckt sind. Im Westen wäre eine Erweiterung der Messfläche möglich gewesen, und das Ende ergab sich durch die begrenzte Zeit von nur einem Messtag.

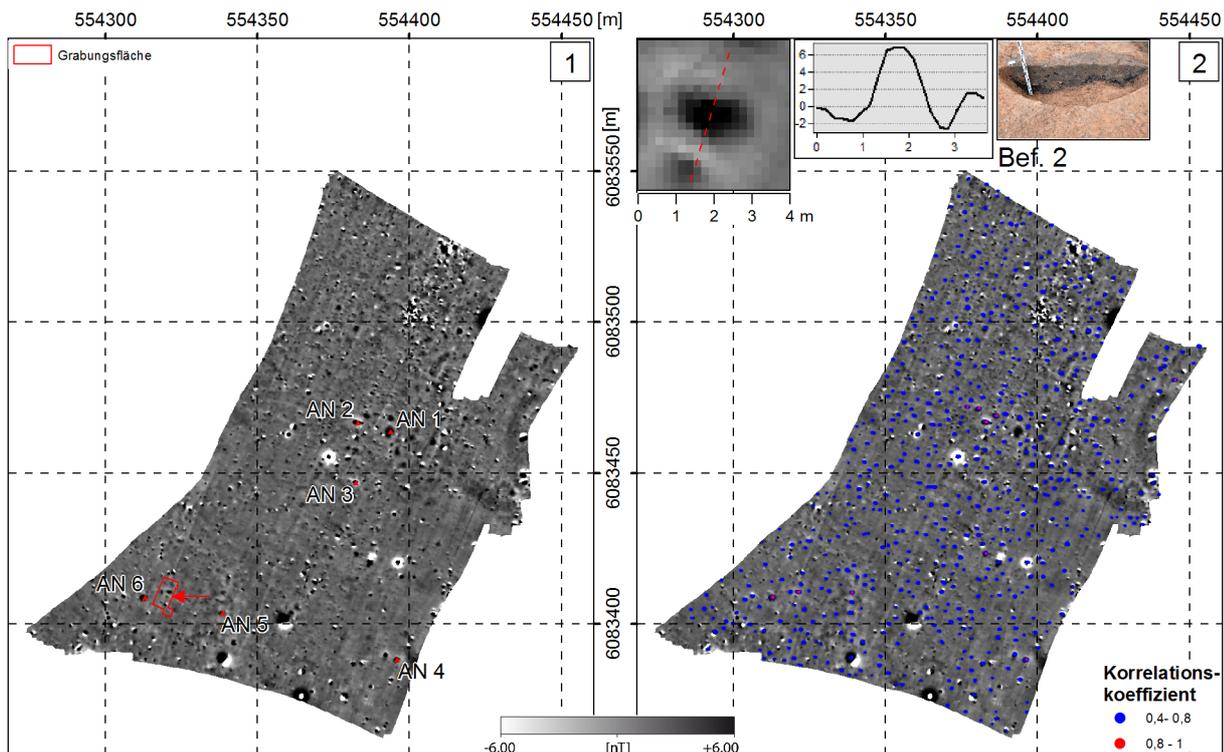


Abb. 59: Die Messfläche Kernavė 1: **(1)** die Magnetikdaten mit eingezeichneter Grabungsfläche und den Bohrungen, der rote Pfeil markiert den Befund 2; **(2)** der berechnete Korrelationskoeffizient zu dem ausgegrabenen Befund 2; kleine Bilder von links nach rechts: vergrößerter Ausschnitt der Magnetikdaten von Befund 2, Magnetikprofil entlang der roten gestrichelten Linie im Bild links, Grabungsprofil von Befund 2.

Bis auf einige größere Anomalien, die sich locker über die gesamte Messfläche verteilen, und einigen Dipolen im Norden der Fläche, die durch die Nähe zu der modernen Stadt Kernavė bedingt sein dürften, fällt auf, dass das Messbild vor allem im Vergleich zu den Messbildern aus Wiskiauten sehr „ruhig“ wirkt. Setzt man die Skala für den dargestellten Wertebereich auf ± 48 nT, bleiben außer einigen wenigen von Metallobjekten herrührenden Dipolen kaum Anomalien im Messbild übrig. Aufgrund der geringen Menge an modernen Störungen in den Magnetikdaten fallen die Anomalien leicht ins Auge, die aufgrund ihrer Ausprägung als archäologisch interessant eingestuft werden können. Sechs Anomalien wurden für die Untersuchung mit dem Pürckhauer-Bohrer ausgewählt. Drei der Bohrungen ließen anhand des Bohrkerns bereits erkennen, was die Ursachen für die erhöhten Messwerte in der Magnetik sind (Anomalie 1, 2 und 4, vgl. Abb. 59.1). Sie enthielten jeweils eine feuerbeeinflusste Schicht mit Fragmenten von Holzkohle, gebranntem Lehm und Schlacke in der zentralen Bohrung, die in der Kontrastbohrung fehlte. Bei einer Bohrung (Anomalie 5) zeigte erst die Messung der Suszeptibilitätswerte, dass ein Schichtpaket aufgrund seines erhöhten Wertes die Ursache für die Sichtbarkeit in der Magnetik ist. In der Kontrastbohrung weist die entsprechende Schicht keinen erhöhten Wert auf. Die Anomalien 3 und 6 ließen weder aufgrund des Bohrprotokolls noch anhand der Suszeptibilitätswerte erkennen, was die magnetische Anomalie verursacht.

In der im Sommer 2011 untersuchten Grabungsfläche konnten fünf Befunde dokumentiert werden, von denen drei in der Magnetik deutlich sichtbar sind. Aufgrund ihrer Brandhorizonte oder der großen Menge an Holzkohle und gebranntem Lehm in der Verfüllung unterscheiden sie sich deutlich von den beiden Befunden, die nicht in der Magnetik sichtbar sind. Vergleicht man den Schichtaufbau der Bohrprotokolle mit den dokumentierten Profilen der ausgegrabenen Befunde scheinen sich einige Anomalien aufgrund ihrer Ähnlichkeit einander zuordnen zu lassen (z. B. Befund 2 und Anomalie 2). Um dies zu überprüfen, wurde für das geomagnetische Messergebnis von Befund 2 (vgl. Abb. 59.2: kleines Bild oben links) innerhalb der übrigen Messwerte der Messfläche Kernavé 1 der Korrelationskoeffizient berechnet (vgl. Abb. 59.2; zur Methode siehe Kapitel 4.2.4). Dabei wurden drei der erbohrten Anomalien mit einem Korrelationskoeffizienten größer 0,8 markiert (Anomalie 2, 4 und 6), womit eine starke Korrelation zwischen dem Befund 2 und den drei Anomalien besteht (Parameter siehe Kapitel 12.4). Anomalie 2 sollte markiert werden, denn dies war der Ausgangspunkt der Fragestellung. Betrachtet man das Bohrprotokoll zu Anomalie 4, lässt sich auch ihre Ähnlichkeit mit dem Profil von Befund 2 nachvollziehen. Bei Anomalie 6 lässt sich allerdings keine Erklärung finden, denn die Bohrung konnte die Ursache der Anomalie nicht klären. Es könnte sein, dass aufgrund eines Messfehlers bei der Positionierung der Bohrung im Gelände ein Fehler unterlaufen ist, so dass die Anomalie mit der Bohrung nicht getroffen wurde. Anomalie 1, die anhand der Bohrung als eindeutiger Befund zu interpretieren ist, zeigt nur eine mittlere Korrelation zu Befund 2. Die Schichten in dem Bohrkern enthalten zwar wie der Befund 2 selbst viel Holzkohle und gebrannten Lehm, jedoch ragt die durch die Bohrung untersuchte Anomalie um einiges tiefer in den Boden hinein als der Befund 2 und scheint sich daher in seinem geomagnetischen Messergebnis deutlich von dem des Befundes zu unterscheiden.

8.3 Kernavé 2

Im Flusstal zwischen den Burgbergen und dem Fluss Neris liegt das Areal der 12,59 ha großen Messfläche Kernavé 2 (vgl. Abb. 60). Die Lücke zwischen den beiden Flächen ist bedingt durch eine parallel zum Fluss verlaufende Straße. Nordöstlich erstreckt sich die Fläche bis an den Fuß des Burgberges „Aukuro Kalno“, südwestlich erstreckt sie sich bis nahe ans Flussufer und die westliche Grenze südlich der Straße ist bedingt durch ein sich dort befindliches kleines Wäldchen. Die übrigen Grenzen sind wiederum verursacht durch die begrenzte Zeit von eineinhalb Messtagen. Größere archäologische Untersuchungen aus dem Jahr 2003 brachten zahlreiche Funde des 2.–5. Jahrhunderts n. Chr. im Bereich zwischen der Straße und dem Burgberg hervor (VADIŠIS u. a. 2005, 15). Die Übersichtskarte bei VADIŠIS (2005, 4f.) bescheinigt weitere anthropogene Spuren von der Steinzeit bis in die römische Kaiserzeit für das Areal zwischen der Straße und dem Fluss, in dem sich die Messfläche befindet.

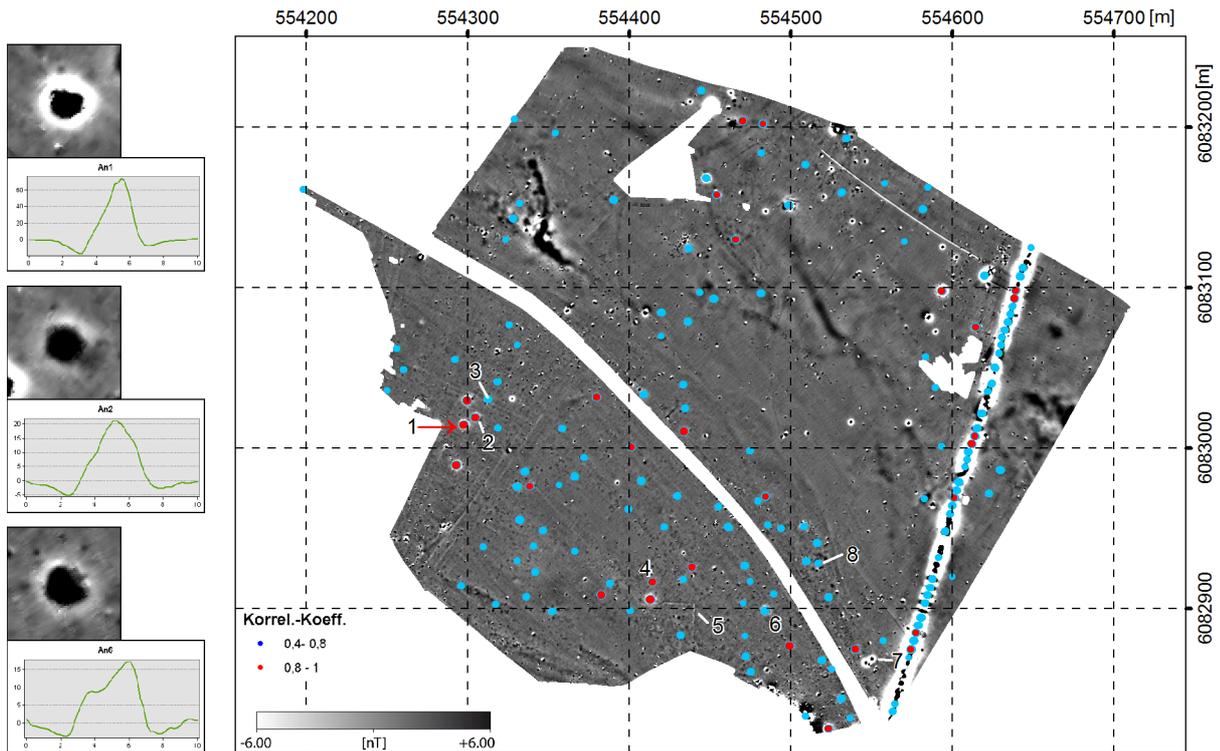


Abb. 60: Kernavė: Messfläche Kernavė 2: **(links)** Detaillierte Ansicht der Anomalien 1 (oben), 2 (mittig) und 6 (unten); die Magnetikprofile zeigen die Anomalien jeweils von N nach S geschnitten; **(rechts)** Übersicht der Magnetikfläche mit dargestelltem Ergebnis der Korrelation von Anomalie 1 mit den übrigen Messdaten; der rote Pfeil markiert die Position von Anomalie 1.

Auf den ersten Blick fallen besonders in der nördlichen Fläche und auch auf einem schmalen Streifen entlang des Flussufers durchlaufende großflächige Strukturen auf, die sich in Form dunkler unregelmäßiger Streifen teilweise mit einem weißen Rand zeigen. Weiterhin fällt eine nahezu Nord-Süd verlaufende lineare Struktur aus schwarzen Punkten mit weißen Ringen auf, die so dicht aneinander gereiht sind, dass es wie eine schwarze Punktreihe mit randbegleitenden weißen Streifen wirkt. Dabei handelt es sich um das geomagnetische Bild eines unterirdischen Abwasserkanals, der sich in diesem Bereich durch die Fläche zieht. Bei den großflächigen, mäandrierenden Strukturen, die vor allem in der nördlichen Messfläche als Kombination hoher positiver und negativer Amplituden auftreten, handelt es sich um geologische Strukturen, die sich in der Magnetik abzeichnen. Entlang des Flusses könnte es sich um Spuren ehemaliger Uferzonen handeln, die sich aufgrund des mäandrierenden Flusses verlagert haben. Welche Ursache die Strukturen in der nördlichen Fläche haben, muss an dieser Stelle unbeantwortet bleiben.

Wie bei der Messfläche Kernavė 1 zeigt sich ein sehr geringer Grad an Verschmutzung durch Metallschrott. Es fallen zahlreiche Anomalien auf, die aufgrund der Bohrergebnisse auf anderen Fundplätzen als Anzeiger anthropogener Tätigkeit interpretiert werden können. Insgesamt wurden in der Messfläche sieben von acht geplanten Anomalien mit dem Pürckhauer Bohrstab untersucht, und alle Schichten wurden beprobt, so dass neben den Schichtansprachen auch Suszeptibilitätswerte der einzelnen Bohrungen vorliegen. Bei drei der angebohrten Anomalien handelt es sich um

sehr stark feuerbeeinflusste Gruben (Anomalie 1, 2 und 4, vgl. Abb. 60), die auch jeweils mindestens eine Schicht mit einem sehr hohen Suszeptibilitätswert aufweisen. Die Anomalien 6 und 7 (vgl. Abb. 60) zeigen in der zentralen Bohrung eine Schicht mit vereinzelt Holzkohle und gebranntem Lehm und können deshalb als anthropogen erzeugte Gruben unbestimmter Funktion angesprochen werden. Bei Anomalie 3 (vgl. Abb. 60) lässt sich aufgrund der Bohrung zwar auf eine Grube schließen, anhand der Verfüllung ist aber nicht erkennbar, ob sie anthropogenen Ursprungs ist. Anomalie 5 (vgl. Abb. 60) sollte die Ursache einer länglichen Struktur mit sehr niedrigen Messwerten im Vergleich zu ihrem Umfeld klären, jedoch lässt der Bohrkern keine Rückschlüsse auf deren Ursache zu.

Für die gesamte Messfläche wurde eine flächenhafte Kreuzkorrelation zwischen der Anomalie 1 und der Gesamtfläche berechnet (vgl. Abb. 60). Das Ergebnis zeigt eine hohe Korrelation zwischen den beiden Anomalien 1 und 2 und bestätigt damit das bereits anhand der Bohrprotokolle postulierte Ergebnis, dass es sich um sehr ähnliche Befunde handelt, obwohl ein optischer Vergleich der beiden Magnetikbilder dies nicht vermuten lässt (vgl. Abb. 60, links oben und mittig). Die Anomalie 6 hingegen, bei der sich in der Verfüllung auch Fragmente von Holzkohle und gebranntem Lehm – allerdings in geringerem Maße – nachweisen ließen, weist nur einen mittleren linearen Zusammenhang zu Anomalie 1 auf. In diesem Fall ließ der optische Vergleich der Magnetikbilder auf sehr ähnliche Befunde schließen. Betrachtet man die Magnetikprofile der Anomalien (vgl. Abb. 60, links), zeigt sich auch hier ein Unterschied zwischen einerseits den Profilen von Anomalie 1 und 2 zu andererseits dem Profil von Anomalie 6. In der gesamten Messfläche befinden sich zahlreiche Anomalien, die eine starke Korrelation mit Anomalie 1 aufweisen und damit auch als wahrscheinliche Feuerstellen angesprochen werden können. Da allerdings bekannt ist, dass sich in der Talaue Fundplätze verschiedener Zeitstellungen befinden, kann eine Gleichzeitigkeit der Befunde nicht vorausgesetzt werden. Eine Beprobung der Bohrungen, um sie C14 datieren zu lassen, oder kleinere Sondagen zur Sicherung von datierbarem Fundmaterial könnten hier einen Aufschluss über die zeitliche Komponente der einzelnen Anomalien erbringen.

8.4 Kernavé 3

Ungefähr 250 m westlich von Messfläche 2, auch direkt am Flussufer des Neris gelegen, befindet sich die 2,56 ha große Messfläche 3 (vgl. Abb. 58 und 61). In diesem Bereich des Denkmals Kernavé wurden ausschließlich steinzeitliche Funde getätigt. Bohrungen wurden in dieser Messfläche keine durchgeführt. Da sich die Fläche auch in der Talaue nicht weit von Messfläche Kernavé 2 befindet, kann von einem annähernd gleichen geologischen Untergrund ausgegangen werden, so dass ähnliche Befunde in beiden Messflächen ein ähnliches magnetisches Bild erzeugen sollten. Aus diesem Grund wurde für diese Fläche die erbohrte Anomalie 1 aus Messfläche 2 herangezogen, um einen Korrelationskoeffizienten zu berechnen. Im Zentrum der Fläche befinden sich acht Anomalien, die ein regelmäßiges Muster ergeben und aufgrund ihrer Größe und Form Anomalie 1 sehr ähnlich sehen. Für sechs der acht Anomalien ergibt sich auch tatsächlich ein stark linearer Zusammenhang

zu der Ausgangsanomalie, und die übrigen beiden weisen zumindest einen mittleren linearen Zusammenhang auf. Ein Anbohren der Anomalien und eine Datierung derselben wären notwendig, um weitere Aussagen zu der Fläche zu treffen.

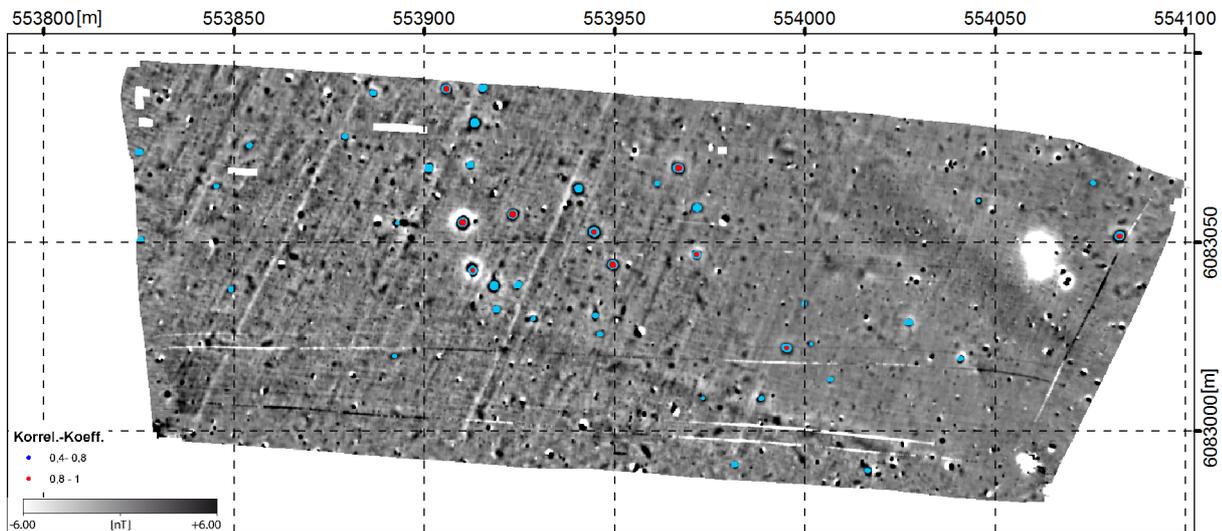


Abb. 61: Kernavė: Messfläche Kernavė 3. Der Korrelationskoeffizient zeigt das Ergebnis der Kreuzkorrelation zwischen Anomalie 1 aus Messfläche Kernavė 2 (vgl. Abb. 60) und den Magnetikdaten der Messfläche Kernavė 3.

In ihrem Gesamterscheinungsbild unterscheidet sich Messfläche 3 nicht wesentlich von den anderen beiden Untersuchungsarealen. Metallschrott ist auch in dieser Fläche verhältnismäßig wenig vorhanden. Die Anomaliendichte scheint im östlichen Drittel der Fläche zu dem Waldstück hin, das die Messflächen 2 und 3 voneinander trennt, auszudünnen. Eine Erklärung dafür lässt sich an dieser Stelle nicht anführen.

8.5 Ergebnis

Die zentrale Fragestellung für diesen Fundplatz war, ob es mit der Geophysik möglich ist, weitgehend zerstörungsfrei genügend Informationen über einen recht gut erforschten Fundplatz zu erhalten. Das Denkmal von Kernavė umfasst 15 einzelne Fundplätze, deren Lage und Datierung bekannt sind. Seit das Denkmal 2004 in die Liste der UNESCO Weltkulturerbestätten aufgenommen wurde, dürfen keine großflächigen archäologischen Untersuchungen mehr in dem geschützten Areal durchgeführt werden. So bleiben Prospektionen ohne größeren Bodeneingriff die wichtigste Informationsquelle, um das Denkmal weiter zu erforschen. Die geomagnetischen Untersuchungen konnten hier einen wichtigen Beitrag dazu leisten, anthropogen verursachte Anomalien zielgenau im Boden zu lokalisieren, um sie in einem nächsten Schritt in kleinen Sondagen auszugraben. Da sich einzelne Fundstellen verschiedener Zeitstellung jedoch in manchen Bereichen überlagern, bleibt eine Zuordnung der geomagnetischen Anomalien zu bestimmten Fundstellen stellenweise unmöglich, ohne weitere Untersuchungen wie z. B. C14 Datierungen durchzuführen. Ein wichtiges

Ergebnis des „unter-Schutz-Stellens“ dieses Denkmalkomplexes ist, dass, bedingt durch die ausbleibende ackerbauliche Tätigkeit, sehr wenig Metallschrott auf den Flächen zu finden ist. Dadurch werden die archäologisch relevanten Anomalien nicht, wie in den Beispielen Wiskiauten (5.2.1) oder Priediens II (vgl. 7.2) gezeigt wurde, von den Metallschrott-Anomalien überlagert oder sogar ganz verdeckt, sondern lassen sich mit den hier vorgestellten Analysemethoden automatisiert detektieren und unter Vorbehalt auch klassifizieren.

9 Suzdal (Russland)

Im Rahmen des von der DFG finanzierten Forschungsprojektes „Suzdal und Mohovoe/Wiskiauten - Prospektion und Erforschung frühmittelalterlicher Siedlungskammern im Kaliningrader Gebiet und in Westrußland“ wurden neben der systematischen Siedlungssuche in Wiskiauten (siehe Kapitel 5) auch geophysikalische Prospektionen in der Siedlungskammer Suzdal durchgeführt. Durch Einsatz ähnlicher Prospektionsmethoden auf zeitgleichen Fundplätzen in verschiedenen Regionen sollte die Vergleichbarkeit der genutzten Methoden überprüft werden. Dabei wurden zerstörungsfreie Techniken eingesetzt, welche mit Oberflächenbegehungen und gezielten Bodeneingriffen durch Pürckhauerbohrungen und kleinere Grabungsschnitte ergänzt wurden (MAKAROV u. FEDORINA 2013, 223). Von deutscher Seite aus wurden durch das Zentrum für Baltische und Skandinavische Archäologie in Zusammenarbeit mit den Experten des Instituts für Geowissenschaften, Abteilung Geophysik der CAU-Kiel in den Jahren 2007–2011 insgesamt 89,76 ha geomagnetisch vermessen. Hinzu kommen 0,19 ha Georadardaten und 296 Bohrungen, die mit 277 Kontrasten überprüft wurden. Teilweise wurden die einzelnen Schichten der Bohrkernbeurteilt und auf ihre Suszeptibilitäten hin untersucht. Soweit Fragmente von Holzkohle vorhanden waren, wurden den Bohrkernen C14 Proben entnommen.

9.1 Das Denkmal

Seit der Entdeckung einer großen Menge mittelalterlicher Gräber in den Zentralgebieten des Landes Rostov-Suzdal durch A. S. UVAROV (1871) in den Jahren 1851 und 1852 wird die Region archäologisch untersucht. Anhand von Feldforschungen konnte V. P. GLAZOV (1968) zeigen, dass sich jeweils in der Nähe der bekannten Gräberfelder auch Siedlungsspuren aus dem 10. bis 12. Jahrhundert befinden. Die Arbeiten wurden Ende der 70er, Anfang der 80er Jahre durch V. A. LAPŠIN (1985) wieder aufgenommen, und fanden ihren Ausgang in einer von A. E. Leontjev erstellten Karte des Vladimierer Gebietes. Die Materialien, die zwischen 1970 und 1990 zusammengetragen wurden, dienten im späteren Verlauf M. V. SEDOVA (1997, 231ff.) und V. A. LAPŠIN (2002, 101ff.) als Grundlage für eine allgemeine Betrachtung zur Organisation der Besiedlung im Zentrum des Suzdaler Landes und zur Kultur ländlicher Ansiedlungen. In einer vierjährigen Forschungskampagne von 2001–2004 wurden auf einem Territorium von etwa 125 km² 92 Siedlungen und weitere Fundstätten aus der zweiten Hälfte des ersten Jahrtausends n. Chr. bis zur ersten Hälfte des zweiten Jahrtausends n. Chr. untersucht (vgl. Abb. 62). Die Forschungsergebnisse der ersten drei Jahre zeigen, dass 2 % der Gesamtfläche des Opolje eine Kulturschicht mit Hinweisen auf mittelalterliche Siedlungen aufweisen. Die Größe der Fundstellen variiert dabei zwischen 19,1 ha (z. B. Omutskoe 1-2-3) bis hin zu sehr kleinen Plätzen mit nicht mehr als 0,2 ha (z. B. Kistyš 7). Im Durchschnitt liegt die Größe zwischen 2 ha und 6,5 ha. Häufig gruppieren sich mehrere Fundplätze zu kleineren Gruppen von zwei bis sechs Stück (MAKAROV u. FEDORINA 2013, 223).

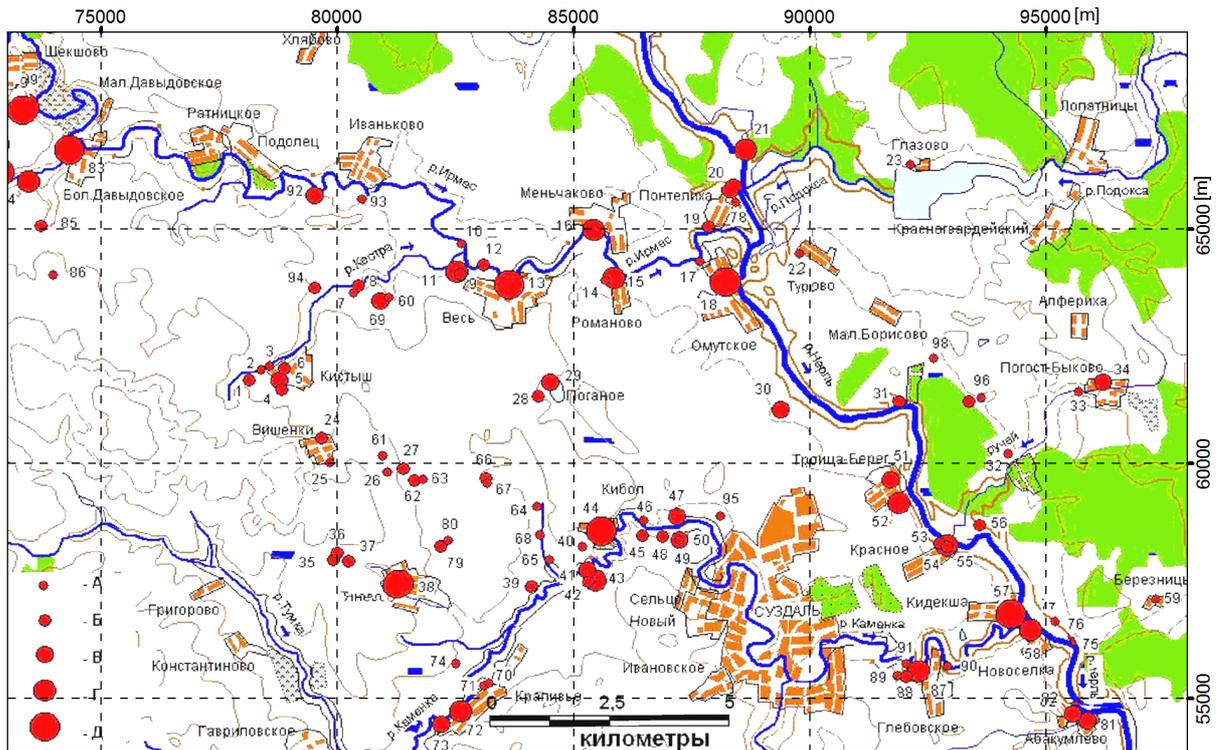


Abb. 62: Suzdaler Region: Frühmittelalterliches Siedlungsgefüge nach den Feldforschungen der Jahre 2001–2005 (MAKAROV u. FEDORINA 2013, Abb. 2); zur großräumigen Lage siehe Abb. 18; bei dem Koordinatensystem handelt es sich um ein lokal eingerichtetes Messraster, das für die gesamte Suzdaler Region verwendet wird.

Oben beschriebene Voruntersuchungen konnten somit eine für die Region ungewöhnlich dichte ländliche Besiedlung mit durchschnittlich einer Siedlung pro zwei Quadratkilometern nachweisen. Verantwortlich für diese dichte Besiedlung dürfte der für seine Fruchtbarkeit bekannte dunkle Lössboden sein, dessen Grenze zum grauen Rasen-Podsol-Boden entlang der Nerla verläuft (vgl. Abb. 62). Damit ähnelt die Besiedlungsstruktur der Region mit ihren recht großen Siedlungen, dem geringen Abstand zu den nächsten Ortsgruppen und der Lage eines Teiles der Siedlungen an kleinen Flüssen den südrussischen Strukturen, besonders denen am mittleren Dnepr und an der Desna (MAKAROV u. FEDORINA 2013, 224).

Da es mit den herkömmlich genutzten archäologischen Methoden kaum möglich ist ein solches Siedlungsareal in seiner Gänze zu erfassen sowie auch kleinere Strukturen im Umfeld des eigentlichen Siedlungskerns zu visualisieren, wurden erstmals geophysikalische Methoden, hier im Konkreten die Geomagnetik, angewendet. Dabei eröffnet die Einbeziehung der Randbereiche insbesondere die Möglichkeit, neue Aussagen zur Gesamtorganisation einer Siedlung bzw. Siedlungskammer zu treffen.

Im Rahmen des DFG Projektes wurden von den bekannten Fundstellen in fünf Messkampagnen neun Fundplätze mit insgesamt 16 einzelnen Flächen untersucht (vgl. Abb. 63). Um die Funktionalität der Methode zu testen, wurden zunächst recht große, bereits gut untersuchte Fundplätze bearbeitet. Nachdem sich herausstellte, dass die Geomagnetik hervorragend Fragen zur Ausdehnung bzw. zu den Grenzen eines Siedlungsplatzes beantworten kann, wurden anschließend auch eher

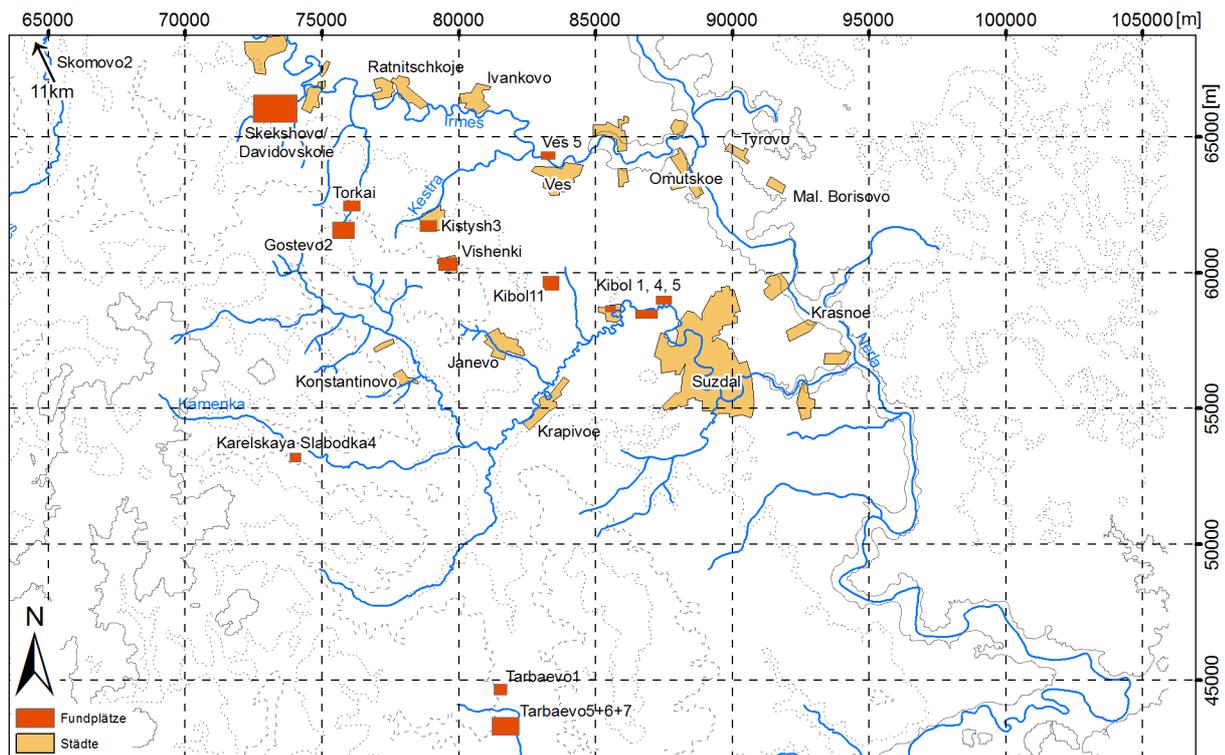


Abb. 63: Suzdal Opolje: Übersicht der Fundplätze, auf denen geophysikalische Prospektionen durchgeführt wurden. Die Größe der Rechtecke spiegelt in etwa die Größe der magnetisch gemessenen Flächen wieder.

unbekannte, bzw. sehr kleine Fundplätze geophysikalisch erforscht. Ausschnitte der Untersuchungen werden im Folgenden unter Betrachtung verschiedener Aspekte vorgestellt. Eine vollständige Sammlung aller Geophysikdaten und Pürckhauer Sondierungen befinden sich auf der CD im Anhang.

9.2 Geophysikalische Prospektion

Ziel der geomagnetischen Prospektion im Suzdaler Land war es, die Effektivität bei der Erkundung innerer Siedlungsstrukturen zu testen. Da es mithilfe der Messapparatur des Instituts für Geowissenschaften der CAU-Kiel möglich ist, je nach Begehbarkeit des Geländes, zwischen 5 und 10 ha am Tag zu messen, sollte auch versucht werden, an verschiedenen Fundstellen die Zwischenräume der sehr dicht beieinander liegenden Fundplätze zu untersuchen und eventuelle siedlungsübergreifende Strukturen zu erfassen. Die Messungen haben sehr schnell gezeigt, dass sich die Fundplatzausdehnung in Form erhöhter Anomaliendichte in den Magnetikbildern sehr gut nachvollziehen lassen. Die Bereiche mit erhöhter magnetischer Aktivität decken sich auch mit den aus den systematischen Oberflächenbegehungen resultierenden Fundverteilungsmustern und den daraus erschlossenen Denkmalgrenzen. Durch anhaltende ackerbauliche Tätigkeiten auf den Fundplätzen werden die Kulturschichten z. B. oft von Pflügen angekratzt und die Funde der Schicht somit gleichmäßig über die Oberfläche verteilt, was sich in den Geomagnetikdaten durch Bereiche erhöhter Aktivität widerspiegelt. Es lassen sich somit Fundplatzgrenzen anhand von Geomagnetik-

daten erkennen und visualisieren, aber auch die innere Struktur von Fundplätzen wird ersichtlich anhand von Geomagnetikdaten. Verschiedene Formen von ineinander übergehenden Anomalienkonzentrationen lassen direkt auf unterschiedliche Aktivitätsbereiche schließen. Diese Bereiche erhöhter Aktivität erscheinen wie ein Hintergrundrauschen in den Bildern, das ergänzt wird durch zahlreiche sehr deutliche Anomalien, wie man sie üblicherweise auf Siedlungsplätzen erwartet. Die zahlreichen Pürckhauer Bohrungen haben gezeigt, dass es sich dabei häufig um die in Kapitel 5.2.3.1 aufgelisteten Siedlungsbefunde handelt.

9.3 Ves 5

Nördlich des Ortes Ves und von diesem durch den Fluss Irmes getrennt befindet sich auf einer leicht nach Südosten hin abfallenden Terrasse der Fundplatz Ves 5 (vgl. Abb. 63). Bereits vor Beginn des DFG-Projektes fanden hier Oberflächenbegehungen und kleinere archäologische Untersuchungen statt, so dass einige Vorinformationen zu dem Fundplatz bekannt waren (vgl. Abb. 64). Eine Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich bei MAKAROV (2010). Die in den Jahren 2007 und 2009 durchgeführten Magnetikmessungen erfassen eine Fläche von 4,75 ha. Hinzu kommen 0,13 ha Georadarmessungen aus dem Jahr 2007 und 40 ausgepflockte Bohrungen aus 2007 und 2009, von denen 28 angebohrt wurden.

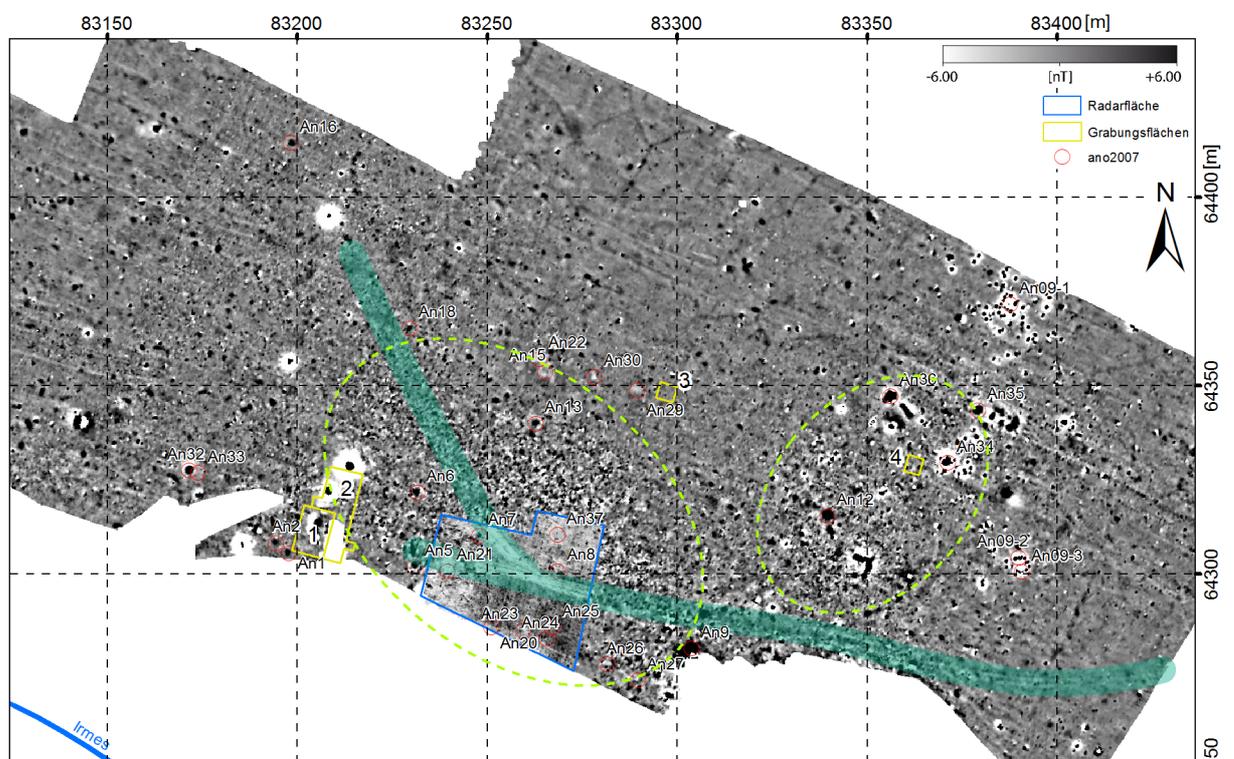


Abb. 64: Suzdal – Ves 5: Ausschnitt aus der geomagnetischen Messfläche. Die eingezeichneten Grabungen (1–4) wurden 2004, 2006 und 2007 durchgeführt, die Magnetikmessungen erfolgten 2007 und 2009 und die Radarfläche wurde 2007 vermessen; die Anomalien wurden 2007 und 2009 angebohrt; innerhalb der Radarfläche ist die Zeitscheibe der Radarmessung aus einer Tiefe zwischen 2 ns und 6 ns abgebildet; hellgrüne Ellipsen: Fundkonzentrationen auf der Oberfläche; dunkelgrüne Streifen: moderne Feldwege.

In der ruhigen Magnetikfläche fallen zwei Areale auf, in denen sich viele kleine Anomalien häufen und die dadurch unruhiger wirken als das ansonsten homogen erscheinende Magnetikbild (Abb. 64, hellgrüne Ellipsen). Die beiden mit den Ellipsen eingerahmten Areale decken sich mit zwei Zonen, welche sich aus dem Fundverteilungsmuster anhand von systematischen Oberflächenbegehungen ergeben (FEDORINA u. a. 2008, Abb. 1). In der westlichen Zone traten in erster Linie Funde aus einem Siedlungskontext auf, in der kleineren, östlichen Zone wurden überwiegend Produktionsabfälle der Metallgewinnung und -verarbeitung in Form von Schlackerückständen detektiert. Auch in den Geomagnetikbildern zeigen sich hier deutliche Unterschiede. In der linken Konzentration befinden sich zahlreiche kleine Anomalien, sowie einige große Anomalien mit Durchmessern bis zu drei Meter, wohingegen die östliche Konzentration allgemein eher große Anomalien mit sehr hohen Amplituden umfasst. Bei einer Skala von +/- 96 nT löst sich die westliche Anomalienkonzentration nahezu auf, wohingegen in der östlichen immer noch deutliche Anomalien zu sehen sind. Diese erreichen vereinzelt Werte von über 500 nT, welche in der Regel nur im Zusammenhang mit Metall erzielt werden.

Die Bohrungen in den beiden Zonen lassen einen Unterschied in dieser Deutlichkeit nicht erkennen. Zwar zeigen alle Bohrungen in dem Bereich der vermehrten Schlacke Anzeichen von feuerbeeinflussten Schichten, doch gibt es solche Bohrerergebnisse auch in der anderen. Dort treten zusätzlich zahlreiche Bohrerergebnisse auf, wie sie auf anderen Fundplätzen vorherrschen. Das Spektrum



Abb. 65: Suzdal – Ves 5: Profil eines Ofenbefundes. (Quelle: A. N. Fedorina, im Rahmen eines Projekttreffens des DFG Projektes 2012 gehaltenen Vortrag).

an Bohrerergebnissen reicht von Bohrungen, die nicht auf die Ursache der Anomalie schließen lassen über unspezifische Gruben ohne anthropogene Anzeiger bis hin zu siedlungstypischen Befunden, wie z. B. Kulturschichten oder Gruben mit Anzeigern anthropogener Aktivität.

Ein in Folge der geomagnetischen Prospektion im Sommer 2007 ausgegrabener Befund (zur Lage siehe Abb. 64, Fl. 4) zeigt im Profil deutlich die Schichten mit massiven Lagen aus Holzkohle und gebranntem Lehm (Abb. 65). Dabei handelt es sich eventuell um die Reste eines Ofens, ähnlich dem, der in Wiskiauten untersucht wurde

(IBSEN 2010, 273ff.). Im Süden, im Westen und innerhalb der Grabungsflächen 1 und 2 (vgl. Abb. 64) zeigen sich mehrere kleinere schwarze Punkte mit einem recht breitem weißen Rand außen herum. Dabei handelt es sich um senkrecht im Boden steckende Eisenstangen, die zur Markierung des Koordinatensystems auf dem Fundplatz installiert wurden. Von zur heutigen Zeit auf dem Acker herumfahrenden Fahrzeugen rühren ferner zwei lineare Strukturen her, die besonders deutlich in den oberen Zeitscheiben der Radarfläche zu sehen sind (vgl. Abb. 64). Zwar zeigen sich diese Spu-

ren in der Magnetik weniger deutlich, lassen sich aber über die Ränder der Radarfläche hinaus trotzdem in dem Magnetikbild nachverfolgen (vgl. Abb. 64, dunkelgrüne Linien).

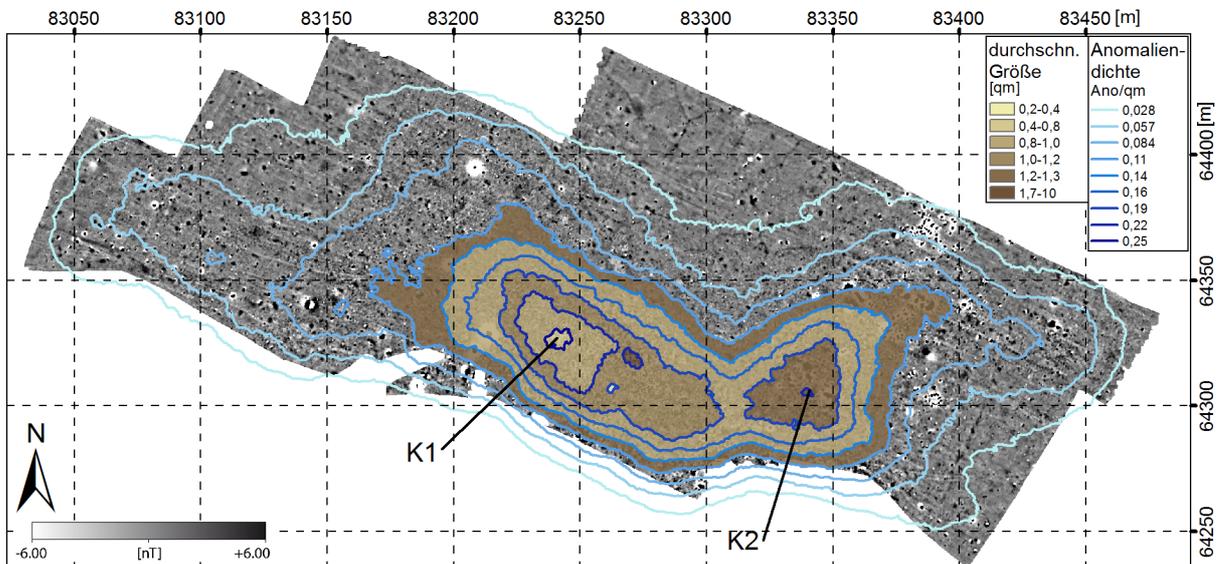


Abb. 66: Suzdal – Ves 5: Dichte und durchschnittliche Flächengröße der mithilfe der Slopeanalyse errechneten Anomalien (Parameter siehe Kapitel 12).

Abbildung 66 zeigt die Dichtekartierung der mithilfe der Slopemethode errechneten Anomalien (zur Methode siehe Kapitel 4.2.3) kombiniert mit der durchschnittlichen Flächengröße der Anomalien innerhalb eines Dichtebereichs. Die Linien in abgestufter blauer Farbe (von hell nach dunkel) geben die Anzahl der Anomalien pro m^2 für den Bereich bis hin zur nächst dunkleren Linie an. Für die so gefundenen zentralen Siedlungsbereiche wurde zusätzlich die durchschnittliche Größe der Anomalien berechnet (braune Farbskala). Diese Dichtekartierung bestätigt die Ausdehnung des



Abb. 67: Suzdal – Ves 5: Grabungsprofil eines Befundes aus 2006 (SHPOLYANSKY 2008, Abb. 5).

Fundplatzes, die sich bereits aus der Kartierung der Oberflächenfunde ergeben hat. Bereiche mit erhöhtem Fundaufkommen an der Oberfläche weisen auch eine erhöhte Dichte an magnetischen Anomalien auf (vgl. Abb. 66, K1 und K2). Im Bereich der vermehrten Schlacken an der Oberfläche (K2) dünne die Anomalien nach Nordosten hin aus. Ferner zeigt die Kartierung der durchschnittlichen Anomaliengröße an, dass im Bereich der Schlacken die Anzahl an Anomalien abnimmt, diese jedoch im Durchschnitt größer werden.

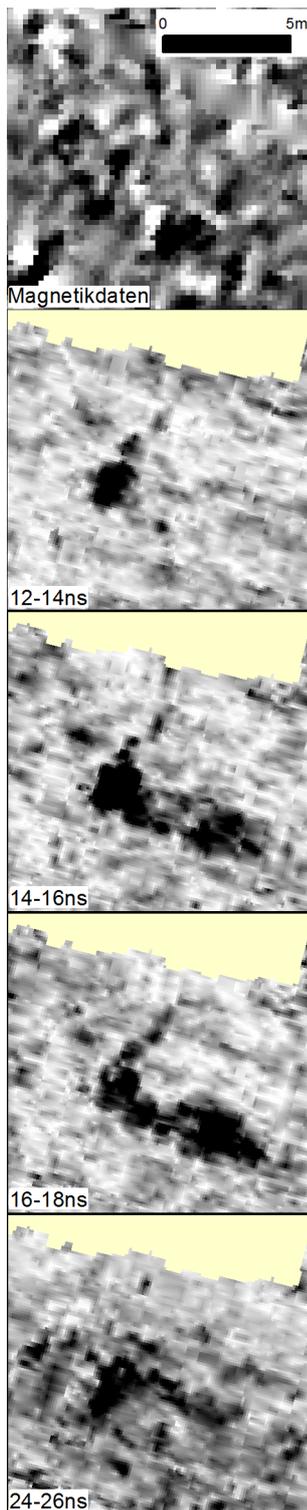


Abb. 68: Suzdal – Ves 5: oberstes Bild: Magnetikdaten; Bild 2-5: Ausschnitt aus der Radarfläche; 1 ns \cong 8 cm (alle Bilder zeigen den gleichen Ausschnitt in der Messfläche).

Oben genannte Ergebnisse zeigen, dass eine hohe Anomaliendichte in Geomagnetikdaten in Bereichen vermehrter Siedlungsfunde für ein Siedlungsareal spricht (Bereich um K1). Weniger, dafür aber größere Anomalien hingegen lassen auf Produktionsbereiche schließen (Bereich um K2). Ob dies eine Regel ist, die sich auf andere Fundplätze übertragen lässt, bleibt zu überprüfen.

Bei den Grabungen 2006 konnte ein Befund erschlossen werden, eine 180 cm tiefe Grube, die an der Sohle ca. 230 cm breit ist (vgl. Abb. 67). In der unteren Hälfte hat sie nahezu senkrechte Wände, die sich in der oberen Hälfte trichterförmig bis zur Geländeoberkante aufweiten. An der Oberfläche hat sich dieser Befund als leichte Senke im Relief bemerkbar gemacht, was im Foto an der zur Mitte des Befundes hin absinkenden Grasnarbe nachvollzogen werden kann (vgl. Abb. 67). Weitere solche Senken sind in einem Abschnitt auf dem Fundplatz entdeckt worden, welcher einem der Gebiete mit erhöhter Anomalienkonzentration in den Geomagnetikbildern entspricht (vgl. Abb. 64). Da anhand einer Pürckhauersondierung eine dieser Senken als ein möglicher weiterer Befund identifiziert werden konnte (Abb. 64, Anomalie 21) wurde der Bereich um diese Senke herum für eine Georadarfläche ausgewählt, die die Aussagemöglichkeiten dieser Methode auf dem Fundplatz zeigen sollte (vgl. Abb. 69).

Betrachtet man die Zeitscheiben bis zu einer Tiefe von 10 ns, sind sie geprägt von oberflächlich sichtbaren Fahrspuren, die als verdichtetes Material erfasst werden. Diese sind auch deutlich als Unebenheiten in der während der Radarmessung aufgezeichneten Topografie sichtbar. In den tieferen Zeitscheiben erscheinen weitere Anomalien, welche im nördlichen Teil der Messfläche eher flächig auftreten, sich im südlichen Bereich aber als Einzelanomalien durch mehrere Zeitscheiben hindurch ziehen. In der Umgebung der Koordinaten 83255/64305 (vgl. Abb. 64) erscheint in den Zeitscheiben ab einer betrachteten Tiefe von 14 ns z. B. eine Anomalie, welche sich mit zunehmender Tiefe zu einem rechten Winkel ausgestaltet (vgl. Abb. 68, Bild 4). Während sich der senkrechte Schenkel des Winkels bei 18 ns aufzulösen scheint, bleibt der horizontale bis zur maximalen Messtiefe von 32 ns erhalten. Er befindet sich genau unter den in den oberen Zeitscheiben sichtbaren Wegespuren

weshalb man diese als Ursache für die Anomalie annehmen kann. Über die gesamte Messfläche verteilt erscheinen in einer Tiefe von 16 ns ferner einige Anomalien, die eine deutlich niedrigere Reflektion aufweisen, als das sie umgebende Material. Eine davon deckt sich mit der Senke, die für Anomalie 21 als Bohrung ausgewählt wurde und es zeigt sich allgemein, dass in den Gebieten von Senken die reflektierende Schicht zwischen 20 ns und 30 ns fehlt (vgl. Abb. 69.4).

Die Ergebnisse zeigen eine klare Korrelation zwischen den Radarmessungen und den acht Bohrungen, die in besagtem Areal durchgeführt wurden. Allen Radarprofilen gemeinsam ist eine reflektierende Schicht, die sich in ca. 70-100 cm unter der Geländeoberkante befindet. Die Bohrungen konnten alle den anstehenden Boden in einer Tiefe zwischen 50 cm und 90 cm unter der Oberfläche nachweisen, so dass dies miteinander korreliert werden kann. In zwei Fällen allerdings traf der Pürckhauer erst in einer Tiefe von 150 cm auf den anstehenden Untergrund (Anomalie 21 und 24), wobei auf Anomalie 21 im Folgenden näher eingegangen wird.

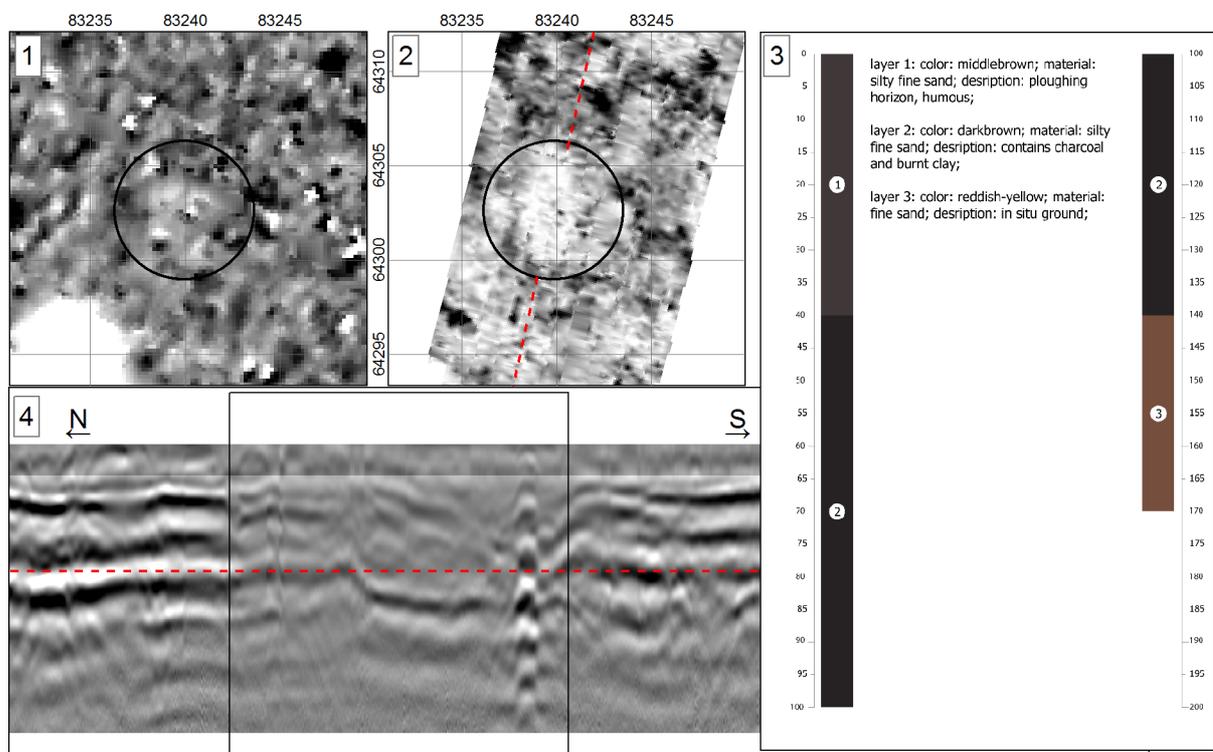


Abb. 69: Suzdal – Ves 5: **(1)** Geomagnetikausschnitt im Bereich Anomalie 21 (der schwarze Kreis markiert An21); **(2)** Georadar-Zeitscheibe auf Höhe der roten Linie in (4); **(3)** Bohrprotokoll von Anomalie 21; **(4)** Radarprofil an der Stelle der roten Linie in (2), der schwarze Rahmen markiert die Ausdehnung der schwarzen Kreise in (1) und (2).

An der Oberfläche des Gebietes um Anomalie 21 hat sich eine flache Mulde gezeigt, die ohne weitere Untersuchungen auf einen ähnlichen Befund wie die 2006 ausgegrabene Grube schließen ließ (vgl. Abb. 67). In der Geomagnetik wird die Anomalie nicht sehr deutlich wiedergegeben (vgl. Abb. 69.1). Im Vergleich zu ihrer Umgebung setzt sie sich aus niedrigeren Messwerten zusammen und erscheint als fast weißer Fleck im Magnetikbild. Im Zentrum der Senke, und damit im Zentrum der Anomalie, wurde die Bohrung angesetzt, die bis in eine Tiefe von 140 cm eine anthropogene

Schicht mit Holzkohle und gebranntem Lehm nachweist, die aus dem Grabungsprofil bekannte Schichtung der Grubenverfüllung lässt sich anhand des schmalen Bohrkerns allerdings nicht nachvollziehen. Bei 140 cm unter der Geländeoberkante ist der anstehende Boden in Form eines rötlich-gelben Feinsandes erreicht (Abb. 69.3). In den Radardaten zeigt sich die Anomalie sehr deutlich durch niedrigere Messwerte als das sie umgebende Material, was einer niedrigeren elektrischen Leitfähigkeit entspricht und in einem fast weißen Fleck im Timeslice resultiert (Abb. 69.2). Auch in dem Radarprofil ist die Anomalie klar erkennbar (Abb. 69.4). Es zeigt sich eine Art Lücke in der die Radargramme durchlaufenden reflektierenden Schicht zwischen 10 ns und 20 ns. Der Befund durchschneidet also den in den meisten Bohrungen in dieser Tiefe nachgewiesenen anstehenden Untergrund aus leicht sandigem bis sandigem Lehm.

9.4 Torki 4+5

Ein weiterer im Frühling 2010 geomagnetisch untersuchter Fundplatz liegt nahe des Ortes Torki auf einem leicht nach Westen hin ansteigenden Hang, ca.15 km nordwestlich von Suzdal. In der näheren Umgebung liegen die bereits in früheren Jahren bearbeiteten Fundplätze Kistysh 3 (2,5 km östlich) und die beiden Fundplätze Shekshovo und Davidovskoie (4,5 km nordwestlich). Ungefähr ein Kilometer südlich liegt der Fundplatz Gostevo 2, der im darauffolgenden Jahr untersucht wurde (vgl. Abb. 63).

Abbildung 70 zeigt das Areal, das geomagnetisch untersucht wurde. Im Gesamten weist es einen Höhenunterschied von ca. 10 m von Nordwest nach Südost auf. Die leicht geschwungene Südost-

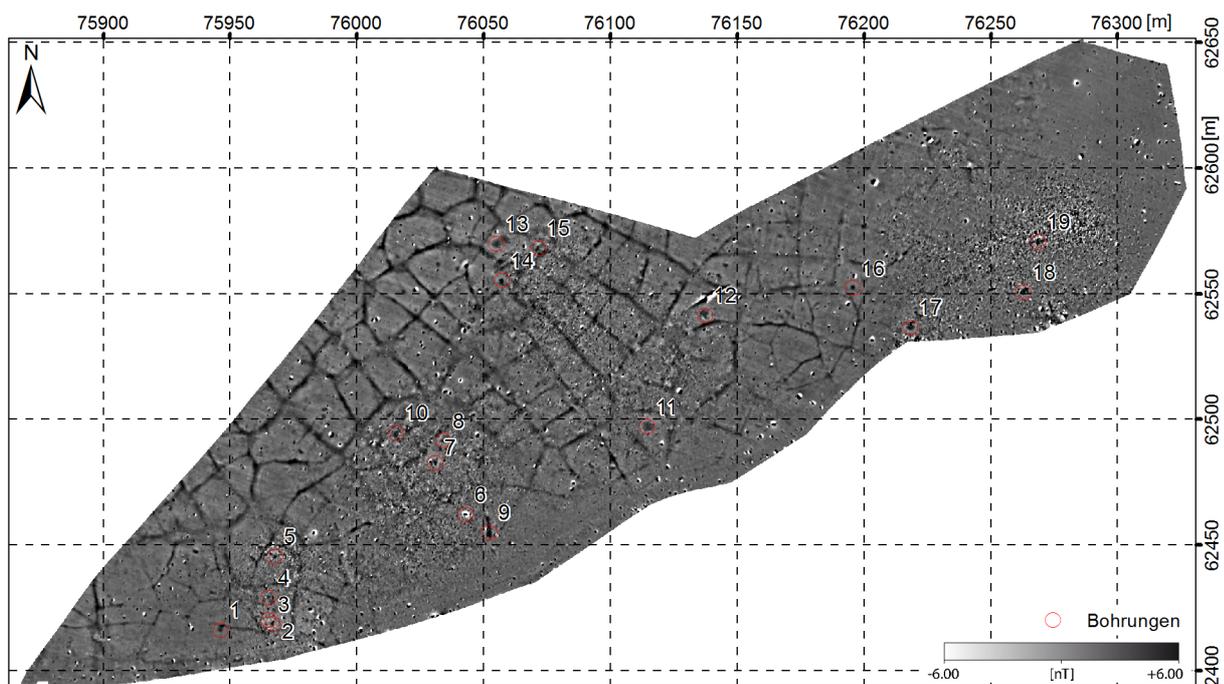


Abb. 70: Suzdal – Torki 4+5: Übersicht der Magnetikfläche mit Markierung der angebohrten Anomalien.

kante spiegelt den Bachverlauf wieder, von dessen Ufer sich die Fläche nach Nordwesten hin hangaufwärts erstreckt. Insgesamt wurden hier 4,87 ha Fläche geomagnetisch untersucht. Dabei wurden 19 Anomalien für Pürckhauer-Sondierungen ausgewählt und bis auf Anomalie 6, bei der es sich um ein an der Oberfläche liegendes Metallobjekt handelt, sämtliche Bohrungen ausgeführt.

Der Fundplatz wurde für eine geomagnetische Untersuchung ausgewählt, da systematische Oberflächenbegehungen der Jahre 2007 und 2009 in diesem Areal mehrere kleine Fundstellen mit Durchmessern zwischen 40 m und 60 m vermuten ließen. Ermöglicht es die Geomagnetik anhand der Messergebnisse Bereiche hoher Aktivität zu visualisieren, kann die Methode dazu beitragen, eine Gliederung der beiden als Torki 4 und Torki 5 betitelten Fundstellen zu ermöglichen. Die durchgeführten geomagnetischen Messungen zeigen, dass die Methode auch in diesem Areal gut funktioniert (Abb. 70). Insbesondere lassen sich nicht nur die beiden Konzentrationen Torki 4 und Torki 5 (im Nordosten und im Südwesten der Messfläche) klar voneinander trennen, sondern auch ermöglicht es die Identifizierung verschiedener Aktivitätsbereiche ein weit detaillierteres Bild des Fundplatzes zu erstellen (vgl. Abb. 71). Dies zeigt sich auch deutlich in der auf mithilfe der Slopefunktion berechneten Anomalien beruhenden Dichtekartierung (vgl. Abb. 71). Torki 4 und Torki 5 (K4 bzw. K1-3 in Abb. 71) sind klar voneinander getrennt durch einen Korridor minimaler Anomalienkonzentration. Der größere Fundplatz, Torki 5, zerfällt darüber hinaus in die drei Aktivitätsbereiche mit hoher Anomalienkonzentration, die allerdings alle miteinander verbunden sind durch einen Bereich mittlerer Anomalienkonzentration, die allerdings alle miteinander verbunden sind durch einen Bereich mittlerer Anomalienkonzentration. Im Zentrum einer jeden Konzentration befinden sich Anomalien von bis zu 25 m² Fläche. Auf dem Fundplatz Torki 5 (K1-K3) beschränkt sich dies auf die eher

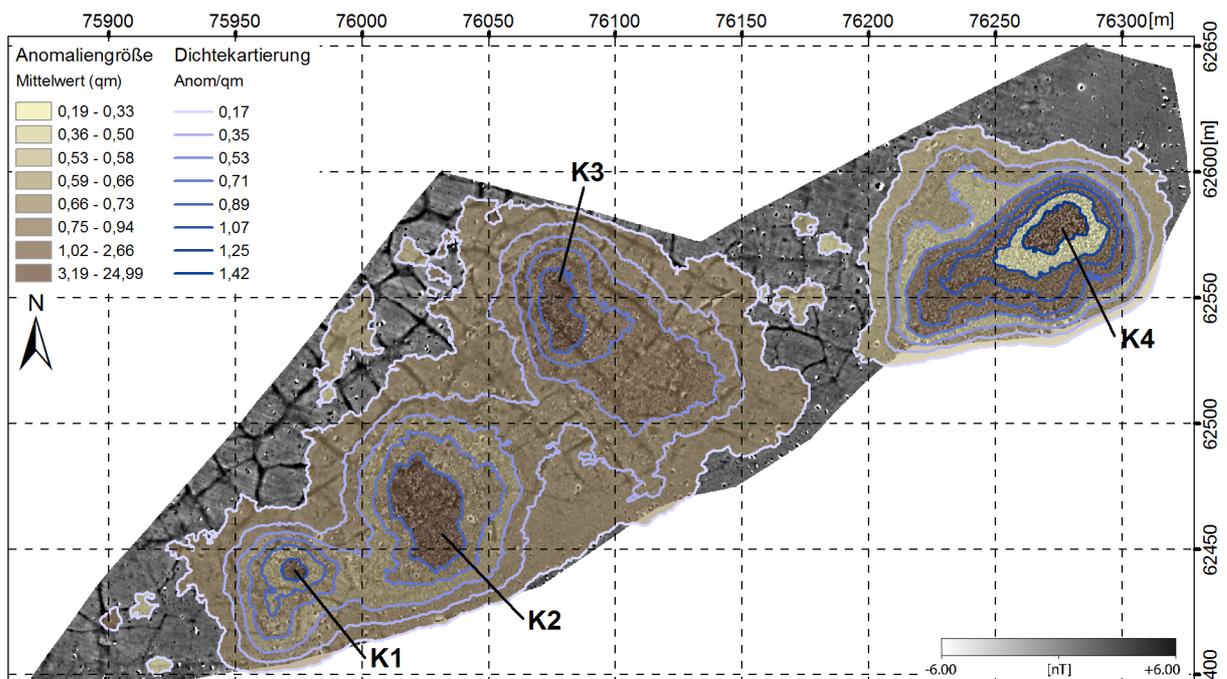


Abb. 71: Suzdal – Torki 4+5: Dichte und durchschnittliche Größe der mithilfe der Slopeanalyse errechneten Anomalien (Parameter siehe Kapitel 12).

kleineren Bereiche, in denen auch die jeweils höchsten Anomalienkonzentrationen gefunden wurden. In Torki 4 (K4) sind die größeren Anomalien nicht nur auf das Zentrum beschränkt, sondern treten auch in Bereichen geringerer Anomalienkonzentration auf. Hier ist somit ein ähnliches Phänomen wie in Ves 5 zu beobachten (vgl. Kapitel 9.3), ein kleinerer Bereich mit durchschnittlich größeren Anomalien setzt sich von der Hauptkonzentration ab. Im Unterschied zu Ves 5 zeigen sich in Torki 4 allerdings keine typischen Anomalien, wie sie im Zusammenhang mit der Metallverarbeitung zu erwarten wären.

Auch die Oberflächenfunde können keinen klaren Aufschluss darüber geben, ob es Unterschiede zwischen den einzelnen Flächen mit erhöhter Anomalienkonzentration gibt. Das Fundmaterial beschränkt sich in seiner Verbreitung auf die mithilfe der Geomagnetik identifizierten Konzentrationsflächen, die Art des Fundgutes lässt aber keine Differenzierung in verschiedene Nutzungsbereiche zu. Auch die Bohrungen repräsentieren einen eher typischen Querschnitt durch das übliche Spektrum an Befundgattungen. Zwölf Gruben mit feuerbeeinflussten Schichten dominieren das Spektrum, wobei zehn davon viel Holzkohle und gebranntem Lehm in der relevanten Schicht enthalten. Hinzu kommen vier Gruben unspezifischer Funktion (sie enthalten keine Anzeiger anthropogener Beeinflussung), eine Anomalie, die als „Schicht“ anzusprechen ist (Abb. 70, Anomalie 16) und eine Anomalie, die keinerlei Rückschluss auf die Ursache der Beeinflussung des Magnetfeldes zulässt. Vergleicht man nun aber die Bohrerergebnisse mit den Geomagnetikdaten, so lässt sich ein Unterschied zwischen den einzelnen Konzentrationsflächen K1 bis K4 erkennen. Dem Bereich K1 zugehörig sind fünf Bohrungen, von denen nur eine Anomalie auf eine feuerbeeinflusste Schicht zurück zu führen ist. Drei Bohrungen zeigen unspezifische Gruben und die fünfte Anomalie erlaubt keine Rückschlüsse. Anders sieht es bei K4 aus. Die drei Bohrungen aus dieser Konzentration zeigen alle feuerbeeinflusste Schichten. Die beiden Konzentrationen K2 und K3 zeigen hingegen überwiegend Befunde mit Holzkohle und gebranntem Lehm in den Schichten, aber auch vereinzelte Gruben. Diese Beobachtung lässt somit tatsächlich eine unterschiedliche Funktion der jeweiligen Areale vermuten.

Ob die Fundplätze Torki 4 und Torki 5 in einem Zusammenhang stehen, lässt sich nicht klar sagen. Während die deutliche Trennung der Anomalienkonzentrationen erkennbar in den Geomagnetikdaten für eine Abgrenzung spricht, könnte Anomalie 16, die eine gleichbleibende Kulturschicht in der eigentlichen Anomalie und in dem Kontrast enthält und genau zwischen den Bereichen K3 und K4 liegt, für eine Verbindung der beiden Areale sprechen. Ferner spricht die Datierung der Oberflächenfunde für eine Gleichzeitigkeit der beiden Plätze (Ergebnisse aus einem von A. Fedorina im Rahmen eines Projekttreffen 2012 in Moskau gehaltenen Vortrags).

Die geomagnetische Untersuchung der beiden Fundplätze Torki 4 und Torki 5 erbrachte also die Erkenntnisse, dass sich einerseits die beiden Fundplätze anhand der Anomalienkonzentrationen deutlich voneinander trennen lassen, sowie, dass Fundplatz Torki 5 sich in weitere kleinere Konzentrationsflächen aufteilt. Im Vergleich zum Aufwand von zeit- und kostenintensiven Ausgrabun-

gen, ermöglicht die Geomagnetik ein solches Resultat an nur einem Messtag. Kombiniert mit Oberflächenbefunden, die sich den einzelnen Konzentrationen in den Geomagnetikdaten zuordnen lassen, sowie den erbohrten Befunden, lässt sich auf diese Weise eine relativ umfassende Interpretation des Fundplatzes vornehmen, ohne größere Ausgrabungen vornehmen zu müssen.

9.5 Shekshovo 2

Der Fundplatz Shekshovo 2 befindet sich ca. einen Kilometer südlich des gleichnamigen Orts auf einem leicht nach Südosten hin abfallenden Hang (vgl. Abb. 63). Am Südostende wird er von einem Bachlauf begrenzt, der diesen Fundplatz auch von dem östlich gelegenen Fundplatz Bolshoe Davydovskoye 2 trennt. Der Einschnitt im Nordosten der Messfläche ist bedingt durch einen kleinen Bachlauf, der von Nordwesten nach Südosten den Fundplatz, und damit auch die Magnetikfläche, durchquert. Auf dem Fundplatz Shekshovo 2 wurde in den Jahren 2007, 2008 und 2009 insgesamt eine Fläche von 26,48 ha geomagnetisch untersucht (vgl. Abb. 72). Es wurden 46 der detektierten Anomalien angebohrt und diese mit 46 Kontrasten überprüft. Soweit Holzkohle in den Bohrkernen vorgefunden wurde, wurden die einzelnen Schichten der Bohrungen beprobt. Ergebnisse von fünf solcher Proben kamen in dieser Arbeit zum Zuge.

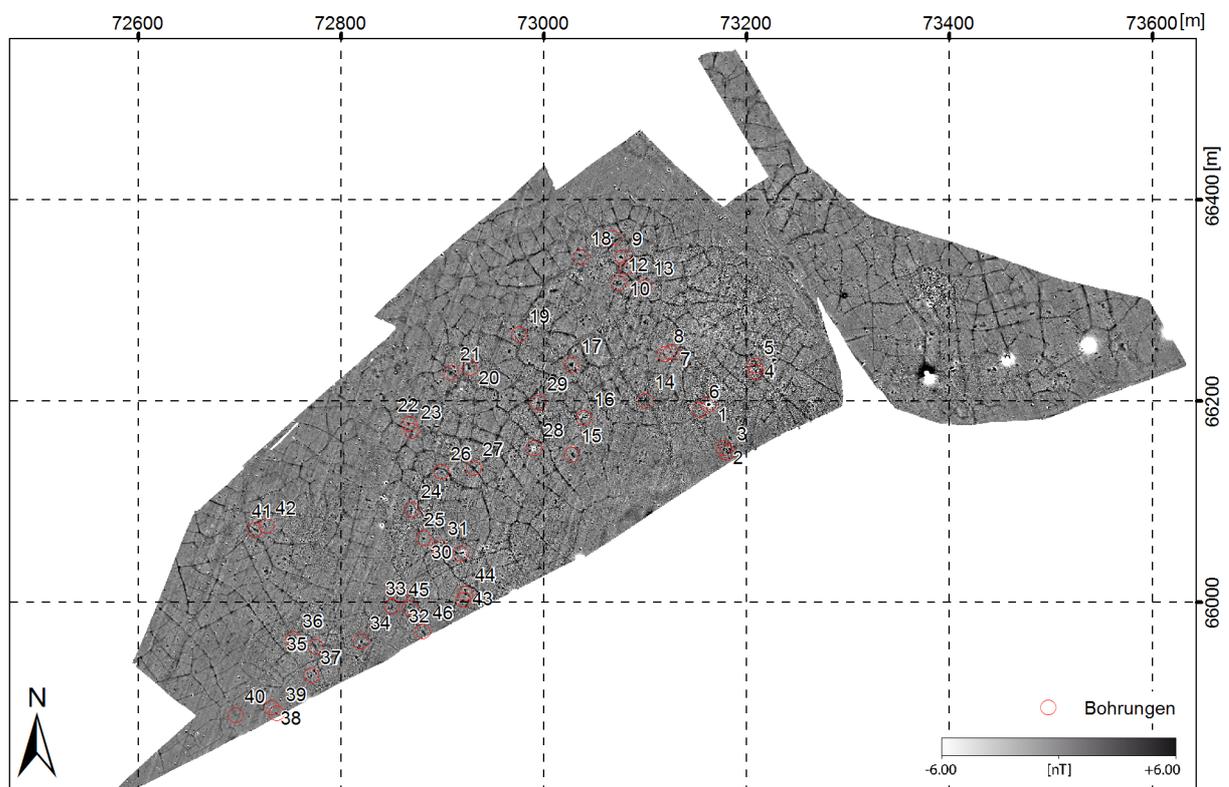


Abb. 72: Suzdal – Shekshovo 2: Übersicht der Magnetikfläche mit Markierung der angebohrten Anomalien.

Anhand des auftretenden Fundmaterials lässt sich eine Entstehung der auf dem Fundplatz entdeckten Siedlung im 10. Jahrhundert annehmen, was auch für die Siedlung auf dem Fundplatz Davydovskoye 2 zutrifft. Somit stellen die beiden Fundplätze Shekshovo 2 und Davydovskoye 2

das vermutlich früheste Zentrum der frühmittelalterlichen Siedlungen im nördlichen Teil der Opolje-Region dar (FEDORINA u. a. 2008, 30ff.). Auch die aus den fünf Bohrungen gewonnenen C14 Daten, die eine Zeitspanne vom letzten Viertel des 8. Jahrhunderts n. Chr. bis zum zweiten Viertel des 12. Jahrhunderts abdecken¹², bestätigen dies. Charakteristisch für den Fundplatz Shekshovo 2 ist die Verbindung von finnougri-schen und slawischen Kulturelementen. Die Erzeugnisse von Hufschmiede- und Schmuckhandwerk bezeugen Verbindungen zur Baltischen Region (MAKAROV u. a. 2011).

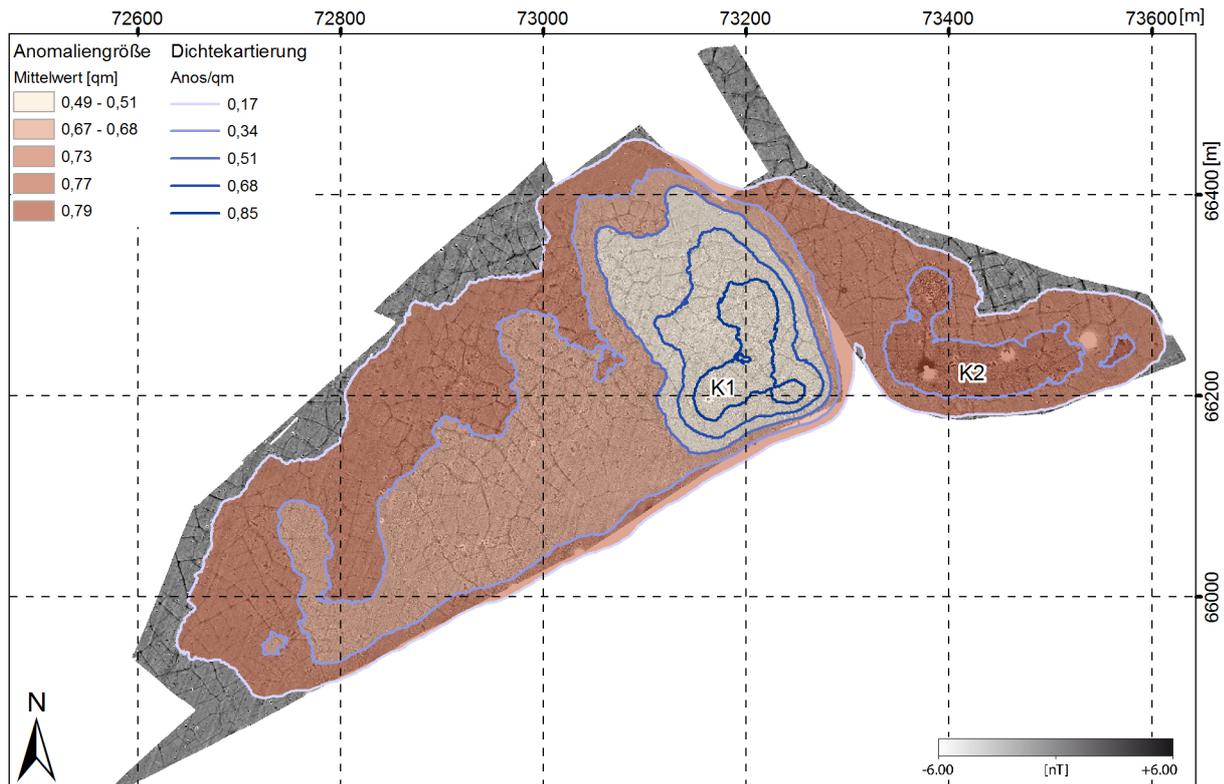


Abb. 73: Suzdal - Shekshovo 2: Dichtekartierung und durchschnittliche Größe der magnetischen Anomalien jeweils in Bezug auf den Bereich zwischen zwei Isolinien (Parameter siehe Kapitel 12).

Abbildung 72 zeigt die geomagnetische Messfläche. Sofort lassen sich die für die Suzdaler Region typischen Bereiche hoher Anomaliedichte erkennen, die bei den bisher vorgestellten Fundplätzen mit Bereichen hoher anthropogener Aktivität gleichzusetzen sind. Eine Dichtekartierung der errechneten Anomalien für den Fundplatz Shekshovo 2 lässt zwei Zentren hoher Konzentrationen auf dem Fundplatz erkennen (vgl. Abb. 73). An die ca. 250 m x 150 m große Konzentration nordöstlich des Zentrums der Messfläche (Abb. 73, K1) schließt sich nach Südwesten hin auf einer Länge von 400 m ein durchschnittlich 150 m breites Areal mittlerer Anomaliedichte an. Die Verteilung der Anomalien auf diesem Teil des Fundplatzes scheint vom Flusstal nach Nordwesten hin auszu-

¹² KIA33379: 1 Sigma: 999-1021 calAD, 2 Sigma: 982-1028 calAD; KIA33380: 1 Sigma: 782-958 calAD, 2 Sigma: 779-976 calAD; KIA33381: 1 Sigma: 781-935calAD, 2 Sigma: 775-976calAD; KIA38412: 1 Sigma: 782-891calAD, 2 Sigma: 778-938calAD; KIA38413: 1 Sigma: 1017-1146calAD, 2 Sigma: 994-1152calAD.

dünnen. Anzumerken sei auch, dass der Bereich mit der höchsten Anomaliendichte im Durchschnitt sehr kleine Anomalien aufweist. Nordöstlich der Konzentration K1, jenseits des die Messfläche querenden Bachtals, lässt die Dichtekartierung eine weitere Konzentration an Anomalien erkennen (Abb. 73, K2), die etwas weniger dicht mit Anomalien besetzt ist als K1. Die durchschnittliche Anomaliengröße im Zentrum der Konzentration steigt allerdings auf das Maximum für diesen Fundplatz an. Wie in Ves 5 lassen sich somit auf dem Fundplatz Shekshovo 2 zwei Areale erhöhter Aktivität feststellen, die sich darin unterscheiden, dass in der einen Konzentration die Anomalien im Durchschnitt größer sind (vgl. Anomalien im Bereich K2, Abb. 66). Darüber hinaus lassen sich bei jeweils den Konzentrationen mit den größeren Anomalien Anzeiger für feuerbeeinflusste Gruben finden. Da es im Gebiet K2 des Fundplatzes Shekshovo 2 allerdings keine Pürckhaueruntersuchungen gibt, die einen endgültigen Aufschluss über die hier vertretenen Anomalientypen geben könnten und auch keine Informationen über die Verteilung der Oberflächenfunde auf dem Fundplatz Shekshovo 2 vorliegen, ist ein direkter Vergleich nicht möglich. In Anlehnung an die Ergebnisse zum Fundplatz Ves 5 aber kann man auf eine Aktivitätszone rund um die Metallgewinnung bzw. -verarbeitung schließen.

Ein weiteres, in den Magnetikbildern der Suzdaler Region häufig zu beobachtendes Phänomen, sind die linearen Strukturen, die auch in den Bildern von Shekshovo 2 zu erkennen sind. Sie durchziehen große Teile des Bildes, und rahmen unregelmäßige Polygone von selten mehr als 500 m² Fläche ein (vgl. Abb. 72). Vereinzelt Polygone erreichen Flächeninhalte von 1000 m², die weitaus größte Anzahl liegt aber unter 200 m². In Shekshovo 2 wurden zwei solcher Linien mit dem Pürckhauerbohrer untersucht (Abb. 72, Anomalie 8 und 13). In beiden Fällen konnte das Bohrerergebnis keinen Aufschluss über die Ursache der Struktur geben. Das Bohrerergebnis der Anomalie 8 zeigt eine zweigeteilte Bodensäule, bei der der anstehende Boden direkt unter dem Ackerhorizont in 30 cm Tiefe beginnt. An der Position von Anomalie 13 ließ sich mithilfe der Bohrung eine zwischen 6 cm und 18 cm mächtige Schicht aus schluffigem Sand zwischen dem Ackerhorizont (schluffiger Sand) und dem anstehenden Untergrund (Lehm) nachweisen. Die jeweilige Schicht trat sowohl im Zentrum der Anomalie als auch in der Kontrastbohrung auf. Unabhängig von der Bohrung kann man daher annehmen, dass es sich bei den linearen Strukturen vermutlich um durch Frost entstandene Risse im Boden handelt, die sich nach dem Auftauen mit dem höhermagnetischen Oberboden verfüllt haben und deshalb als dunkle Streifen in den Magnetikbildern zu erkennen sind (vgl. LÜCK 2005, 63f.).

An den Kreuzungspunkten der linearen Strukturen zeigen sich häufig zwischen 2 m und 3 m große Anomalien mit einer erhöhten Magnetisierung. Auch davon wurden einige mit dem Pürckhauerbohrstab untersucht (vgl. Abb. 72: Anomalie 12, 14, 21, 23, 27, 31, 35). Bis auf Anomalie 35 erbrachten alle Bohrungen Schichten mit Anzeigern anthropogener Tätigkeit in Form von gebranntem Lehm. Anomalie 14 weist sowohl in der zentralen Bohrung als auch im Kontrast einen gleichbleibenden Horizont auf. Die übrigen fünf Anomalien dieser Reihe entsprechen jeweils Gruben von bis zu 1 m Mächtigkeit.

Um die Messfläche von 2007 und 2008 in ihrer Gänze möglichst gut zu erkunden, wurden 38 weitere Bohrungen vorgenommen, und zwar in den Geomagnetikdaten möglichst verschieden aussehenden Anomalien. Drei Bohrerergebnisse zeigen den Nachweis einer Schicht, 30 Ergebnisse ließen auf Gruben schließen und nur in vier Fällen erbrachten die Bohrungen kein klares Ergebnis über die Ursache der Anomalie¹³. 27 der Gruben enthalten Schichten mit Holzkohle, während die anderen drei Gruben keine Rückschlüsse auf menschlichen Einfluss zulassen.

Damit zeigten 38 der insgesamt 46 unternommenen Bohrungen einen Nachweis anthropogener Aktivität in Form von Holzkohle oder gebranntem Lehm, wobei 33 Bohrkernsogar sowohl Holzkohle als auch gebrannten Lehm in unterschiedlichen Mengen enthielten. Vier Bohrerergebnisse ließen auf unspezifische Gruben schließen und nur vier Bohrungen ließen keinen Rückschluss auf die Ursache der Anomalie zu. Im Vergleich zu den anderen in dieser Arbeit vorgestellten Messorten ließen sich auf dem Fundplatz Shekshovo 2 somit vergleichsweise viele archäologisch relevante Befunde aufdecken (vgl. Tabelle 8). Eine Erklärung dafür könnte die anhand der C14 Daten und des archäologischen Fundguts nachgewiesene lange Besiedlungsphase dieses Fundplatzes darstellen, durch welche es zu einem erhöhten anthropogenen Niederschlag kommen konnte.

9.6 Karelskaya Slobodka 4

Die bisher vorgestellten Ergebnisse der Fundplätze aus dem Suzdaler Opolje haben gezeigt, welche Möglichkeiten die Geomagnetikdaten in Bezug auf die horizontale Stratigrafie der Fundplätze bietet. Der 15 km westlich von Suzdal an einem Flusslauf gelegene Fundplatzes Karelskaya Slobodka 4 wurde für eine geomagnetische Prospektion ausgewählt, da es sich bei dem archäologischen Denkmal um einen vergleichsweise kleinräumigen Siedlungsplatz handelt. Dies ließ sich anhand einer systematischen Oberflächenbegehung in zwei Kampagnen in den Jahren 2006 und 2008 feststellen. Die Ergebnisse dieser Begehungen (vgl. Abb. 74.2 gelbe Punkte) wurden von A. Fedorina in einem Vortrag vorgestellt, den sie im Rahmen eines in Moskau stattgefundenen Projekttreffens des DFG-Projektes gehalten hat.

Abbildung 74.1 zeigt die magnetischen Messergebnisse der im April 2011 vorgenommenen geophysikalischen Prospektion. Mit 1,67 ha ist die Messfläche in dem Gebiet des Fundplatzes nur wenig größer als die angenommene Ausdehnung des besiedelten Areals von 1,62 ha (mündliche Mitteilung von A. Fedorina, Moskau 2011). Der Acker, auf dem sich der Fundplatz befindet, steigt von Nord nach Süd um ca. 8 m an. Im Südwesten zeigen die Magnetikdaten ein kleines Areal, in dem die ansonsten für die Region und auch den Fundplatz typischen Frostkeile fehlen (vgl. Kapitel 9.5). Am nordöstlichen tiefer gelegenen Rand der Messfläche scheinen geologische Strukturen aus dem Untergrund die oberflächennahen, u. a. archäologischen Strukturen zu dominieren. Eventuell fasst man in diesem Bereich geomagnetisch messbare Erosionsprozesse, ähnlich den geologischen

¹³ Zur Einteilung der Bohrerergebnisse siehe Kapitel 5.2.3.1.

Strukturen, die am Hangfuss der Burgberge von Kernavė in den Magnetikbildern sichtbar sind (vgl. Kapitel 8.3).

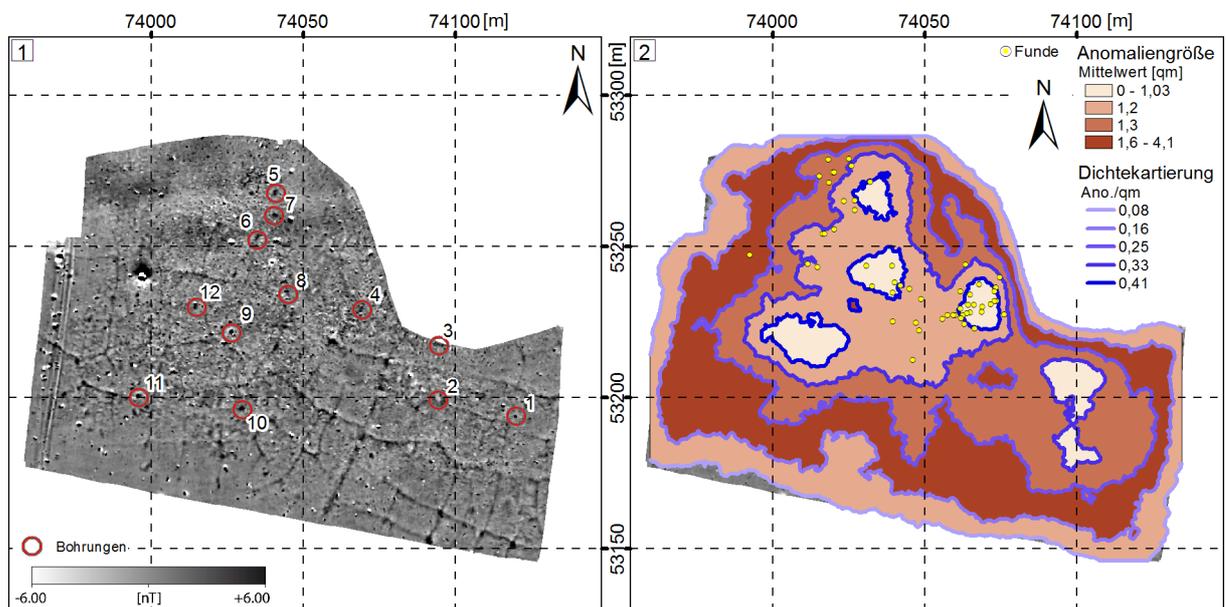


Abb. 74: Suzdal – Karelskaya Slobodka 4: **(1)** Geomagnetikbild mit angebohrten Anomalien; **(2)** Dichtekartierung und durchschnittliche Anomaliengröße mit Fundverteilung an der Oberfläche.

Das geomagnetische Messbild ist einerseits durch die linearen Strukturen, die durch vorhandene Frostkeile verursacht werden geprägt, andererseits durch die Areale mit erhöhter magnetischer Aktivität, die auf den vorgestellten Fundplätzen der Suzdaler Region nahezu deckungsgleich mit der Verteilung der siedlungsanzeigenden Oberflächenfunde ist. Die Verteilung der Oberflächenfunde auf diesem Fundplatz (Abb. 74.2; mündliche Mitteilung A. Fedorina) deckt sich in Karelskaya Slobodka 4 nicht gänzlich mit den Anomalienkonzentrationen. Anhand der aus den magnetischen Messdaten errechneten Anomalienkonzentrationen ergeben sich verschiedene Bereiche erhöhter Dichte, die tendenziell eher in der nördlichen Hälfte der Magnetikfläche liegen (Abb. 74.2). Die Oberflächenfunde hingegen häufen sich deutlich in den tiefer gelegenen Arealen des Fundplatzes. Hangabwärts gerichtete Erosionsprozesse können als Erklärung dieses Phänomens auf dem Fundplatz angeführt werden.

Die Kartierung der durchschnittlichen Anomaliengröße innerhalb der einzelnen Zonen unterschiedlicher Anomaliendichte lässt in Karelskaya Slobodka keinen Rückschluss auf eventuell vorhandene Produktionsbereiche zu (vgl. Kapitel 9.3). In allen Bereichen höchster Anomaliendichte ist die durchschnittliche Anomaliengröße gleich. Ringförmig um die zentralen Areale höchster Dichte nimmt die Zahl an Anomalien ab bei gleichzeitig ansteigender Größe. Erst im äußersten Ring mit minimaler Dichte nimmt auch die durchschnittliche Größe der Anomalien wieder ab.

Zwölf geomagnetische Anomalien wurden mit dem Pürckhauer-Bohrer angebohrt und mit elf Kontrastbohrungen überprüft. Anhand der Bohrerergebnisse lassen sich 6 Anomalien als Gruben definie-

ren (Anomalie 2, 5, 7, 9, 10 und 11), wobei nur zwei Gruben einen Nachweis anthropogener Aktivität in Form von Holzkohle bzw. gebranntem Lehm erbrachten (Anomalie 5 und 9). Bei einer Bohrung ließ sich ein gleichbleibender Horizont in der zentralen Bohrung und in der Kontrastbohrung feststellen, der Fragmente von gebranntem Lehm enthielt und als archäologische Schicht angesprochen wurde (Anomalie 8). Die verbleibenden fünf Bohrkern ließen keinen Rückschluss auf die Ursache der geomagnetischen Anomalie zu (Anomalie 1, 3, 4, 6 und 12). Damit lässt sich anhand der Bohrergebnisse keine intensive Nutzung des Siedlungsplatzes nachweisen. Nur eine Schicht und zwei Gruben enthalten Anzeiger anthropogener Aktivität, die übrigen neun Anomalien deuten nicht auf die Anwesenheit von Menschen hin.

Die Streuung der Oberflächenfunde auf dem Fundplatz Karelskaya Slobodka 4 ließ eine verhältnismäßig kleine Siedlung an dieser Stelle vermuten. Die geomagnetischen Messdaten erzielten trotz der geringen Größe die für die Region übliche erhöhte Aktivität in den Daten im zentralen Siedlungsbereich. Partiiell decken sich die Bereiche mit erhöhter magnetischer Aktivität mit der Fundverteilung an der Oberfläche. Erosionsprozesse bieten eine mögliche Erklärung der leicht nach Norden (hangabwärts) verschobenen Fundstreuung. Die Bohrergebnisse bestätigen mit dem nur selten vorhandenen Eintrag von Holzkohle oder gebranntem Lehm das Bild einer kleinen Siedlung und der damit einhergehenden geringeren menschlichen Aktivität.

9.7 Ergebnis

Im Rahmen eines DFG Projektes konnten über fünf Jahre systematisch geophysikalische Prospektionen auf verschiedenen Fundplätzen in dem Suzdaler Opolje durchgeführt werden. Im Laufe der verschiedenen Messkampagnen wurde die Wahl der zu untersuchenden Fundplätze den Aussagemöglichkeiten, die die geomagnetische Messmethode in der Region bietet, angepasst. Die Geomagnetik ermöglicht es, sowohl Fundplatzgrenzen als auch unterschiedliche Aktivitätsbereiche innerhalb eines Siedlungsplatzes zu detektieren. Über die Berechnung der Anomaliendichte und der durchschnittlichen Anomaliengröße innerhalb der Dichteeinheiten, ist es stellenweise gelungen, eine unterschiedliche Nutzung verschiedener Aktivitätsbereiche nachzuweisen (vgl. Kapitel 9.3: Ves 5, 9.4: Torki 4+5). Die Ausdehnung der Siedlungsareale spiegelt sich in den geomagnetischen Messdaten in Form von auf begrenzte Areale beschränkte größere Amplitudenschwankungen wieder. Diese decken sich mit den vorhandenen Kartierungen von Oberflächenfunden. Viele der unter ackerbaulicher Nutzung stehenden Fundplätze sind während und auch bereits vor dem DFG-Projekt systematisch nach Oberflächenfunden abgesucht worden. Das Fundspektrum und die Datierung der Funde ergänzen und vervollständigen die mithilfe der Geophysik gewonnenen Ergebnisse hervorragend. Zahlreiche Bohrergebnisse liefern eine Übersicht der im Untergrund vorhandenen und von der Geomagnetik erfassten Strukturen. Zusammen genommen bieten die Oberflächenfunde, die Verteilung der Anomalien im Untergrund und der Habitus der Anomalien eine gute Basis für das Verständnis und die Interpretation der Fundplätze. Werden diese Informationen er-

gänzt durch die Ergebnisse archäologischer Ausgrabungen, lässt sich der Habitus der Anomalien weit besser verstehen (vgl. Kapitel 9.3).

Die im Rahmen des DFG-Projektes ausgeführten geophysikalischen Prospektionen in dem Suzdaler Opolje haben gezeigt, wie hervorragend diese Methode in Kombination mit den archäologischen Ergebnissen eingesetzt werden kann und zu welchen außergewöhnlichen Ergebnissen sie führen kann, ohne dass ein archäologische Grabung stattfinden muss.

Teil III: Diskussion

10 Die Bohrergergebnisse

Tabelle 8 zeigt eine Auswahl der Bohrergergebnisse der vorgestellten Fundplätze. Sie soll verdeutlichen, wie erfolgreich die Pürckhauer-Sondierung bei der Klärung archäologischer Fragestellungen war. Die Auswahl der Anomalien für eine Bohrprospektion erfolgte auf allen Fundplätzen ausnahmslos durch die jeweils beteiligten Archäologen, meist in Absprache mit den Geophysikern. Da es sich größtenteils um die gleichen Bearbeiter handelt, können die gleichen objektiven Kriterien bei der Wahl der Anomalien angenommen werden. Abweichende Zahlen zu den vorgestellten Ergebnissen in den einzelnen Kapiteln rühren daher, dass in diesem Fall nur die zentralen Bohrungen aufgelistet wurden. Ergebnisse der Kontrastbohrungen fanden keine Beachtung.

Fundplatz	Kein Ergebnis	Grube	Grube/Schicht	Grube+Schicht	Grube+Stein	Schicht	Stein	Feuerstelle	Brunnen	gesamt
Wiskiauten	3/68	21/14	13/3	2/1	3	25/4	28	11	3	199
Apuolè		1	3			3				7
Grobiņa	4	6				1				11
Kernavė	4	6						3		13
Ves 5	7	15	2	1		3				28
Shekshovo	5	32/3		1		4/1				46
Karelskaya Slobodka	5	2/4				1				12

Tabelle 8: Bohrergergebnisse der verschiedenen Fundplätze. Enthält ein Feld zwei Werte, dann gibt die erste Zahl die Bohrergergebnisse mit, und die zweite solche ohne Nachweis anthropogener Tätigkeit an.

In Wiskiauten fällt die hohe Zahl an Anomalien auf, die keinen Rückschluss auf die Ursache der magnetischen Anomalie zuließen. Am zweithäufigsten ist die Kategorie „Stein“ vertreten, wodurch zwar die geomagnetische Anomalie erklärt wird, die aber meist nicht zur Klärung archäologischer Fragestellungen beiträgt. Zählt man zu den Steinen die Anteile der übrigen Kategorien hinzu, die keinen Aufschluss über eine anthropogene Anwesenheit geben, konnten weniger als die Hälfte der Bohrungen zur Lokalisierung der Siedlung von Wiskiauten beitragen. Die verbleibenden Bohrer-

gebnisse mit einem Nachweis anthropogener Beteiligung bei der Entstehung der geomagnetischen Anomalie ließen sich in einen Siedlungskontext setzen. Entnommene Holzkohleproben ermöglichten eine chronologische Differenzierung der erbohrten Befunde. Auf diese Weise ließ sich ein Datennetz aufbauen, das eine Übersicht der vorhandenen Besiedlungsphasen bot (vgl. IBSEN 2010, 343f.). Detaillierte Fragen zu Siedlungsstrukturen ließen sich mit der Methode nicht klären.

Die Bohrergebnisse auf den übrigen Fundplätzen konnten jeweils zum Verständnis und der Interpretation der Magnetikdaten in hohem Maße beitragen. Hier ist die Zahl der Bohrergebnisse, die keine Klärung der Anomalie zuließen im Verhältnis sehr viel geringer. Darüber hinaus ließen sich meist Rückschlüsse auf einen anthropogenen Einfluss bei der Entstehung der magnetischen Anomalie gewinnen. Die Zahl der Bohrungen in Kernavė und Apuolė ist zwar sehr gering, jedoch führten die Bohrergebnisse zu einem guten Verständnis der Magnetikdaten. Besonders auf den zahlreichen Fundplätzen der Suzdaler Region scheint sich die Archäologie hervorragend mit der Magnetik abbilden zu lassen. Hier ließ sich zeigen, dass die Kombination der Magnetik mit den Bohrergebnissen und ergänzt durch systematische Oberflächenbegehungen zu eindeutigen Interpretationsansätzen führen kann.

Der Hauptunterschied bei den verschiedenen Fundplätzen liegt in der Nutzungsdauer. Die Fundplätze der Suzdaler Region wurden meist für eine begrenzte Zeit aufgesucht, was sich anhand des datierbaren Fundmaterial nachweisen lässt. In der heutigen Zeit werden die Plätze zwar ackerbauartig genutzt, jedoch liegen sie meist weiter entfernt von modernen Siedlungen, so dass der Eintrag an Metallschrott gering ist. Der Fundplatz Grobiņa–Priediens II wird in heutiger Zeit durch einen Reiterhof genutzt, was sich in der hohen Zahl an Dipolen in den Flächen widerspiegelt. Auf dem Fundplatz Wiskiauten ließen sich mithilfe der C14-Methode Siedlungsspuren von der Steinzeit bis ins Hohe Mittelalter nachweisen. Zwar scheinen sich die verschiedenen Nutzungsphasen räumlich voneinander abzugrenzen, jedoch gibt es auch größere Überschneidungsbereiche (IBSEN 2010). Die chronologische Einordnung der Bohrergebnisse ist daher häufig als unsicher einzustufen und muss durch die Nutzung der C14 Datierung erfolgen. Hinzu kommt die intensive Nutzung der Flächen bis in heutige Zeit. Wie in Grobiņa macht sich dies in Form von zahlreichem Metallschrott auf den Flächen bemerkbar.

Der Einsatz eines Pürckhauer-Bohrstabs bietet somit eine schnelle und effektive Methode die geophysikalischen Messergebnisse zeitnah zu untersuchen und die Daten zu interpretieren. Die Erfahrung auf den verschiedenen Fundplätzen hat gezeigt, dass in manchen Fällen aber erst die archäologische Ausgrabung ein zufriedenstellendes Ergebnis liefert. In Kapitel 4 vorgestellte Methodenabfolge Messen - Bohren - Graben bietet demnach die Möglichkeit mit einem geringen Zeitaufwand zu beginnen und diesen mit dem Einsatz der nächsten Methode zu erhöhen, wenn die Fragestellung nicht ausreichend geklärt werden konnte.

11 Prospektionsmethoden bei verschiedenen Fundplatzkategorien

Der Ablauf einer geophysikalischen Prospektion auf archäologischen Fundstellen gestaltet sich folgendermaßen:

1. Vorinformationen: Luftbild, Begehung, Beurteilung der Fundstelle (Geologie, Bodenverhältnisse, Bebauung, etc.)
2. Planung: Wahl der Methode, Flächenabgrenzung, Auflösung der Messung
3. Durchführung: geodätische Vermessung, Einteilung der Messflächen, Abstecken von Profilen, geophysikalische Messung
4. Datenauswertung

Voraussetzungen für einen erfolgreichen Einsatz geophysikalischer Messverfahren sind nach Petzold (2005, 46f.) der Unterschied in den physikalischen Eigenschaften von Suchobjekt und Umgebung, ein günstiges Verhältnis zwischen Größe und Tiefenlage des Suchobjektes sowie geringe Störeinflüsse von technischen Anlagen oder nicht interessierenden Fremdeinlagerungen.

Die Arbeit umfasst unterschiedliche Fundplätze, die alle aufgrund von verschieden intensiver Forschungstätigkeit unterschiedliche Ergebnisse hervorgebracht haben. Bei allen Fundplätzen handelt es sich um Siedlungen, die unter verschiedenen Fragestellungen für die Untersuchung ausgewählt wurden. Dabei weisen sie ganz unterschiedliche Vorinformationen auf. Dies können Oberflächenfunde, Detektorfunde, ein bekannter Burgberg, ein bekanntes Gräberfeld oder bereits ergrabene Siedlungsstrukturen sein. Die Auswahl umfasst also Siedlungen, die bereits archäologisch durch Grabungen erfasst sind bis hin zu Siedlungen, deren Existenz gänzlich unbekannt ist, die aber aufgrund des Vorhandenseins eines Burgwalls oder eines Gräberfeldes als wahrscheinlich anzunehmen ist.

Die Fundplätze lassen sich je nach Forschungsstand in verschiedene Kategorien einteilen. Diese Kategorien klassifizieren damit u. a. die archäologischen Informationen, die über die jeweilige Siedlung bekannt sind. Je nach individueller Fragestellung lässt sich eine optimale Erkundungsstrategie erstellen.

Kategorie 1: (Siedlung in unbekanntem Raum):

- Standortfaktoren: bekanntes Gräberfeld
- Diese Kategorie umfasst Fundplätze, bei denen ein Gräberfeld bekannt. Die Siedlung befindet sich im näheren Umfeld, jedoch sind Siedlungsspuren selbst rar bis nicht vorhanden. Die genaue Lage der Siedlung oder auch deren Ausdehnung ist vor der Geophysikalischen Untersuchung nicht bekannt.
- Geophysikalische Fragestellung: Lokalisierung der Siedlung

- Bsp.: Wiskiauten
- Prospektionsmethode: großflächige Geomagnetik, Oberflächenbegehungen, Suchschnitte, Luftbilder

Kategorie 2: (Siedlung in teilweise bekanntem Raum)

- Standortfaktoren: bekannter Burgberg;
- Entgegen der Fundplätze aus Kategorie 1 ist das mögliche Siedlungsareal im Umfeld eines Burgberges geografisch stärker eingegrenzt. Einerseits ist die Siedlung räumlich stärker an einen Burgwall gebunden als an ein Gräberfeld und andererseits limitiert die Topografie eines Burgwalls mit dem Wall- und Grabensystem die Freiflächen, die als Siedlungsareal in Frage kommen.
- Geophysikalische Fragestellung: Lokalisierung der Siedlung, Klärung der inneren Struktur, Abgrenzung zum Burgwall
- Bsp.: Grobiņa, Apuolė
- Prospektionsmethode: Geomagnetik (höhere Messauflösung), Oberflächenbegehungen, Bohrcatena

Kategorie 3: (Siedlung in gut erforshtem Raum)

- Standortfaktoren: bekannter Burgberg; bekanntes Gräberfeld
- Eingrenzung der Untersuchungsfläche durch mehrere bekannte Denkmäler
- Geophysikalische Fragestellung: Lokalisierung der Siedlung, Klärung der inneren Struktur
- Bsp.: Kernavė
- Prospektionsmethode: Geomagnetik, Oberflächenbegehungen, Bohrcatena

Kategorie 4: (Siedlung in bekanntem Raum):

- Standortfaktoren: Oberflächenfunde/Detektorfunde; systematische Oberflächenbegehungen; bekannte Siedlungsgrenzen durch Fundverteilung; Grabungsergebnisse für Siedlungsobjekte liegen vor.
- Die Ausdehnung und Datierung der Fundplätze ist weitgehend bekannt
- Geophysikalische Fragestellung: Korrelation der Geomagnetik mit der Fundverteilung; Aufzeigen einer inneren Struktur, detaillierte Prospektion einzelner Anomalien
- Bsp.: Fundplätze der Suzdaler Region, Wiskiauten Fläche 21 und 22, Sorte Muld.
- Prospektionsmethode: Geomagnetik, Oberflächenbegehungen, Radar

Kategorie 5: (Erforschung eines Burgwalls)

- Standortfaktoren: sichtbares Denkmal

- Das Denkmal ist in der Landschaft sichtbar und einzelne Bereiche können gezielt untersucht werden (u. a. Wall, Innenfläche)
- Geophysikalische Fragestellung: detaillierte Untersuchung auf begrenztem Raum; Tiefe der Anomalien spielt eine wesentliche Rolle
- Bsp.: Apuolè, Grobiņa, Szurpiły.
- Prospektionsmethode: Radar (+Elektrik), Magnetik

Die Vorstellung der zahlreichen geophysikalischen Prospektionen auf den nordeuropäischen Fundplätzen hat gezeigt, dass sich je nach Beschaffenheit der Fundstellen unterschiedliche Strategien entwickeln ließen, die einzelnen Fundplätze zu untersuchen. Anhand dessen konnten die Fundplätze in verschiedene Kategorien eingeteilt werden. Ausgangspunkt der Untersuchung war der Fundplatz Wiskiauten. Ein bekanntes Gräberfeld legte die Vermutung nahe, dass es im Umfeld eine Siedlung gibt. Nach Abwägen der topografischen Begebenheiten konnte ein 2 km x 2 km großes Areal eingegrenzt werden, das als Siedlungsfläche in Frage kam. Aufgrund des schnellen Messfortschritts der Geomagnetik bot sich diese Methode an, um den Fundplatz systematisch zu untersuchen und in weiteren Arbeitsschritten detaillierter zu erforschen. Mithilfe der Magnetikdaten war es möglich, größere Anomalien zu lokalisieren und in weiteren Arbeitsschritten gezielt zu untersuchen. Dazu wurden Pürckhauer-Bohrungen zur Schnellerkundung einzelner Anomalien durchgeführt. Darüber hinaus erlaubt die Berechnung der Dichteverteilung (vgl. Kapitel 4.2.3) eine Gliederung der Messflächen in verschiedene Areale unterschiedlich intensiver Nutzung. Auf diese Weise ließ sich eine Datengrundlage schaffen, die eine gezielte archäologische Untersuchung einzelner interessanter Anomalien ermöglichte. Die detaillierte Erforschung zahlreicher Strukturen mit dem Pürckhauer-Bohrer und die Nutzung des Georadars konnte zeigen, dass die Magnetik in Wiskiauten einen Überblick über die im Boden vorhandenen Strukturen ermöglicht, im Detail betrachtet jedoch ungenaue Ergebnisse liefert (vgl. Kapitel 5.2.2.2 und 5.2.2.4). Durch äußere Störfaktoren wurde die Methode hier limitiert. Die ausbleibende Differenzierung der Tiefe und häufig der Objektart war ein deutlicher Nachteil. Der Vergleich geomagnetischer Untersuchungen auf dem Ackerhorizont und nach Abtrag des Oberbodens direkt auf der Befundschicht hat ergeben, dass die Befunde häufig zu klein sind um von der Magnetik auf der Oberfläche erfasst zu werden. Durch die Erhebung der Daten mit einer höheren Auflösung ließen sich die archäologischen Befunde sehr detailliert abbilden (vgl. Kapitel 5.3.4). Die zunehmende Verkleinerung der Prospektionsflächen haben von der Lokalisierung siedlungsrelevanter Anomalien hin zu Detailuntersuchungen geführt. Durch gezielte Bodeneingriffe zur Untersuchung einzelner Anomalien konnte der Grabungsaufwand stark minimiert werden.

Je zahlreicher die Vorinformationen zu einer Fundstelle sind, desto schneller kann mit einer detaillierten Untersuchung einzelner Ausschnitte begonnen werden. Die Ausmaße der Fundplätze der Suzdaler Region waren anhand von systematischen Oberflächenbegehungen bekannt. Hier konnte

die Magnetik eingesetzt werden, ganze Siedlungsareale zu untersuchen und dabei Fragen zu den Fundplatzgrenzen und aufgrund der günstigen Bedingungen zur inneren Gliederung einer Siedlung klären (vgl. Kapitel 9.3). Die gezielte Lokalisierung einzelner Anomalien um sie mit dem Pürckhauer-Bohrstab zu untersuchen stand im Vordergrund. Dadurch ließ sich eine umfangreiche Übersicht der zu erwartenden Strukturen schaffen. Die Datierung von Holzkohleproben aus den Bohrungen lieferte einen Abgleich mit den Oberflächenfunden. Mit der detaillierten Prospektion kleiner Ausschnitte oder einzelner Anomalien konnte schneller begonnen werden.

Noch gezielter ließ sich die geomagnetische Prospektion bei den beiden Burgwällen Apuolè und Grobiņa einsetzen. Die Denkmäler sind in der Landschaft gut sichtbar, so dass auf den Einsatz der Magnetik zur Lokalisierung verzichtet werden konnte. Georadar und Geoelektrik wurden sofort eingesetzt um detaillierte Fragestellungen z. B. die Wälle betreffend zu beantworten. Dies war besonders in Apuolè aufgrund der begrenzten Zeit von nur zwei Messtagen von Bedeutung. Der gezielte Einsatz der Prospektionsmethoden führte hier trotz der begrenzten Zeit zu einem sehr hohen Erkenntnisgewinn.

Teil IV: Zusammenfassung & Ausblick

In dieser Arbeit wurden verschiedene Analysemöglichkeiten für geophysikalische Prospektionsergebnisse vorgestellt, um die Daten bestmöglich für die Archäologie nutzen zu können. Nach einer Vorstellung der wichtigsten Prospektionsmethoden und deren Anwendung bei archäologischen Fragestellungen erfolgte die Darstellung der Entwicklung verschiedener Ansätze zur automatisierten Kategorisierung von Magnetikdaten. Die systematische Untersuchung verschiedener magnetischer Anomalien mit einem Pürckhauer-Bohrstab und die anhand der Ergebnisse durchgeführten archäologischen Ausgrabungen ermöglichten den Aufbau einer großen Datenbasis. Auf dieser Grundlage ließ sich eine statistische Auswertung der Daten durchführen.

Eine automatische Markierung der zahlreichen Anomalien in den Magnetikdaten stand dabei im Vordergrund. Mit den beiden Funktionen „Slope“ und „Fuzzy Membership“ bietet das Programm ArcGIS der Firma ESRI die Möglichkeit zur Umsetzung dieses Vorhabens. Das Werkzeug „Slope“ ermöglichte in erster Linie die Identifizierung der von Metallobjekten erzeugten Dipole. Alle übrigen Anomalien konnten unter Nutzung der Fuzzy Membership-Analyse detektiert werden.

Auf Grundlage der detektierten Anomalien ließen sich die Magnetikdaten weiter interpretieren. Die Dichteverteilung bot die Möglichkeit Bereiche verschieden hoher Aktivität voneinander zu trennen. Unter der Prämisse, dass eine erhöhte Anomaliendichte mit einem erhöhten anthropogenen Eintrag gleichzusetzen ist, ließen sich auf diese Weise unterschiedliche Aktivitätsbereiche umreißen und Fundplatzgrenzen detektieren. Die Kombination der Aktivitätszonen mit den Bohrergebnissen und den Oberflächenfunden führten zu einer inneren Gliederung eines klar begrenzten Siedlungsplatzes mit einer Interpretation zur Nutzung der verschiedenen Aktivitätsbereiche.

Ein weiterer vorgestellter Ansatz zur Interpretation der Magnetikdaten stellt die Berechnung der Korrelation einer bekannten Anomalie mit den übrigen Magnetikdaten dar. Die archäologische Interpretation einer angebohrten oder besser noch ausgegrabenen Anomalie ermöglicht die Übersetzung einer quantitativen Größe in eine historisch-kulturanthropologische Befundkategorie (ZICKGRAF 2011). Damit lässt sich eine bestimmte Befundkategorie in den übrigen Magnetikdaten eines Fundplatzes suchen. Die Aussagekraft einer solchen Interpretation konnte an den Beispielen Wiskiauten, Fläche 21B (vgl. Kapitel 5.3.4) und Kernavé (vgl. Kapitel 8) gezeigt werden. Ob die Korrelation von einzelnen Befunden auch über Fundplatzgrenzen hinaus funktioniert können zukünftige Untersuchungen zeigen.

Im zweiten Teil der Arbeit folgte die Vorstellung der Prospektionsergebnisse verschiedener Fundplätze und die Anwendung der Analysemöglichkeiten auf die Messdaten. Für die Daten aus Wiski-

auten erlaubte die räumliche Verschneidung der Bohrungen mit den detektierten Anomalien nun die statistische Auswertung der Bohrerergebnisse anhand der zugrunde liegenden Magnetikdaten. Dies ließ sich dazu nutzen, die Kategorisierung der Bohrerergebnisse anhand der geophysikalischen Messdaten zu überprüfen. Es wurde festgestellt, dass sich klare Tendenzen zur Unterscheidung der Bohrerergebnisse zeigen bei welchen das Vorkommen von gebranntem Lehm und Holzkohle möglich ist (vgl. Kapitel 5.3.1). Eine eindeutige Zuordnung aller geomagnetischen Anomalien zu einer der Kategorien ist jedoch ohne weiteres nicht möglich. Die Merkmale zur automatischen Klassifizierung müssen daher nochmals überdacht werden. Möglicherweise könnte bereits eine Zusammenlegung einzelner Kategorien eine große Verbesserung erzielen. Denkbar wäre auch die Einbeziehung weiterer Merkmale wie Form und Größe der Anomalie oder deren Magnetisierungsrichtung. Auf Grundlage der Bohrerergebnisse in Kombination mit den Suszeptibilitätsmessungen sind Modellrechnungen denkbar und würden von einer rein statistischen Betrachtung zu einer physikalisch untermauerten Strategie führen. Weitere Fundplätze folgten mit der Vorstellung der geophysikalischen Messergebnisse. Unter Einbeziehung einzelner Analyseverfahren bei der Interpretation der Daten konnten folgende unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden. Auf den Fundplätzen im Suzdaler Opolje ließen sich stellenweise bekannte Fundplatzgrenzen mit der Dichteverteilung verifizieren und ergänzen. Darüber hinaus erbrachte die Kombination dieser Dichteverteilung mit der Anomaliengröße und den Bohrerergebnissen eine Aufgliederung der Fundplätze in verschiedene Aktivitätsbereiche, deren unterschiedliche Funktionen sich stellenweise aufzeigen ließen (vgl. Kapitel 9.3).

Neben der Vorstellung der Analyseergebnisse wurden verschiedene Radarmessungen präsentiert. Deren Interpretation erfolgte anhand bestehender archäologischer Vorinformationen. Die Messergebnisse der Prospektion des Walls auf dem Burgberg von Apuolè (vgl. Kapitel 6.2.2) konnte die hervorragende Aussagekraft dieser Methode aufzeigen. In der dreidimensionalen Auflösung der Messdaten ist dabei der größte Vorteil zu sehen. Der geringe Messfortschritt der Methode erfordert die sinnvolle Einbeziehung archäologischer und geophysikalischer Vorinformationen bei der Auswahl der Prospektionsflächen.

Der zum Zeitpunkt der Messungen vorliegende archäologische Informationsstand zu den einzelnen Denkmälern konnte mithilfe der Messungen in jedem Fall um erhebliche Details erweitert werden. Die vorliegende Arbeit bietet kein 'Rezept' für die Analyse geophysikalischer Messergebnisse. Verschiedene Ansätze zur automatischen Kategorisierung konnten vorgestellt werden und möglicherweise liefert die Anpassung der vorgegebenen Parameter in Zukunft eindeutigere Ergebnisse.

Als Fazit lässt sich herausarbeiten, dass die geophysikalische Prospektion sich dazu eignet, archäologische Strukturen schnell und vor allem zerstörungsfrei zu erkunden. Jedoch erst die Analyse der Daten in Kombination mit weiteren Informationsquellen bietet den „Schlüssel“ zum Erfolg zur Untersuchung archäologischer Denkmäler.

Teil V: Anhang

12 Parameter

In diesem Kapitel werden die Parameter der einzelnen Berechnungen in ArcGIS aufgelistet.

12.1 Dichtekartierung (Tool: point density)

Wiskiauten:

Input point feature: in Mittelpunkte umgewandelte Anomalien
Population Field: NONE
Output raster:
Output cell size (optional): 5
Neighborhood (optional): Kreise; Radius: 20,00000; Einheit: Karte

Apuolè:

Input point feature: in Mittelpunkte umgewandelte Anomalien
Population Field: NONE
Output raster:
Output cell size (optional): 1
Neighborhood (optional): Kreise; Radius: 7,50000; Einheit: Karte

Ves 5:

Input point feature: in Mittelpunkte umgewandelte Anomalien
Population Field: NONE
Output raster:
Output cell size (optional): 1
Neighborhood (optional): Kreise; Radius: 20,0000; Einheit: Karte

Torki 4+5:

Input point feature: in Mittelpunkte umgewandelte Anomalien
Population Field: NONE
Output raster:
Output cell size (optional): 1
Neighborhood (optional): Kreise; Radius: 10,0000; Einheit: Karte

Shekshovo 2:

Input point feature: in Mittelpunkte umgewandelte Anomalien
Population Field: NONE
Output raster:
Output cell size (optional): 1
Neighborhood (optional): Kreise; Radius: 25,8000; Einheit: Karte

Karelskaya Slobodka 4:

Input point feature: in Mittelpunkte umgewandelte Anomalien
Population Field: NONE
Output raster:
Output cell size (optional): 1
Neighborhood (optional): Kreise; Radius: 10,0000; Einheit: Karte

12.2 Fuzzy Analyse

Input Raster: Magnetikraster
Output Raster:
Membership type (optional): MSLarge
Mittelwertsmultiplikator: 1
Standardabweichungsmultiplikator: 1
Hedge (optional): NONE

12.3 Slope Analyse

Input Raster: Magnetikraster
Output Raster:
Output measurement (optional): degree
Z factor: 1

12.4 Korrelationskoeffizient

[http://web.neuestatistik.de/inhalte_web/content/MOD_23196/html/comp_23414.html]
Das Vorzeichen bestimmt die Richtung, sein Betrag die Stärke des linearen Zusammenhangs.
0: keine Korrelation
0–0.5 schwache Korrelation
0.5–0.8: mäßige Korrelation
0.8–1: starke Korrelation
1: vollständige Korrelation

13 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Dipolfeld eines kugeligen Körpers mit zugehörigem Anomalienbild (NEUBAUER 1990).....	5
Abb. 2:	Vertikalkomponente des Eigenmagnetfeldes bei senkrecht nach unten gerichteter Magnetisierung. Für die kugelförmigen Störkörper gelten folgende Relationen: $R1 : R2 : R3 = 1 : 2 : 3$ und $M1 : M2 : M3 = 27 : 8 : 1$ (M = Magnetisierung) (LÜCK 2005, Abb. 2).....	6
Abb. 3:	Abhängigkeit der magn. Messkurve von der Tiefe des Objektes unter der Oberfläche (BREINER 1973, 18).	6
Abb. 4:	Messprinzip des Georadars (PETZOLD 2005, 51).	7
Abb. 5:	Prinzipskizze der geoelektrischen Messung. Über die Elektroden A und B wird Strom in den Boden eingespeist und zwischen den Elektroden M und N wird die Spannung gemessen (LÜCK 2005, Abb. 6).....	9
Abb. 6:	Beispiel für die Erstellung einer Pseudosektion. Jeder Kreis entspricht dem Ort, der einem scheinbaren Widerstand für eine bestimmte Auslage zugeordnet wird. Die Tiefe entspricht im Fall der Wenner-Anordnung dem Abstand a, die horizontale Lage dem Mittelpunkt des Profils (KIEFER 2000, 6, Abb. 2.1.4).....	10
Abb. 7:	Beispiel für die Verteilung der Suszeptibilitätswerte in einer Bohrung von dem Fundplatz „Torki 4+5“ (Anomalie 2) in der Suzdaler Region. Die Breite der Grube ist stilisiert dargestellt.	12
Abb. 8:	Wiskiauten: (1) Übersicht (2) Profilfoto 1; (3) Planumsfoto; (4) Profilfoto 2. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von -/+6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.....	18
Abb. 9:	Wiskiauten: (1) Geomagnetikplan: der rote Rahmen markiert die Struktur; (2) Georadar: Timeslice bei 12 ns mit Bohrerergebnissen (dunkelbraun=Ackerhorizont, blau=Stein, gelb=anstehender Boden); (3) Radargramm entlang der grünen Linie in (2) von SW nach NE; Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von -/+6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.....	19
Abb. 10:	Schnitte durch zwei geomagnetische Anomalien: oben: archäologische Grube, unten: Metallgegenstand.	21
Abb. 11:	Verschiedene Anomalientypen. Jeweils links: Magnetikdaten und rechts: Graph entlang des schwarzen Pfeils. Magnetikbild: 10 m x 10 m; Länge Graphen: Länge der schwarzen Pfeile; Unterteilung Pfeile: 1 m; Reihen 1 und 2: Eisenobjekte; Reihe 3: Steine. Magnetik: -/+6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.....	21
Abb. 12:	Verschiedene Anomalien von Gruben. Jeweils links die Magnetikdaten, mittig der Graph entlang des gelben Pfeils, rechts das archäologische Profil. Größe Magnetikbild: 10 m x 10 m; Länge Graph: Länge des gelben Pfeils; „A“ und „B“: Position der Profilnägels im archäologischen Profil; Magnetik: -/+6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.	22
Abb. 13:	Ergebnis der Slopeanalyse: grün = Bereich B: 0-86, rot = Bereich A: 86-90.	23
Abb. 14:	links: Markierung mit der Slope-Berechnung; rechts: Markierung mit dem Fuzzyfizierungsalgorithmus.....	24
Abb. 15:	Anomalie eines Metallobjekts im geomagnetischen Messbild: Die Magnetikdaten sind auf den von der Slope-Analyse markierten Bereich begrenzt (blauer Rahmen). Der Graph zeigt die gemessenen Magnetikwerte entlang des gelben Pfeils von rechts oben nach links unten.....	25
Abb. 16:	Interpretation des Korrelationskoeffizienten. y- Achsen: Ausgangsanomalie, x-Achsen: Magnetikdaten an der Position des Magnetikbildes, an der der Korrelationskoeffizient berechnet wird.	26
Abb. 17:	Arbeitsschritte der automatisierten Markierung: (1) Slopeanalyse der Magnetikdaten; (2) manuelle Überarbeitung der Slopeanalyse; (3) die durch die Slopeanalyse detektierten Anomalien sind aus den Messdaten gelöscht und die entstandenen Lücken sind durch Interpolation geschlossen; (4) Fuzzy-Membership-Analyse auf Grundlage der bereinigten Daten; Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von -/+6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.....	27
Abb. 18:	Übersicht der in dieser Arbeit vorgestellten Fundplätze (rote Punkte).....	29
Abb. 19:	Karte archäologischer Fundstellen in der Umgebung von Wiskiauten (Kleemann 1939, Abb. 1). In rot markiert ist das Gräberfeld Kaup bei Wiskiauten.	31
Abb. 20:	Wiskiauten: Übersicht der Einteilung der Magnetikdaten in einzelne Teilflächen. Bei dem Koordinatensystem handelt es sich um ein lokal angelegtes Messraster, das für die komplette Vermessung und Bearbeitung des Fundplatzes genutzt wurde.	33
Abb. 21:	Wiskiauten - Fläche A: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von -/+6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.....	34
Abb. 22:	Wiskiauten - Fläche B: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von -/+6 nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.....	36

Abb. 23: Wiskiauten - Fläche C: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.....	37
Abb. 24: Wiskiauten - Fläche D: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.....	39
Abb. 25: Wiskiauten - Fläche E und F: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.	41
Abb. 26: Wiskiauten - Fläche G: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.....	43
Abb. 27: Wiskiauten - Fläche H: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.....	44
Abb. 28: Wiskiauten - Fläche I: In blauen Farben dargestellt die Anomaliendichte pro Quadratmeter (Parameter siehe Kapitel 12.1). Im Hintergrund die Magnetikdaten. Darstellung der Magnetikdaten mit einer Dynamik von $-/+6$ nT von weiß nach schwarz in 256 Graustufen.....	45
Abb. 29: Wiskiauten - Der Phosphatgehalt des Bodens im Bereich der Magnetikfläche I als Isolindien Darstellung auf die Anomaliendichte geplottet. Der schwarze gestrichelte Rahmen gibt die Umgrenzung der errechneten Phosphatkartierung an.	46
Abb. 30: Wiskiauten: Lage der Radarflächen in den Magnetikdaten.....	47
Abb. 31: Wiskiauten: Anomalie 207, Grabungsfläche 2 (Brunnen).....	48
Abb. 32: Wiskiauten – Anomalie 207, Grabungsfläche 2: (links) Zeitscheiben von fünf verschiedenen Plana jeweils mit der Umzeichnung der Steine in dem entsprechenden Planum; (oben rechts) Umzeichnung des archäologischen Profils (mittig durch den Befund von West nach Ost, Ansicht von Süd), die Skala gibt die Tiefe unter Oberfläche an; (unten rechts) Radargramm (von West nach Ost) an der Stelle der grünen gestrichelten Linien in den Zeitscheiben links (die fünf roten Linien geben die Horizonte der Zeitscheiben an).....	49
Abb. 33: Wiskiauten – Radarfläche 2; (oben) Übersicht und Ausschnitt aus den Magnetikdaten (grüne gepunktete Linie = gräuliche Verfärbung, die sich südlich der Kaup von Ost nach West erstreckt, gelber Rahmen = Radarfläche, rote Dreiecke: Positionen der 20 Bohrungen); (mittig) Radarprofil an der Stelle der Bohrcatena (zwischen Bohrung 4 und 16) und Timeslice auf Höhe der gelben Linie im Radargramm (bei 24ns); (unten) Bohrprofile jeweils unter den roten Dreiecken, Länge einer Säule 165 cm, die rote Linie gibt die Unterkante der anthropogen beeinflussten Schichten an.....	51
Abb. 34: Wiskiauten – Radarfläche 3: (oben) Magnetikdaten; (oben rechts) Graph der Magnetikwerte entlang der blauen Linie; (unten links) Radar-Timeslice in ca. 70 cm Tiefe (gelbe Linie im Radarprofil); (unten mittig) Radarprofil entlang der roten Linie im Timeslice; (unten rechts) Bohrprotokoll der Bohrung; rotes Dreieck: Position der Bohrung; Magnetikausschnitt und Radar-Timeslice genordet.	53
Abb. 35: Wiskiauten – Radarfläche 4: (oben) Übersicht und Ausschnitt der Geomagnetikdaten (grüner Rahmen: entspricht dem Magnetikausschnitt oben rechts und dem Umriss der Radarfläche unten links, gelber gestrichelter Rahmen: Radarfläche, rote Dreiecke: Bohrungen); (oben rechts) Darstellung der Bohrprofile am Ort der jeweiligen Bohrung; (unten links) Timeslice in ca. 55 cm Tiefe (gelbe gestrichelte Linie unten rechts); (unten rechts) Radarprofil an der Stelle der gelben Linie im Timeslice (Länge der gelben Linie = 10 m).....	55
Abb. 36: Wiskiauten - Radarfläche 5: (oben) Übersicht und Ausschnitt der Geomagnetikdaten (grüner Rahmen entspricht dem Umriss der Radarfläche unten links, gelber gestrichelter Rahmen: Umriss der Radardaten, orange gestrichelte Linie: Position des Radarprofils; (unten links) Zeitscheiben in den Höhen 40 cm (oben) und 75 cm (unten), orange bzw. blaue Linie : Position des Radargramms (Länge = 15 m); (unten rechts) Radarprofil an der Stelle der orangen bzw. blauen Linie in den Zeitscheiben.....	56
Abb. 37: Wiskiauten - Radarfläche 6: grüner Rahmen: Umriss der Radarfläche links unten; unten rechts: Radarprofil an der Stelle der orangen Linie im Timeslice links unten (das Profil erfasst nur die südliche Hälfte der Radarfläche); unten mittig: Timeslice in einer Tiefe von ca. 82 cm; unten links: Timeslice in einer Tiefe von ca. 133 cm; links mittig: Bohrcatena: dunkelbraun: Ah, graubraun: Feinsand, orange: anstehender Lehm; roter Kreis: südöstliche Grenze der linearen Struktur L2.	58
Abb. 38: Wiskiauten - Radarfläche 7: (oben) Übersicht und Ausschnitt aus den Magnetikdaten, gelber Rahmen entspricht der Ausdehnung der Radarflächen; (unten links) zwei Zeitscheiben in den geschätzten Tiefen	

von 75 cm (rechts) und 125 cm (links); (unten rechts) Radarprofil an der Stelle der blauen bzw. grünen Linie im Timeslice unten links.	59
Abb. 39: Wiskiauten – Grabungsfläche 19, Foto von Planum 2.	60
Abb. 40: Wiskiauten - Radarfläche 8: (oben) Übersicht und Ausschnitt der Magnetikdaten, grüner Rahmen: Umriss der Radarfläche links, gelber gestrichelter Rahmen: Umriss Timeslice; (links) zwei Timeslices in den geschätzten Tiefen 75 cm (oben) und 120 cm (unten); (unten rechts) Radargramm an der Stelle der orangen bzw. blauen Linie in den Zeitscheiben.	61
Abb. 41: Wiskiauten - Radarfläche 9: (oben) Übersicht und Ausschnitt der Magnetikdaten, grüner Rahmen: Umriss der Radarfläche links, gelber gestrichelter Rahmen: Umriss Zeitscheiben; (unten rechts) Radarprofil an der Stelle der grünen bzw. blauen Linie im Timeslice links; (links) zwei Zeitscheiben in den geschätzten Tiefen 75 cm (oben) und 120 cm (unten); Größe der Radarfläche: 15 m x 15 m.	62
Abb. 42: Wiskiauten - Radarfläche 10: (oben) Übersicht und Ausschnitt der Magnetikdaten, grüner Rahmen: Umriss der Radarfläche links, gelber gestrichelter Rahmen: Umriss der Zeitscheiben; (links) zwei Zeitscheiben in den geschätzten Tiefen 75 cm (oben) und 150 cm (unten); (unten rechts) Radargramm an der Stelle der orangen bzw. blauen Linie in den Zeitscheiben.	63
Abb. 43: Wiskiauten - Radarfläche 11: (oben) Übersicht und Ausschnitt der Magnetikdaten, grüner Rahmen: Umriss der Radarfläche links, gelber gestrichelter Rahmen: Umriss Zeitscheibe, blauer Rahmen: Sondageschnitt; (links) Zeitscheibe in 105 cm Tiefe; (unten links) Radarprofil an der Stelle der blauen Linie im Timeslice; (unten rechts) Südprofil des von Nord nach Süd durch die Radarfläche laufenden Sondagegrabens.	65
Abb. 44: Histogramm der Flächeninhalte. Die x-Achse ist logarithmisch dargestellt.	72
Abb. 45: Wiskiauten: Lage der Ausgrabungsfläche 21.	76
Abb. 46: Wiskiauten - Ausgrabungsfläche 21 B: (links) Magnetikdaten auf dem Ackerhorizont; (rechts) Magnetikdaten nach Abtrag des Ackerhorizonts; roter Rahmen: Grabungsgrenze Fläche 21B.	77
Abb. 47: Berechnung des Korrelationskoeffizienten für fünf verschiedene Befunde in Fläche 21B; (links) Magnetikdaten in Planum1 (vgl. Abb. 46), blaue Punkte: dokumentierte Befunde, „Fl. 21B: Korrkoeff“: Ergebnis der Fuzzy-Analyse; (rechts) Profile der fünf Befunde (dunkelgraue Flächen markieren jeweils den eigentlichen Befund).	78
Abb. 48: Übersicht der geophysikalischen Untersuchungen in Apuolè: rot markiert: 2 Radarprofile + 1 Radarfläche im Bereich des Burgberges; südlich: 3,5 ha große Magnetikfläche; Hintergrundkarte: (Lamm 2009, Abb. 14); zur großräumigen Lage siehe Abb. 18.	82
Abb. 49: Apuolè: Magnetikfläche südlich des Burgberges. Die magnetischen Anomalien sind umgerechnet als Dichtekartierung. Dargestellt werden Punkte/m ² (Parameter siehe Kapitel 12.1).	84
Abb. 50: Apuolè: Schnitt durch den östlichen Wall des Burgplateaus. (1) Wallschnitt von 1931 (nach Lamm 2009, Abb. 89). (2) Elektrikprofil, ca. 20 m nördlich des Wallschnitts, in rot markiert der Umriss des Profils aus 1. (3) Radarprofil, ca. 20 m nördlich des Wallschnitts, in rot markiert der Umriss des Profils aus 1.	85
Abb. 51: Apuolè: Radarfläche im Innenbereich der Burg; (1) Timeslice 10-15 nT, Tiefe: rote Linie in (2), Raster: 10 m x 10 m; (2) Radargramm an der Stelle der roten Linie aus (1).	88
Abb. 52: Grobiņa: Übersicht über den Fundplatzkomplex; zur großräumigen Lage siehe Abb. 18.	90
Abb. 53: Grobiņa: Messfläche Priediens II: (1) unbereinigte Magnetikdaten; (2) bereinigte Magnetikdaten; zur großräumigen Lage siehe Abb. 18.	91
Abb. 54: Grobiņa: Ausschnitt der Messungen in Priediens II: (1) Höhenmodell; (2) Magnetikdaten mit den in dem Geländemodell sichtbaren Grabhügeln; grüne Kreuze: Bohrungen.	93
Abb. 55: Priediens II: Übersichtsplan des Gräberfeldes (Петренко 1987); zur großräumigen Lage siehe Abb. 18 und 52.	94
Abb. 56: Der Burgberg von Grobiņa: die fünf Bohrungen sind aus dem Jahr 2011; nahezu rechteckige Struktur in der Topografie am oberen Bildrand nördlich des Burgwalls: ein Plateau, auf dem die heute noch als Ruine erhaltene Burg des Deutschen Ordens aus dem 13. Jh. errichtet wurde (PETRENKO u. URTANS 1995, 15f.); zur großräumigen Lage siehe Abb. 18 und 52.	95
Abb. 57: Grobiņa, Burgberg: Radarmessung. (1) Radargramm an der Stelle der roten Linie in (2) und (3) mit maßstabsgetreuem Bohrprotokoll an Position der Bohrung (Anomalie 3); (2) Magnetikdaten mit eingezeichnetem Profilverlauf; (3) Timeslice in der Höhe der roten Linie in (1).	96
Abb. 58: Kernavė: Ausschnitt aus dem Fundplatz. Das insgesamt ca. 200 ha große Areal umfasst neben den fünf Burgbergen verschiedene Fundstellen unterschiedlicher Zeitstellungen. Die Lage der Fundstellen auf der Karte ist sehr ungenau und soll nur einen Eindruck vermitteln, wie intensiv die Talau zu allen Zeiten genutzt wurde. Zur großräumigen Lage siehe Abb. 18.	98

Abb. 59: Die Messfläche Kernavé 1: (1) die Magnetikdaten mit eingezeichneter Grabungsfläche und den Bohrungen, der rote Pfeil markiert den Befund 2; (2) der berechnete Korrelationskoeffizient zu dem ausgegrabenen Befund 2; kleine Bilder von links nach rechts: vergrößerter Ausschnitt der Magnetikdaten von Befund 2, Magnetikprofil entlang der roten gestrichelten Linie im Bild links, Grabungsprofil von Befund 2.	100
Abb. 60: Kernavé: Messfläche Kernavé 2: (links) Detaillierte Ansicht der Anomalien 1 (oben), 2 (mittig) und 6 (unten); die Magnetikprofile zeigen die Anomalien jeweils von N nach S geschnitten; (rechts) Übersicht der Magnetikfläche mit dargestelltem Ergebnis der Korrelation von Anomalie 1 mit den übrigen Messdaten; der rote Pfeil markiert die Position von Anomalie 1.	102
Abb. 61: Kernavé: Messfläche Kernavé 3. Der Korrelationskoeffizient zeigt das Ergebnis der Kreuzkorrelation zwischen Anomalie 1 aus Messfläche Kernavé 2 und der Messfläche Kernavé 3 (vgl. Abb. 60).	104
Abb. 62: Suzdaler Region: Frühmittelalterliches Siedlungsgefüge nach den Feldforschungen der Jahre 2001–2005 (ergänzt nach Макаров и. Федорина 2013, Abb. 2); zur großräumigen Lage siehe Abb. 18; bei dem Koordinatensystem handelt es sich um ein lokal eingerichtetes Messraster, das für die gesamte Suzdaler Region verwendet wird.	107
Abb. 63: Suzdal Opolje: Übersicht der Fundplätze, auf denen geophysikalische Prospektionen durchgeführt wurden. Die Größe der Rechtecke spiegelt in etwa die Größe der magnetisch gemessenen Flächen wieder.	108
Abb. 64: Suzdal – Ves 5: Ausschnitt aus der geomagnetischen Messfläche. Die eingezeichneten Grabungen (1–4) wurden 2004, 2006 und 2007 durchgeführt, die Magnetikmessungen erfolgten 2007 und 2009, die Radarfläche wurde 2007 vermessen. Die Anomalien wurden 2007 und 2009 angebohrt; innerhalb der Radarfläche ist die Zeitscheibe der Radarmessung aus einer Tiefen zwischen 2 ns und 6 ns abgebildet; hellgrüne Ellipsen: Fundkonzentrationen auf der Oberfläche; dunkelgrüner Streifen: moderne Feldwege.	109
Abb. 65: Suzdal – Ves 5: Profil eines Ofenbefundes. (Quelle: A. N. Fedorina, im Rahmen eine Projekttreffens des DFG Projektes 2012 gehaltener Vortrag).	110
Abb. 66: Suzdal – Ves 5: Dichte und durchschnittliche Flächengröße der mithilfe der Slopeanalyse errechneten Anomalien (Parameter siehe Kapitel 12).	111
Abb. 67: Suzdal – Ves 5: Grabungsprofil eines Befundes aus 2006 (Шполянский 2008, Рис. 5).	111
Abb. 68: Suzdal – Ves 5: oberstes Bild: Magnetikdaten; Bild 2-5: Ausschnitt aus der Radarfläche; 1 ns \pm 8 cm (alle Bilder zeigen den gleichen Ausschnitt in der Messfläche).	112
Abb. 69: Suzdal – Ves 5: (1) Geomagnetikausschnitt im Bereich Anomalie 21 (der schwarze Kreis markiert An21); (2) Georadar-Zeitscheibe auf Höhe der roten Linie in (3); (3) Bohrprotokoll von Anomalie 21; (4) Radarprofil an der Stelle der roten Linie in (2), der schwarze Rahmen markiert die Ausdehnung der schwarzen Kreise in (1) und (2).	113
Abb. 70: Suzdal – Torki 4+5: Übersicht der Magnetikfläche mit Markierung der angebohrten Anomalien.	114
Abb. 71: Suzdal – Torki 4+5: Dichte und durchschnittliche Größe der mithilfe der Slopeanalyse errechneten Anomalien (Parameter siehe Kapitel 12).	115
Abb. 72: Suzdal – Shekshovo 2: Übersicht der Magnetikfläche mit Markierung der angebohrten Anomalien.	117
Abb. 73: Suzdal – Shekshovo 2: Dichtekartierung und durchschnittliche Größe der magnetischen Anomalien jeweils in Bezug auf den Bereich zwischen zwei Isolinien (Parameter siehe Kapitel 12).	118
Abb. 74: Suzdal – Karelskaya Slobodka 4: (1) Geomagnetikbild mit angebohrten Anomalien; (2) Dichtekartierung und durchschnittliche Anomaliengröße mit Fundverteilung an der Oberfläche.	121

14 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht geophysikalischer Messmethoden in der Archäologie (PETZOLD 2005, 49 Tab.1).....	4
Tab. 2: Übersicht aller zur Verfügung stehender Geophysikdaten.....	13
Tab. 3: Wiskiauten: Übersicht der Bohrerergebnisse: Anzahl der Bohrungen pro Kategorie (vgl. Kapitel 5.2.3.1) mit einigen statistischen Werten (UOberfl. (=Unter Oberfläche)-Min./Max.: kleinster/größter Wert der oberen Schichtgrenze unter der Geländeoberkante; Mächtigg.-Min./Max.: Dicke der relevanten Schicht; Breite-Min./Max.: kleinster/größter Abstand zwischen Bohrung und Kontrast); Einheit aller Angaben: cm.	68
Tab. 4: Torki 4+5: Auflistung aller Bohrungen mit Kategorie, Menge an Holzkohle und Hüttenlehm und den Minima, Maxima und Mittelwerten der Suszeptibilitätswerte (Einheit SI).....	71
Tab. 5: Wiskiauten: Alle mit der Slope- und Fuzzy-Analyse markierten Polygone.	72
Tab. 6: Wiskiauten: Übersicht charakteristischer Statistikwerte basierend auf der Menge aller von den Polygonen einer Kategorie eingeschlossenen geomagnetischen Messwerte (Magn. Werte) einer der jeweiligen Kategorien. Min Min/Min Max/Min Mean = kleinster/größter/mittlerer Wert der jeweils unteren Messwerte einer Kategorie; Max Min/Max Max/Max Mean = kleinster/größter/mittlerer Wert der jeweils oberen Messwerte einer Kategorie; Mean Min/Mean Max/Mean Mean = kleinster/größter/mittlerer Wert der jeweiligen Mittelwerte der Messwerte einer Kategorie; Range Min/Range Max/Range Mean = kleinster/größter/mittlere Wert der jeweiligen Spannweite der Messwerte einer Kategorie; Polyg.-Fläche Max/Polyg.-Fläche Mean = die größte Fläche und der Mittelwert der Flächen aller Polygone einer Kategorie.	73
Tab. 7: Wiskiauten: Auswahl der automatisiert markierten Anomalien. Die Tabelle enthält Polygone, die sich mithilfe des für die Bohrerergebnisse errechneten Korrelationskoeffizienten einer Kategorie zuordnen lassen.....	79
Tab. 8: Bohrerergebnisse der verschiedenen Fundplätze. Enthält ein Feld zwei Werte, dann gibt die erste Zahl die Bohrerergebnisse mit, und die zweite solche ohne Nachweis anthropogener Tätigkeit an.	125

15 Danksagung

Bedanken möchte ich in erster Linie bei Prof. Dr. Claus v. Carnap-Bornheim, der mir jeder Zeit mit Rat zur Seite stand, viele wertvolle Ideen hatte, mir aber auch die Freiheit ließ, eigene Ideen zu entwickeln und diese umzusetzen. Des weiteren möchte ich Prof. Dr. Wolfgang Rabbel danken, der mir gerade in der Endphase der Arbeit viele wichtige Hinweise gab, und die Arbeit dankenswerter Weise als Zweitgutachter betreute. Den zahlreichen Arbeitskolleginnen und -kollegen in Schleswig danke ich für die vielen Diskussionen und Hilfestellungen, die sie mir geleistet haben. Danke an Ruth, Sven, Jaroslav, Agatha, Aikaterini, Tereza, Nina, Andreas, Stefi, Julia und viele mehr. Besonderer Dank gilt dabei Timo, der in unserem Büro stets für ein angenehmes Arbeitsumfeld sorgte und mir in jeder Situation ein toller Kollege und guter Freund war und ist. In diesem Zuge möchte ich mich auch bei den vielen Geophysikern der CAU Kiel bedanken, ohne deren unermüdlichen Einsatz die große Datenmenge, die dieser Arbeit zugrunde liegt gar nicht zustande gekommen wäre. Mein besonderer Dank gilt dabei Harald Stümpel und Christina Klein für die wunderbaren Messfahrten, die wir zusammen unternommen haben und natürlich den vielen Studenten, die mitgefahren sind. Weiterhin möchte ich mich bei Tina Wunderlich bedanken für die Bereitstellung eines Programms zur Berechnung der Kreuzkorrelation, ohne das ein Teil der Arbeit gar nicht möglich gewesen wäre.

Den zahlreichen Freunden, die mich während der Promotion begleitet haben, gilt ein herzlicher Dank. Ohne sie wären die letzten Jahre nicht so schön und abwechslungsreich gewesen. Bei ihnen habe ich immer ein offenes Ohr gefunden, wenn die Arbeit mal ins Stocken geriet. Sie haben es immer wieder geschafft, mich zu motivieren und waren jederzeit mit Ratschlägen zu Stelle. Danke an Annette, Johanne, Kathi, Denis, Carmen, Anita, Annika und Mathias. Besonders danken möchte ich Anna, die viel zu meinem Verständnis von Statistik beigetragen hat und unermüdlich alles korrigiert hat, was ich ihr vorgelegt habe. Auch den übrigen Korrekturlesern danke ich zutiefst. Danke an Nina, Ruth und Timo.

Und natürlich gilt meinen Eltern ein besonderer Dank. Ohne sie wäre all das sowieso nicht möglich gewesen. Vielen Dank!

16 Literaturverzeichnis

16.1 Quellenangaben

(VITA 1828)

Vita sancti Anscharii per s. Rimbertum. Scriptores rerum Svecicarum II. Uppsala 1828.

16.2 Abkürzungen

VIAA – LU Latvian Institute of History, Archive, Riga.

ZASM – Zinātniskās atskaites sesijas materiāli par arheologu, antropologu un etnogrāfu darbu ... gada pētījumu rezultātiem. Rīga: Zinītnē, 1972-1998.

16.3 Literatur

(BATAYNEH 2011)

A. T. BATAYNEH, Archaeogeophysics - archaeological prospection - A Mini review. Journal of King Saud University (Science) 23, 2011, 83-89.

(BAUBONIS u. ZABIELA 2005)

Z. BAUBONIS/G. ZABIELA, Lietuvos piliakalių Atlasas I, I-III (Vilnius 2005).

(BENECH u. HESSE 2007)

C. BENECH/A. HESSE, Some Considerations on the Integration of Geophysical Data into Archaeological Research. In: M. POSSELT/B. ZICKGRAF/C. DOBIAT (Hrsg.), Geophysik und Ausgrabung; Einsatz und Auswertung zerstörungsfreier Prospektion in der Archäologie (Rahden/Westf 2007)

(BENESCH 2013)

T. BENESCH, Schlüsselkonzepte zur Statistik (Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013).

(BEWERSDORFF 2011)

J. BEWERSDORFF, Statistik - wie und warum sie funktioniert (Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011).

(BREINER 1973)

S. BREINER, Applications Manual for Portable Magnetometers (Sunnyvale 1973).

(BURROUGH u. MCDONNELL 2006)

P. A. BURROUGH/R. MCDONNELL, Principles of geographical information systems. Spatial information systems and geostatistics Reprinted with corrections (Oxford 2006).

(VON CARNAP-BORNHEIM u. HILBERG 2008)

C. VON CARNAP-BORNHEIM/V. HILBERG, Recent archaeological research in Haithabu. In: J. HENNING (Hrsg.), Post-Roman Towns - trade and settlement in Europe and Byzantium 1. The heirs of the Roman west Vol. 1 (Berlin, New York 2008) 199-218.

(CONYERS 2004)

L. B. CONYERS, Ground Penetrating Radar for Archaeology (Oxford 2004).

(DEARING 1994)

J. A. DEARING, Environmental magnetic susceptibility : using the Bartington MS2 system (Kenilworth 1994).

(DEARING 1999)

J. A. DEARING, Environmental magnetic susceptibility : using the Bartington MS2 system² (Kenilworth 1999).

(DOBAT 2010)

A. S. DOBAT, Füsing - Ein frühmittelalterlicher Zentralplatz im Umfeld von Haithabu/Schleswig, Bericht über die Ergebnisse der Prospektionen 2003-2005. In: C. v. CARNAP-BORNHEIM (Hrsg.), Die Ausgrabungen in Haithabu 16 (Neumünster 2010) 131-256.

(ENGEL 26. Juni 1932)

C. ENGEL, Spätheidnische Reitergräber auf dem Wikingerfriedhof in der Kaup bei Cranz. Unsere Heimat. Organ des Ostdeutschen Heimatdienstes und der Heimatvereine in Ost- und Westpreußen. Mitteilungsblatt des Reichsverbandes der heimattreuen Ost- und Westpreußen 12 (Allenstein 26. Juni 1932).

(ENGEL 1935)

C. ENGEL, Aus Ostpreußischer Vorzeit (Königsberg 1935).

(ESRI 2013)

ESRI, Funktionsweise des Werkzeugs "Fuzzy Membership", <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#//009z000000rz000000>, 9.12.2013.

(FASSBINDER 2007)

J. W. E. FASSBINDER, Unter Acker und Wadi: Magnetometer in der Archäologie. In: G. A. WAGNER (Hrsg.), Einführung in die Archäometrie (Berlin 2007) 53-73.

(FEDORINA u. a. 2008)

A. N. FEDORINA/A. M. KRASNIKOVA/S. V. MESNJAKINA, Localisatija i issledovanie schilych i chozjaistvennych sooruschenij na selischtschach Ves 5 i Shekshovo 2 s ispolzovaniem metodov geojisiki i archeologij. In: N. A. MAKAROV/S. SHPOLYANSKY (Hrsg.), Archeologija Vladimiro-Suzdal - skoi zemli: Mat. nauch. seminar (Moskva 2008) 56-66.

(GLAZOV 1968)

V. P. GLAZOV, Archeologičeskie razvedki Suzdal'skogo rajona 1968 goda. Archiv IA RAN. R-1, Nr. 4113. (Moskau 1968).

(HARTSCH u. BÖHME 1998)

K. HARTSCH/A. BÖHME, Geomagnetische Vermessung ausgewählter archäologischer Kulturdenkmäler. In: Unsichtbares sichtbar machen; Geophysikalische Propektionsmethoden in der Archäologie; Kolloquium vom 27. Oktober 1994 in Leipzig (Leipzig 1998)

(HAUPTMANN u. PINGEL 2008)

A. HAUPTMANN/V. PINGEL, Archäometrie, Methoden und Anwendungsbeispiele naturwissenschaftlicher Verfahren in der Archäologie (Stuttgart 2008).

(HERRMAN 1985)

J. HERRMAN, Hofverband und Handwerksproduktion als Grundlage des frühmittelalterlichen Handels im Ostseegebiet. In: S.-O. LINDQUIST (Hrsg.), *Society and Trade in the Baltic during the Viking age*. Acta Visbyensia 7 (Visby 1985) 55-62.

(IBSEN 2008a)

T. IBSEN, Siedlungsarchäologische Forschungen zum wikingerzeitlichen Fundplatz von Wiskiauten/Mohovoe im Kaliningrader Gebiet. Archäologisches Nachrichtenblatt 13/1, 2008a, 12-21.

(IBSEN 2008b)

T. IBSEN, Wiskiauten/Mohovoe im Kaliningrader Gebiet VI - Unveröffentlichter Kurzbericht der Untersuchungen 2008 im Archiv des ALM (Schleswig 2008b).

(IBSEN 2010)

T. IBSEN, "Etwa hier die Siedlung". Der frühmittelalterliche Fundplatz Wiskiauten/Mohovoe im Kaliningrader Gebiet im Lichte alter Dokumente und neuer Forschungen (Kiel 2010).

(IBSEN 2012)

T. IBSEN, Bericht der Feldforschungskampagne im Oktober 2012 in Grobina in Lettland. Unveröffentlichter Bericht (ZBSA, Schleswig 2012).

(IBSEN u. FRENZEL 2008)

T. IBSEN/J. FRENZEL, Siedlungsarchäologische Forschungen zum frühmittelalterlichen Fundplatz Wiskiauten/Mohovoe im Kaliningrader Gebiet VI - Abschlussbericht der Untersuchungen 2008. Unveröffentlichter Bericht (ZBSA, Schleswig 2008).

(JONES 2008)

G. JONES, Geopgysical mapping of historic cemeteries. Technical Briefs in Historical Archaeology 3, 2008, 25-38.

(KIEFER 2000)

M. KIEFER, Geoelektrische Charakterisierung von Tonformationen (2000).

(KLEEMANN 1939)

O. KLEEMANN, Die vorgeschichtlichen Funde bei Cranz und die Siedlung von Wiskiauten. Prussia 33, 1939, 201-225.

(KULAKOV 2005)

V. KULAKOV, Die wikingerzeitliche Siedlung und das Gräberfeld Kaup bei Wiskiauten. Bericht über die Ausgrabungen der 1956-2004. Offa 59/60, 2005, 55-78.

(LAMM 2009)

J. P. LAMM, Apuolė, Ausgrabungen und Funde 1928-1932 (Klaipėda 2009).

(LAPŠIN 1985)

V. A. LAPŠIN, Naselenie central'nogo rajona Rostov-Suzdal'skoj zemli X-XIII vv. (po archeologičeskim dannym). Avtoref. Diss. Kand. Ist. Nauk (Leningrad 1985).

(LAPŠIN 2002)

V. A. LAPŠIN, Severo-Vostočnoj Rusi v IX-XI vv. v svete novych archeologičeskich materialov. Staraja Ladoga i problemy archeologii Severnoj Rusi (Sankt Petersburg 2002).

(LECKEBUSCH 2001)

J. LECKEBUSCH, Die Anwendung des Bodenradars (GPR) in der archäologischen Prospektion: 3D-Visualisierung und Interpretation (Rahden/Westf. 2001).

(LORRA 1996)

S. LORRA, Geophysikalische Prospektion und Modellierung archäologischer Fundplätze in Schleswig-Holstein. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie (Bonn 1996).

(LORRA u. a. 2002)

S. LORRA/S. KROLL/D. THOMSEN, Geophysical Investigations at the Uppåkra Site (Schweden). Acta archaeologica Lundensia Series in 8, n°36, 2002, 41-58.

(LORRA u. a. 1998)

S. LORRA/H. STÜMPEL/M. GRÄBER/D. THOMSEN/M. PANITZKI, Kombiniertes Einsatz hochauflösender geophysikalischer Verfahren (Georadar, Geoelektrik und Geomagnetik) in der archäologischen Prospektion. In: Unsichtbares sichtbar machen; Geophysikalische Prospektionsmethoden in der Archäologie; Kolloquium vom 27. Oktober 1994 in Leipzig (Leipzig 1998)

(LÜCK 2005)

E. LÜCK, Der Einsatz von Geomagnetik und Geoelektrik in der Archäologie. In: W. DE BRYN (Hrsg.), Georadar und andere zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden von Bodendenkmälern (Storkow (Mark) 2005)

(MAKAROV u. FEDORINA 2013)

N. A. MAKAROV/A. N. FEDORINA, Suzdalskaja semlja v. IX-XI bb.: rasselenije, Kultura i baltiiskije sviasi. In: N. A. MAKAROV/A. N. MASTYKOVA/A. N. KHOKHLOV (Hrsg.), Archaeology of the Baltic (Moskau - Sankt-Petersburg 2013) 223-240.

(MAKAROV u. a. 2011)

N. A. MAKAROV/A. N. FEDORINA/G. I. ZAITSEVA/P. M. GROOTS, Radiocarbon dates for sites in Suzdal Opolye (Early Iron Age to the Middle Ages). Rossijskaja Archeologija No 4, 2011, 35-51.

(MAKAROV u. a. 2010)

N. A. MAKAROV/S. ZAKHAROV/S. SHPOLYANSKY, O datirovki srednevekovogo poselenija Ves 5 pod Suzdalem (On the chronology of Ves 5 dwelling site in the vicinities of Suzdal). In: D. BULANIN (Hrsg.), Dialog kul'tur i narodov srednevekovoj Evropy (Sankt-Peterburg (Russland) 2010)

(MILITZER 1984)

H. MILITZER, Angewandte Magnetik. In: H. MILITZER/R. SCHEIBE/W. SEIBERL (Hrsg.), Angewandte Geophysik: Gravimetrie und Magnetik (Berlin 1984) 127-189.

(MITTAG 2012)

H.-J. MITTAG, Statistik - Eine interaktive Einführung (Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012).

(VON ZUR MÜHLEN 1975)

B. VON ZUR MÜHLEN, Die Kultur der Wikinger in Ostpreußen. Bonner Hefte für Vorgeschichte 9 (Bonn 1975).

(MULLINS 1977)

C. E. MULLINS, Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science - a review. European Journal of Soil Science 28, 2, 1977, 223-246.

(NEUBAUER 1990)

W. NEUBAUER, Geophysikalische Prospektion in der Archäologie. Mitteilungen der anthropologischen Gesellschaft in Wien 120, 1990, 1-60.

(NEUBAUER 2001)

W. NEUBAUER, Magnetische Prospektion in der Archäologie. Mitt. Präh. Kom. 44 (Wien 2001).

(PATZELT u. a. 1998)

A. E. PATZELT/B. GREINER/M. WALDHÖR, Kombiniertes Einsatz geophysikalischer Meßmethoden zur Auffindung von Einzelobjekten im Umfeld einer frühbronzezeitlichen Fundstelle. In: Unsichtbares sichtbar machen; Geophysikalische Propektionsmethoden in der Archäologie; Kolloquium vom 27. Oktober 1994 in Leipzig 1998)

(PETRENKO 1987)

V. PETRENKO, Otschet o Rabotak Kursemskoj ekspeditsii v 1987 g. - VIAA 623 (Institut für die Geschichte Lettlands der Universität Lettland, 1987).

(PETRENKO 1990)

V. PETRENKO, Izrakumi Grobiņa. In: ZASM 1988-1989 (Riga: Zināme 1990) 120-125.

(PETRENKO u. URTANS 1995)

V. PETRENKO/J. URTANS, The Archaeological Monument of Grobiņa (Riga - Stockholm 1995).

(PETZOLD 2005)

H. PETZOLD, Geophysikalische Untersuchungsmethoden in der Archäologie - Übersicht und Beispiele zum Georadar. In: W. D. BRYN (Hrsg.), Georadar und andere zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden von Bodendenkmälern (Storkow (Mark) 2005)

(REINHOLD u. PETZOLD 2005)

S. REINHOLD/H. PETZOLD, Archäologische Untersuchungen und Georadarmessungen auf der Burg Storkow, Landkreis Oder-Spree. In: W. D. BRYN (Hrsg.), Georadar und andere zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden von Bodendenkmälern (Storkow (Mark) 2005)

(RIMBERT 1986)

RIMBERT, Anskars levnad, translated by Eva Odelman (Stockholm 1986).

(SCOLLAR 1990)

I. SCOLLAR, Archaeological Prospecting and remote sensing (Cambridge 1990).

(SEDOVA 1997)

M. V. SEDOVA, Suzdal v X-XV vv (Moskau 1997).

(SHPOLYANSKY 2008)

S. SHPOLYANSKY, Konstrkzii podpolij srednevekovich postoek v Suzdale i ego okruge. In: N. A. MAKAROV/S. SHPOLYANSKY (Hrsg.), Archeologija Vladimiro-Suzdal - skoi zemli: Mat. nauch. seminar (Moskva 2008) 56-66.

(SILVERMAN 1986)

B. W. SILVERMAN, Density estimation for statistics and data analysis (London 1986).

(SMEKALOVA u. a. 2008)

T. R. SMEKALOVA/O. VOSS/S. L. SMEKALOV, Magnetic Surveying in Archaeology (Wormianum 2008).

(STEUER 1999)

H. STEUER, Stichwort "Grobin". In: RGA13 (1999) 60-62.

(STÜMPEL u. ERKUL 2009)

H. STÜMPEL/E. ERKUL, Geophysikalische Prospektion auf der Borgsumburg. In: M. SEGSCHNEIDER (Hrsg.), Ringwälle und verwandte Strukturen des ersten Jahrtausends n. Chr. an Nord- und Ostsee (Neumünster 2009)

(TIPPER 2004)

J. TIPPER, The Grubenhaus in Anglo-Saxon England. An analysis and interpretation of the evidence from a most distinctive building type (Yedingham 2004).

(TUMMUSCHEIT 2011)

A. TUMMUSCHEIT, Die Baubefunde des frühmittelalterlichen Seehandelsplatzes von Groß Strömkendorf, Lkr. Nordwestmecklenburg. Mit 11 Tabellen (Reichert 2011).

(UVAROV 1871)

A. S. UVAROV, Merjane i ich byt po kurgannym raskopkam. Trudy I. Archeologičeskogo s'ezda v Moskve v 1869 g Bd. 1 (Moskau 1871).

(VADIŠIS u. a. 2005)

S. VADIŠIS/A. JONIKIENĒ/J. VITKŪNAS, Valstybinis Kernavės Kultūrinis Rezervatas (Kernavė 2005).

(VIRSE u. RITUMS 2012a)

I. VIRSE/R. RITUMS, The Grobiņa complex of dwelling locations and burial sites, and related questions. Archaeologia Baltica 17, 2012a, 31-39.

(VIRSE u. RITUMS 2012b)

I. L. VIRSE/R. RITUMS, Geophysical research and survey of monuments in Grobiņa and Grobiņa region in 2010-2011. In: V. BĒRZIŅŠ/G. GERHARDS/U. KEALĒJS/J. URTĀNS/A. VASKS/A. VILCĀNE/I. L. VIRSE (Hrsg.), Archeologu Pētījumi Latvijā 2010.–2011. Gadā (Riga 2012b) 67-68.

(WAGNER 2007)

G. A. WAGNER (Hrsg.), Einführung in die Archäometrie (Berlin [u.a.] 2007).

(WOLFMAN 1984)

D. WOLFMAN, Geomagnetic dating methods in archaeology. Advances in Archaeological Method and Theory 7, 1984, 363-458.

(WULFF 1865)

WULFF, [VORNAME UNBEKANNT], Bericht über die Aufedckung altpreußischer Begräbnisstätten bei dem zum Gute Bledau gehörigen Vorwerke Wiskiauten im Samlande. Altpr. Monatsschr. 2, 1865, 641-646.

(WUNDERLICH 2008)

T. WUNDERLICH, Anwendung von Potentialmethoden zur Verbesserung des Nutzsignals und der Interpretation magnetischer Feldmessungen in der Archäometrie - Diplomarbeit (Kiel 2008).

(ZICKGRAF 2011)

B. ZICKGRAF, Archäologische Prospektion - Potential und Grenzen. In: JOHANNES GUTENBERG-UNIVERSITÄT MAINZ (Hrsg.), Archäologische Prospektion - Potential und Perspektiven (Mainz 2011)

Erklärung:

Hiermit bestätige ich,

1. dass die Abhandlung – abgesehen von der Beratung durch die Betreuer - nach Inhalt und Form meine eigene Arbeit ist,
2. dass die vorliegende Arbeit weder in gleicher noch ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zuvor vorgelegen hat und
3. dass diese Arbeit unter Einhaltung der Regeln guter wissenschaftlicher Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft entstanden ist.

Kiel, Dezember 2014

Johannes Richard Frenzel

Inhaltsverzeichnis der CD

- Ordner "**BohrprotokollePDFs**":
 - Alle dokumentierten Bohrprotokolle der in der Arbeit behandelten Fundplätze. Eine Datei pro Fundplatz.
- Ordner "**BohrungenTabellen**":
 - ApuoleBohrungen.xlsx: Die Bohrungen aus Apuolè mit Auflistung der Befundkategorien
 - GrobinaPriediens.xlsx: Die Bohrungen aus Priediens mit Auflistung der Befundkategorien
 - KernaveBohrungen.xlsx: Die Bohrungen aus Kernave mit Auflistung der Befundkategorien
 - Ves5_Bohrungen.xlsx: Die Bohrungen aus Ves5 mit Auflistung der Befundkategorien
 - Wiskiauten_Bohrungen.xls: Die Bohrungen aus Wiskiauten mit Auflistung der Befundkategorien
- Ordner "**Magnetikbilder**":
 - die Magnetikbilder der verschiedenen Fundplätze
- Ordner "**Radarbilder_Elektrik**"
 - die Radar- und Elektrikbilder der verschiedenen Fundplätze
- Ordner "**SuszeptibilitätswerteTabellen**":
 - Tarbaevo_SuszAll.xls: Auflistung aller gemessenen Suszeptibilitätswerte in den Bohrungen von Tarbaevo
 - Torki4+5_SuszAll.xls: Auflistung aller gemessenen Suszeptibilitätswerte in den Bohrungen von Torki4+5
- **Texttabelle4_vollstaendig**.xlsx: Komplette TextTabelle 4
- **Texttabelle6_vollstaendig**.xlsx: Komplette TextTabelle 6
- **Texttabelle6_Einzelwerte**.xlsx: alle Datensätze die in Tabelle 6 zusammengefasst wurden
- **Texttabelle7_Einzelwerte**.xlsx: alle Datensätze die in Tabelle 7 zusammengefasst wurden
- Ordner "**weitere Bohrergergebnisse**":
 - die Bohrergergebnisse weiterer Fundplätze, die in dieser Arbeit nicht behandelt wurden