



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Anwendung von geomagnetischen Methoden in der
Archäologie – am Beispiel ‚Alte Kaisermühlen‘“

Verfasserin

Jutta Rasel

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 416

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Geophysik

Betreuerin / Betreuer:

ao. Univ.-Prof. Dr. Bruno Meurers

Danksagung

Zur Entstehung meiner Diplomarbeit haben mehrere Personen durch ihre Unterstützung beigetragen, denen ich an dieser Stelle meinen Dank ausdrücken möchte.

Zunächst bedanke ich mich bei Herrn Dr. Andreas Ahl für die Vermittlung des Projekts und die Unterstützung im Zuge der Auswertungen, sowie bei Herrn ao. Univ.-Prof. Dr. Bruno Meurers für die Übernahme des Themas und die Beratung während der Bearbeitung.

Des Weiteren gilt mein Dank Mag. Cyril Dworsky von TRITON für das mir entgegengebrachte Vertrauen ebenso wie für die Geduld.

Den Mitarbeitern der Geologischen Bundesanstalt danke ich für die Zurverfügungstellung der Gerätschaften. In diesem Zusammenhang richte ich auch ein Dankeschön an Herrn ao. Univ.-Prof. Dr. phil. Robert Scholger von der Montanuniversität Leoben für die spontane Aushilfe mit zwei Magnetometern.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn DI Wolfgang Steinhauser sowie Herrn Univ.-Prof. i. R. Dr. Peter Steinhauser für ihr Verständnis und ihre Unterstützung bedanken.

Im Besonderen gilt mein Dank meinen beiden Kolleginnen Anna Zöchbauer und Stefanie Gruber (geb. Kauer) für ihre tatkräftige Unterstützung, ohne die eine Messdurchführung nicht möglich gewesen wäre. Zusätzlich an beide ein herzliches Dankeschön für die gemeinsame Studienzeit.

Dank gebührt an dieser Stelle ebenso meinen Eltern im Allgemeinen für die Unterstützung während meiner Studienzeit sowie im Speziellen meiner Mutter Sabine Rasel für das Lektorieren meiner Diplomarbeit.

Zu guter Letzt möchte ich mich ebenso bei meinem Lebensgefährten Markus Angermann und meiner guten Freundin Carina Göschl für die verständnisvolle und geduldige Unterstützung, wie auch konstruktive Kritik sehr bedanken.

Kurzfassung

Bis zur Wiener Donauregulierung im späten 19. Jahrhunderts leistete ein Dampfschiffahrtshafen einen enormen Beitrag zum wirtschaftlichen Reichtum des heutigen Bezirks Alte Kaisermühlen. Regelmäßige Überflutungen führten allerdings zur Notwendigkeit einer Verlegung der Hauptschifffahrtsroute in den Westen. Mit der Konstruktion des neuen Kanals verschwanden jedoch der Hafen und die flussgebundenen Handwerksbetriebe.

Im Jahr 2008 initiierte die Österreichische Gesellschaft für Feuchtboden- und Unterwasserarchäologie TRITON eine Prospektionskampagne rund um das relativ schlecht dokumentierte ehemalige Hafengebiet. Bereits zu Beginn lag der Fokus dieses Projekts auf möglichen Testläufen üblicher geophysikalischer Messmethoden im Kontext unterwasserarchäologischer Fragestellungen. Daher begann TRITON die Kampagne mit der Gewinnung von Tiefeninformationen mittels Side-Scan-Sonar. Als Ergebnis dieser Bemühungen ergab sich das akustische Bild einer Grabenstruktur. Bevor nun weitere Untersuchungsmaßnahmen – wie das Abteufen von Gefrierbohrungen – getroffen werden konnten, war im Hinblick auf den geschichtlichen Hintergrund des Gebiets die Erstellung eines Magnetikprofils über den Graben hinweg unabdingbar. Daher beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit den Planungs-, Messungs- und Datenbearbeitungsprozessen einer magnetischen Prospektionskampagne zur Abdeckung zumindest eines kleinen Teils der entdeckten Struktur. Die Hauptaufgabe dieser Magnetikmessung lag in der Identifikation noch nicht explodierter Sprengsätze, welche gelegentlich im Kanal der Alten Donau aufgefunden werden. Diese Überreste aus dem Zweiten Weltkrieg sind meist noch funktionstüchtig und stellen somit ein Gefahrenpotential für weitere Untersuchungsmaßnahmen dar. Des Weiteren war im Zuge der Nachforschungen die Anwendbarkeit von magnetischen Totalfeldmessungen mittels Protonenpräzessionsmagnetometern für unter Wasser liegende Gebiete von archäologischem Interesse zu erörtern.

Um den durch die Registrierung des Magnetfeldes über geflutetes Gebiet hinweg gestellten Anforderungen gerecht zu werden, wurde im Zuge der vorliegenden Diplomarbeit ein spezielles Holzgestell entwickelt und in seinen Modifikationen erfolgreich getestet. Zur Messabdeckung von Flachgewässern lässt sich die Konstruktion problemlos auf den Rücken schnallen, wie es bei den Testmessungen in 2009 der Fall war. Bei der Prospektion größerer Tiefen – wie im Zuge der Hauptmessungen in 2011 – kann das Holzgestell auf einem aufblasbaren Schlauchboot installiert werden.

Die Analyse der im städtischen Gebiet gewonnenen Daten stellte zusätzliche Herausforderungen an den Interpretationsprozess. So wurde der Vergleich von simulierten Anomalien, Tiefenprofilen und logisch aufgearbeiteter Daten notwendiger Bestandteil des Data Processings.

Die Ergebnisse dieser Bemühungen zeigen sowohl einen deutlichen magnetischen West-Ost-Trend, wie auch den möglichen Fundort eines Störkörpers. Letztgenanntem sollte im Fall weiterer Untersuchungen besondere Beachtung geschenkt werden.

Im Zuge der Kampagne war es jedoch nicht möglich, mit den verwendeten Geräten die Grabenstruktur oder kleinere Artefakte von möglicherweise archäologischem Interesse darzustellen.

Abstract

Until the Viennese Danube regulations in the late 19th century, a steamboat harbour contributed to the economical prosperity of the district nowadays known as Alte Kaisermühlen. Continuous floods led to the necessity of moving the main shipping route westward. With the construction of the new channel, that harbour disappeared along with the river-linked craft enterprises.

In 2008 the Austrian Society of Underwater Archaeology TRITON initiated a prospection campaign around the poorly documented former harbour area. Right from the beginning the focus of that project lay on testing commonly used geophysical methods in the context of submarine archaeology. Hence the campaign began with the collection of depth information using Side-Scan-Sonar. As a result of these endeavours the acoustic image of a trench structure was produced. In regard to the area's historical background, further investigations – including the possibility of drilling – required a magnetic profile across the discovered trench. Therefore this thesis concerns itself with a magnetic prospection campaign covering a small part of that structure, including planning and measuring processes along with data processing. The main objective of the magnetic measurement was to identify possible unexploded ordinances, which can be regularly found within the Old Danube area. Being still functional, those leftovers of World War II could endanger further investigative efforts. Besides of that, the applicability of total field magnetic measurements using simple proton precession magnetometers on underwater archaeological sites became another aim of this thesis's research.

In order to meet the challenges which accompany the registration of magnetic fields over a flooded area, a special wooden construction was designed and its modifications successfully tested. Covering shoal areas, the contraption could be mounted on the back – as done in the course of test measurements in 2009 – or installed on an inflatable boat – as demonstrated during the main measurements in 2011.

Analysing data collected within an urban area set another challenge to the interpretation process. Hence the data processing required also the comparison of simulated anomalies, bathymetry and logical refurbished data.

The results of these endeavours showed both a clear magnetic west-to-east-trend as well as one possible location of an anomaly mass, which requires attention before proceeding with further investigations.

However, in the course of the campaign it was not possible to image the trench structure nor locate small objects of archaeological interest using the available equipment.

Inhaltsverzeichnis

1	Projekt „Dampfschiffahrtshafen – Alte Kaisermühlen“	1
2	Geophysikalischer Hintergrund	3
2.1	Geophysik in der Archäologie allgemein	3
2.2	Geophysik in der Unterwasserarchäologie	4
2.3	Geophysik in der UXO-Exploration allgemein	5
2.4	Geophysik in der submarinen UXO-Exploration	7
2.5	Geophysikalische Messmethoden	8
2.5.1	Theoretische Grundlagen der Magnetikmessung	11
2.5.2	Magnetik in der Praxis	14
3	Prospektionsgebiet „Alte Kaisermühlen“	17
3.1	Geologie „Alte Donau“	17
3.2	Sonarmessung TRITON 2008	18
3.3	Historie der „Alten Donau“	20
3.3.1	Die Schiffsmühlen	20
3.3.2	Die Hafenanlage	20
3.3.3	Das Gänsehäufel-Strandbad	23
3.4	Simulation möglicher Anomalien	24
3.4.1	Simulationstheorie	24
3.4.2	Simulationsergebnisse	27
3.5	Messkampagne „Alte Kaisermühlen“	34
3.5.1	Planung	34
3.5.2	Durchführung	43
4	Auswertung und Interpretation	47
4.1	Rohdaten	47
4.1.1	Basisstation	47
4.1.2	Profildaten	52
4.2	Datenkorrektur	54
4.3	Fazit	65
5	Zusammenfassung und Diskussion	67
6	Anhang	69
6.1	TRITON-Information	69
6.2	Historie „Alte Kaisermühlen“	70
6.3	Ergänzungen zur Messplanung	70
6.4	Konstruktion einer Messplattform im Detail	73
6.5	Geräteinformation GEM-Systems	77
6.6	Ergänzung Messergebnisse Testmessung 2009	78
6.7	Fortran-Programm zur Basiskorrektur von Profildaten	79
	Abbildungsverzeichnis	I
	Tabellenverzeichnis	III
	Literaturverzeichnis	IV
	Lebenslauf	VII

1 Projekt „Dampfschiffahrtshafen – Alte Kaisermühlen“

Das Projekt „Dampfschiffahrtshafen – Alte Kaisermühlen“ wurde 2008 durch die Unterwasserarchäologiefirma TRITON initiiert. Ziel ist hierbei die Prospektion des ehemaligen Wiener Dampfschiffahrtshafen, der sich bis 1870/71 in dem heutzutage als „Alte Kaisermühlen“ bekannten Areal der Alten Donau befand (Abb. 1-1), und relativ spurlos im Zuge der Donauregulierung verschwand.



Abb. 1-1 „Plan of the Danube regulation“ 1871 (Hinkel 1994)

Aufgabenstellung Die bereits 2008 abgeschlossenen Sonarmessungen des durch den TRITON-Projektleiter Mag. C. Dworsky hinzugezogenen Geophysikers N. Jones offenbarten eine Grabenstruktur im ehemaligen Hafenbereich. Auf der recht groben Basis dieses Ergebnisses war es nun Aufgabe der vorliegenden Diplomarbeit, mit vorgegebenen Mitteln einen Überblick über die (magnetischen) Gegebenheiten innerhalb eines Ausschnitts des Grabens zu gewinnen, um zum einen eine Entscheidungsgrundlage bezüglich möglicher weiterer Vorgehensweisen im Zuge eines archäologisch-geophysikalischen Projektes zu erhalten, und zum anderen eine fundierte Bewertung der zur Verfügung stehenden, traditionellen Messmethode hinsichtlich der vorgefundenen Umgebungsbedingungen liefern zu können. Mit Blick auf weiterer Prospektionsmöglichkeiten stellen für TRITON vor allem die im Zuge des Zweiten Weltkrieges durch die alliierten Streitkräfte abgeworfenen Sprengsätze im Bereich der Alten Donau die Hauptproblematik dar. Regelmäßige

Auffindungsberichte solcher in den lokalen Nachrichten geben hierzu die ersten Anhaltspunkte.

Planung und Auswertung der über einen kleinen Teil des Flusses durchzuführenden Magnetikmessung wurden somit primär darauf ausgerichtet, mögliche, sich im Zusammenhang mit den durch TRITON angestrebten Bohrungen im tieferen Grabenbereich als Sicherheitsrisiko präsentierende Blindgänger aufzuspüren.

Darüber hinaus wurden hierbei im Zuge der vorliegenden Diplomarbeit auch Tauglichkeit und Grenzen der Methodik hinsichtlich archäologischer Anforderungen in urbanem, gefluteten Messgebiet getestet und bewertet, sowie eine Kombinationsmöglichkeit mit den Akustikmessungsergebnissen angestrebt.

2 Geophysikalischer Hintergrund

Da es sich in dem durch die vorliegenden Diplomarbeit noch abzudeckenden geophysikalischen Teil um eine Kombination aus archäologischer und sprengkörperbezogener Fragestellung handelte, fiel TRITONs Wahl auf die Prospektion des Gebiets via Magnetikmessung, die mithilfe der durch die Geologische Bundesanstalt (GBA) zur Verfügung gestellten Protonenpräzessionsmagnetometer durchgeführt werden sollte.

2.1 Geophysik in der Archäologie allgemein

Die beiden wissenschaftlichen Bereiche Geophysik und Archäologie kommunizieren bereits seit den 90er Jahren des 19. Jahrhunderts miteinander [Clark 1990]. Die Notwendigkeit dieser Zusammenarbeit ergab sich aus dem Umstand, dass jede archäologisch geführte Ausgrabung auch immer eine Zerstörung der vorhandenen Gegebenheiten darstellt. J. W. Weymouth (Yale Universität) brachte es 1985 mit seiner schriftlichen Aussage, dass die Archäologie die einzige Wissenschaft sei, die ihr eigenes Labor zerstöre, und somit keine Wiederholungen von Experimenten zuließe, auf den Punkt: „[...] it's better be done right the first time, or not at all.“ Die Bezeichnung „archäologische Prospektion“ wurde im Laufe der letzten Jahre zudem ein Synonym für die Verwendung geophysikalischer Methoden im Zuge archäologischer Fragestellungen. Dem neuen Subbereich der „Archäometrie“ widmete der Verlag Wiley-Blackwell in diesem Zusammenhang sogar ein ganzes Journal [Linford 2006].

Das menschliche Wirken ließ über Jahrhunderte hinweg neben den optisch wahrnehmbaren Veränderungen an der Oberfläche ebenso messtechnisch erfassbare Manipulationen der Untergrundstrukturen zurück. Die Bewirtschaftung eines Feldes verändert beispielsweise die physikalischen Eigenschaften des Bodens, während sich Überreste und Grundrisse von Bauten aufgrund ihres Konstruktionsmaterials in ihren physikalisch bestimmbareren Parametern von dem umgebenden Material – teilweise deutlich – unterscheiden. Der Grad dieser physikalischen Abweichung archäologisch interessanter Objekt von ihrer Umgebungssituation bestimmt deren Registrierbarkeit. Mittels geophysikalischer Methoden lassen sich somit weiträumige Gebiete auf ihren archäologischen Nutzen hin zeitsparend untersuchen und Messgebiete eingrenzen.

Zu diesem Zweck beweist besonders die Magnetik ihren Nutzen, da ein Material im Besitz einer magnetischen Suszeptibilität immer auf seine Umgebungssituation reagieren, und dementsprechend eine registrierbare Signatur hervorrufen wird. Hauptverantwortlich ist hierfür das in der Erdkruste vorkommende Eisen, das fein verteilt im Erdreich, in Ton und im Gestein als chemische Komponente auftritt. Das Einwirken des Menschen führt an manchen Stellen zu einer Umverteilung dieser Teilchen, andernorts zu einer Veränderung der Komponenten hin zu stärker magnetischen Formen. Die so entstandenen magnetischen Muster als „Informationsquelle bezüglich vorangegangener Ereignisse bleiben bei der Suche mittels einfacher Magnetnadeln verborgen, lassen sich aber von den weitaus empfindlicheren Magnetometern teils mühelos registrieren“ [Clark 1996]. Unterschiedlichste Geländegegebenheiten beeinflussen neben der enormen Datenmenge, die aufgrund der notwendigen Messgenauigkeit zur korrekten Erfassung archäologischer Anomalien entsteht,

die Rahmenbedingungen. Dieser Umstand macht die sowohl aus finanzieller wie auch aus zeitlicher Sicht sparsame Magnetikmessung zu der am häufigsten genutzten geophysikalischen Methode zur Bearbeitung archäologischer Fragestellungen.

Ebenso gut ließen sich elektromagnetische Methoden im Anwendungsgebiet der Archäologie etablieren; auf diese wird in weiterer Folge allerdings nur kurz eingegangen.

2.2 Geophysik in der Unterwasserarchäologie

Im speziellen Fall der Unterwasserarchäologie liegt der Hauptfokus auf der Untersuchung von Wracks, Häfen, versunkenen Städten oder unter Wasser liegenden, mit geschichtlichen Begebenheiten in Zusammenhang stehenden Artefakten.

Ohne gezielte Prospektionskampagnen gibt es in gleichem Maße innerhalb der Suche nach archäologischen Artefakten wie auch der nach Sprengsätzen primär drei Möglichkeiten zur Identifizierung von Objekten [Hall 1970]:

1. Auffindung durch Zufall:

Basierend auf häufig mangelhaften oder ungenauen Berichten von Schwimmern oder Tauchern ist diese Methode höchst unpräzise, da die Objekte erneut gefunden werden müssen. So können sich Taucher aufgrund des sogenannten Tiefenrauschs, ausgelöst durch die Einatmung von unter erhöhtem Druck stehenden Stickstoffs, meist nur vage an das Beobachtete erinnern. Diese Vergiftungserscheinung tritt ab etwa 30 m Tiefe bei einem Gerätetauchgang auf, und ist beispielsweise durch eingeschränkte Wahrnehmungsfähigkeit, gestörtes Urteilsvermögen, optische und akustische Sinnestäuschungen sowie Empfindungsstörungen gekennzeichnet [Kromp et al. 1999]. Auch bei Objekten oberhalb der 30-m-Grenze sind die Ortsangaben meist unpräzise.

2. Auffindung anhand von Fundstücken:

Häufig bergen Fischer in ihren über den Untergrund gezogenen Schleppnetzen Objekte wie Bronzeskulpturen oder Amphoren. Hierbei gibt die Schiffsroute allerdings auch wieder nur höchst ungenaue Ortungsangaben. In flacheren Gewässern werden Angler gelegentlich hinsichtlich kleinerer Artefakte fündig, die Re-Lokalisierung der Fundstellen erweist sich aber als ebenso schwierig.

3. Auffindung mittels altem Kartenmaterial und Augenzeugenberichten:

Dies ist die wohl unzuverlässigste der drei dargestellten Methoden, da oft das Geschehene zu lange zurückliegt, verdrängt oder im Zuge von mündlicher Überlieferung übertrieben wurde, und so die wenigen brauchbaren Tatsachen zwecks Spannungsbogen gänzlich untergingen. Oft sind Aufzeichnungen auch schlicht falsch.

Natürlich stellt sich auch hier das Problem, dass sichtbare Objekte meist tief im Sand oder Schlamm eingegraben sein können, sodass die tatsächlichen Ausmaße der Fundstücke überhaupt nur messtechnisch bestimmbar sind. Für diesen Zweck haben sich akustische, magnetische und elektromagnetische Methoden als am dienlichsten erwiesen [Subba Raju 1991].

Wie in der Aufgabenstellung bereits beschrieben, gingen dem in der vorliegenden Diplomarbeit behandelten Projekt Sonarmessungen zur Überblicksgewinnung voraus. Allgemein dienen quantitative Akustikmessungen der Kartierung des Untergrundes. Hierzu zählen Fächerlot (*Multibeam EchoSounder*) und das sogenannte „AGDS“ (*acoustic ground discrimination sonar*). Das Fächerlot dient zur Tiefenbestimmung sowie zur Abgrenzung der vorgefundenen Objekte von ihrer Umgebung, AGDS zur Messung der Stärke

eines zurückgeworfenen Signals, was zur Klassifizierung der einzelnen Reflektoren hilfreich sein kann. Das von TRITON verwendete Side-Scan-Sonar fällt ebenfalls in diese Kategorie, und ermöglicht die Darstellung des Untergrundes als eine Art Mosaik. Qualitative Akustikmessungen beinhalten den Einsatz von Tauchern und ROVs (*remotely operated vehicle*) zur Auffindung und Evaluierung von Schiffwracks.

Ihren Ursprung haben akustische Kartierungsmethoden in den eigens für die Tiefsee-Exploration entwickelten Messmethoden. Hieraus entstanden hochauflösende Gerätschaften zur Kartierung von Flachgewässerzonen, die erst mit der Zeit für archäologische Projekte erschwinglich wurden [Lawrence 2003].

Bei den im Zuge von unterwasserarchäologischen Untersuchungen verwendeten Magnetikmessungen werden die Sensoren bis dato entweder vor Booten oder Schiffen montiert und geschoben, unterhalb der Wassergrenze hinter diesen hergeschleppt – wie es bei der aufgrund schwer bestimmbarer, geschwindigkeits- und strömungsabhängiger Bewegungen unter Wasser nur selten verwendeten „Towfish“-Sonde der Fall ist – oder von diesen über den Untergrund gezogen, wobei man neben der Beschädigung der Messeinheit am Untergrund auch eine erhebliche Zerstörung der Unterwasserflora und -fauna riskiert. Des Weiteren kommen entweder die auch im vorliegenden Projekt verwendeten Protonenpräzessionsmagnetometer oder Förstersonden [Subba Raju 1991] zum Einsatz, die im Kapitel 2.5 „Geophysikalische Messmethoden“ kurz erläutert werden.

Zu den unter Wasser zur Anwendung kommenden elektromagnetischen Systemen zählt der sogenannte „Unter-Wasser-Metalldetektor“, bei dem es sich um ein von Tauchern geführtes Handgerät handelt, das während der Messung nicht weiter als 3 bis 4 m von dem zu suchenden Objekt entfernt sein darf [Subba Raju 1991], und dessen Einsatz aus diesem Grund für eine Detailprospektion der aus dem Projekt hervorgehenden kritischen Bereiche angedacht werden könnte.

2.3 Geophysik in der UXO-Exploration allgemein

Neben Resten aus militärischen Übungen ist innerhalb Mitteleuropas auch aufgrund zweier Weltkriege die Auffindung von Blindgängern – wie sie besonders im Bereich der Alten Donau häufig in der lokalen Presse Erwähnung findet – keine Seltenheit. Der *Interstate Technology & Regulatory Council* (ITRC) – differenziert zwischen den Gruppen von Sprengkörpern wie folgt [ITRC 2004]:

- **Noch nicht explodierte Sprengsätze** (*UXO = Unexploded Ordinances*):
Als noch nicht explodierte Sprengsätze bezeichnet man solche Munitionen, die erstens – beispielsweise durch Entsichern – für einen Einsatz präpariert, zweitens abgefeuert, abgeworfen oder platziert, um Operationen, Installationen, Personen oder Material möglichst großen Schaden zuzufügen, und drittens aufgrund einer Fehlfunktion, eines falschen Designs oder aus anderen Gründen (noch) nicht zur Detonation gebracht wurden. Genau solche Objekte stellen die im Projektauftrag enthaltenen Risikofundstücke dar.
- **Ausrangierte militärische Munition** (*DMM = Discarded Military Munitions*):
Hierzu zählen solche Munitionen, die vom Militär verwendet, aber an einem Ort ohne vorherige Entschärfung zurückgelassen wurden.
UXOs sind hiervon ausgenommen.
- **Munitionsbestandteile** (*MC = Munitions Constituents*):
Diese Bezeichnung beinhaltet sämtliche, verlassene militärische Munition und gilt sowohl für explosive als auch für nicht explosive Materialien und Teilstücke.

- **Bedenkliche Munition und Explosivstoffe** (MEC = *Munitions and Explosives of Concern*):
Bestimmte militärische Munitionen, die ein Explosionsrisiko darstellen, werden unterschiedlichen Gruppen zugeordnet. In diesem Fall beinhaltet die Gruppe A auch die im Zuge des Messprojekts zu beachtenden UXOs.
- **Militärische Munition** (MM = *Military Munition*):
Hiermit werden sämtliche Munitionen und die damit zusammenhängenden Produkte und Komponenten bezeichnet, die zur (nationalen) bewaffneten Verteidigung und Sicherung (eines Landes) produziert und/oder verwendet werden.

Je nach Zielobjekt(en) unterscheiden sich natürlich die an die Prospektionsmethode – sprich Messverfahren und Messablauf – gestellten Anforderungen. Wie bei jeder geophysikalischen Messung ist sowohl in der Archäologie als auch in der Sprengkörperprospektion eine der Hauptproblematiken, die für zusätzlichen finanziellen und zeitlichen Aufwand sorgt, der Umstand, dass bei ungenügend angepasster Messung und anschließender Bearbeitung der Daten im Endergebnis Objekte nicht identifiziert und aus diesem Grund nicht ausgegraben bzw. Anomalien fälschlicherweise für die gesuchten Artefakte gehalten werden. Im letzten Fall wird von einem *false alarm* gesprochen.

Da Sprengkörper häufig Stahlanteile – meist in Form der Ummantelung – aufweisen, stellen neben der Verwendung von EMI-Geräten (*Electromagnetic Induction Devices*) die sowohl zu Luft, zu Land als auch zu Wasser einsetzbaren magnetischen Sensoren hierbei das gebräuchlichste, besonders im Falle von bereits verschossener Munition, auch sicherlich noch das geeignetste System dar. Hier zeigt die Felderfahrung, dass die magnetische Signatur von Blindgängern so gut wie immer größer ist als die von (noch nicht abgefeuerter) Fundmunition. Dies steht im Zusammenhang mit der durch Billings und Youmans beschriebenen Schock-Entmagnetisierung (*shock-demagnetization*). Hierbei wird durch die Wucht des Aufpralls eines abgefeuerten Geschosses auf den Untergrund sämtliche vorhandene remanente Magnetisierung ausgelöscht. Die Neuausrichtung der Dipolmomente erfolgt in Richtung des vorherrschenden Magnetfeldes. Da diese Prozesse aufgrund geschichtlicher und menschlicher Entwicklung im schlimmsten Fall nicht länger als ein bis zwei Jahrhunderte zurückliegen, hat sich das Umgebungsfeld im Vergleich zum Status quo des Impacts noch nicht stark verändern können, wodurch heutzutage bei einer Prospektionsmessung oftmals ein verstärktes Signal über Blindgängern registrierbar ist. Nicht der Schockerschütterung eines Aufpralls ausgesetzte Munition behält ihre möglicherweise dem Umgebungsfeld sogar gegenläufige Restmagnetisierung, woraus ein geringeres Signal resultiert [Billings & Youmans 2007].

Wie im Falle archäologischer Fragestellungen sind bei der Suche nach Sprengsätzen im Sinne von UXOs primär die oberflächennahen Bereiche – von einigen Zentimetern bis zu wenigen Metern – von Interesse. Mögliche Größe und Tiefe der mittels Magnetometer erfassten Anomalien spielen hierbei aufgrund der Mehrdeutigkeit von Potentialverfahren zusätzlich eine wichtige Rolle, weshalb die vorliegende Arbeit ein eigenes Unterkapitel der Geschichte und den daraus resultierenden möglichen Fundobjekten innerhalb des Messareals sowie den auf dieser Basis zu erwartenden synthetischen Anomalien widmet (siehe Kapitel 3.3 und Kapitel 3.4).

Hinsichtlich des Messablaufs einer (an Land durchgeführten) Prospektion von Sprengkörpern reicht im Allgemeinen die Auswahl von einfachsten Vorgängen wie dem „*mag-and-flag*“-System, bei dem mit geophysikalischen Sensoren im Feld erfasste Anomalien bereits vor Ort – meist mit einem Fähnchen – gekennzeichnet werden, bis hin zu dem auch

bei anderen geophysikalischen Aufgabenstellungen üblichen *digital geophysical mapping* (DGM), bei dem die Daten erst im Processing bearbeitet und ausgewertet werden können. Resultat dieses Verfahrens ist in der reinen Sprengmittelprospektion ein sogenanntes *dig-sheet*, also eine Grabungsliste für notwendige Exkavationen hinsichtlich einer Geländeeräumung [ITRC 2004]. Auch in dem durch die vorliegende Arbeit behandelten Projekt steht als Ergebnis eine Empfehlung mit Blick auf die zusätzliche Untersuchungen benötigten Bereiche.

2.4 Geophysik in der submarinen UXO-Exploration

Ob bei Verteidigung küstennaher Bereiche, im Gefecht gesunkenen militärischen Schiffen, aus Trainingssituationen oder Unfällen heraus, aufgrund von im Nachhinein gefluteten Gebieten, oder – wie im Fall des vorliegenden Projekts – aufgrund von Fehltreffern, es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten, wie Sprengsätze unter die Wasseroberfläche gelangen können [WP 2010]. Somit kommt im Allgemeinen ein Großteil des Gewässersystems als mögliches Fundgebiet in Frage: Uferbereiche, Hafenbecken, tiefere Gewässer, Sümpfe, Flussläufe und Seen. Eine Vielzahl an Attributen der Unterwasserwelt stellt – wie auch im Falle einer archäologischen Prospektion – bei Detektion, Charakterisierung und schließlich der Hebung militärischer Munition teilweise einen beachtlichen Störfaktor dar [SERDP 2010]. Als ausschlaggebende und von Gebiet zu Gebiet stark variierende Charakteristiken sind hierbei Tiefe, Temperatur, Salzgehalt und Sedimentierung zu nennen.

Ebenso wie in der Archäologie ist der Ansatz oft schwierig, da genaue Aufzeichnungen bezüglich der Örtlichkeiten solcher Sprengsätze selten sind [WP 2010]. Hinzu kommt, dass über den Grund nur eine geringe Menge an Informationen zur Verfügung steht. Die Art des „Geländes“ hat jedoch einen erheblichen Einfluss auf die dynamischen Vorgänge um die Sprengsätze herum. Unabhängig von deren Lage – direkt auf Grund, teilweise oder komplett eingegraben – können solche Prozesse zu einer erneuten Überlagerung, einer Wanderung der Munition wie auch zu deren Unterspülung führen. In einigen Gebieten kommen Korrosion und biologisch bedingtes Verfaulen der Objekte hinzu. Hierbei prägte sich in den letzten Jahren die Beschreibung der Unterwasser-Phänomenologie, die sich mit Charakteristiken der Munition und Konditionen unter Wasser befasst. Dies inkludiert Lage und Zustand der Objekte, die Art und Weise, mit der die Munition über die Zeit unter Wasser bewegt wird, wie auch spezifische Gebietscharakteristika, wie Salzgehalt und Trübung [SERDP 2010].

Hinsichtlich Korrosion entwickeln Programme wie das NESDI (*The Navy's Environmental Sustainability Development to Integration program*) entsprechende Simulationsmodelle, z. B. das *UXO Corrosion Prediction Model*. Diese Information birgt durchaus eine gewisse Brisanz, da je nach Beschädigungsgrad der Objekte die Vorhersagen bezüglich deren Verhalten erschwert werden. Die nach längerer Lagerung unter Wasser leicht brechenden Gehäuse setzen Komponenten der Munition frei, die von den Sedimenten absorbiert oder als Partikel ins Wasser abgegeben werden können.

Aufgrund verschiedener chemischer, biologischer und physikalischer Prozesse verändern sich diese Komponenten mit der Zeit und können zu einer Gefahr für Ökosysteme werden [WP 2010]. Bei einem nahezu stehenden Gewässer wie der Alten Donau dürfte maximal der letzte Punkt der Partikelabsorption eine Rolle spielen, weshalb im Zuge der vorliegenden Diplomarbeit keine synthetischen Untersuchungen hinsichtlich des mobilen Verhaltens der möglichen Fundstücke durchgeführt wurden.

Zu dem Problem der erschwerten Planung einer solchen Messkampagne gesellt sich die geringe Zugänglichkeit unter Wasser stehender Messgebiete. An Land wird dem raschen Signalverlust bei zunehmender Distanz zum Objekt durch bodennahe Messungen entgegengewirkt. Bei einer Messung über Wasser – wie im vorliegenden Projekt – ist kaum eine Möglichkeit für ein solches Vorgehen vorhanden, was die Einsatzmöglichkeiten der üblicherweise verwendeten Sensoren stark reduziert.

Neben den Messungen vom Boot aus wird in der Wissenschaft viel Energie in die Entwicklungen von ROV- und AUV-Technologien gesteckt [SERDP 2010]. ROV (*remotely operated vehicle*) bezeichnet das Design ferngesteuerter Messfahrzeuge, die ähnlich einem ferngesteuerten U-Boot in größere Tiefen vordringen können, AUV (*autonomous underwater vehicle*) beschreibt ein eben solches, allerdings programmierbares Fahrzeug, sodass auch in Gebiete vorgedrungen werden kann, in denen eine Verbindung zur Kontrollstation via Kabel oder Signal aufgrund der vorherrschenden Bedingungen nicht möglich ist.

2.5 Geophysikalische Messmethoden

Die Geophysik liefert eine Vielzahl verschiedener Messverfahren, von denen die aufgabenbezogen meistgenutzten bereits in den vorangegangenen Abschnitten angesprochen wurden. Allgemein liegt hierbei der Fokus auf der Erfassung der beispielsweise durch Schichtgrenzen und Dichteänderungen bedingten physikalischen Variationen des Untergrundes, wodurch sich ein weites Spektrum an Methoden zur Registrierung dieser einzelnen Parameter ergibt.

Aufgrund der Gemeinsamkeiten zwischen der Prospektion archäologisch interessanter Artefakte und Sprengkörpern wurde die Magnetik als Bearbeitungsmethode des vorliegenden Projektes vorgegeben. Daher findet sich eine ausführlichere Behandlung des Themas im Kapitel 2.5.1.

Trotz dieser Festlegung sind besonders im Hinblick auf mögliche weiterführende Messkampagnen hinsichtlich der vorliegenden Aufgabenstellung die anderen der Geophysik zur Verfügung stehenden Mittel im Hinterkopf zu behalten.

In der Tabelle 2-1 findet sich eine Auflistung der möglichen Messverfahren inklusive ihrer Charakteristika und den üblichsten Anwendungsmethoden innerhalb der Bereiche von Archäo- und Sprengkörperprospektion [Simms 2000, Linford 2006, Milsom 2003, Telford et al 1990].

Tab. 2-1 Übersicht und Bewertung traditioneller Messmethoden und deren, in der Archäo- und Sprengkörperprospektion üblichen Anwendungen

Verfahren/Methode	Charakteristika	
Elektromagnetische Verfahren:	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung elektromagnetischer Induktion (EM) – üblicherweise ohne direkten Bodenkontakt (<i>Leiterkreistheorie, Maxwell-Gleichungen</i>) • Vergleich von am Transmitter ausgegebenem Eingangssignal mit dem reflektierten und/oder refraktierten Ausgangssignal am Receiver • abhängig von Wassersättigung, gelösten Ionen, Porosität, chemischen und physikalischen Eigenschaften des Untergrundes • Unterscheidung von Messungen im Frequenzbereich– kurz F(D)EM – bei denen Primär- und Sekundärfeld gleichzeitig bestehen; und • Messungen im Zeitbereich – kurz T(D)EM – bei denen das Primärfeld sofort ausgeschaltet wird • Induktion horizontaler Ströme führt zu Scheinleitfähigkeitswerten • Induktion von Eddy-Strömen erzielt diskrete Anomalie zur Orts- und Leitfähigkeitsbestimmung („Rauchring“) • Steuerung via sinusförmiger Wechselspannung bzw. Verwendung propagierender kontinuierlicher Wellen (CWEM bzw. FEM) – oder • Steuerung via abrupter Abschaltung des Stromflusses bzw. Verwendung transientser elektromagnetischer Felder (TEM) 	
	Funktionsprinzip	Vorteile/Nachteile
a) Leitfähigkeitsmessung (<i>Slingram</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • CW-Messung im niederfrequenten Bereich (einige kHz) • größere Eindringtiefe bei horizontaler Spulenordnung zur Quadraturmessung (= imaginäre Phase; dient zur Bestimmung der Bodenleitfähigkeit [mS/m]) • geringere Eindringtiefe bei vertikaler Spulenordnung zur In-Phase-Messung (= reale Komponente = Quadratwurzel des Verhältnisses von Sekundärfeld zu Primärfeld; dient zur Kalibrierung sowie Lokalisierung von Metallkumulationen [ppt]) 	<p><i>an Land:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • zügig • kontaktlos • geringer Fokus • abhängig von der Leitfähigkeit der obersten Schicht(en) <p><i>zu Wasser:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • mit horizontaler Spulenordnung möglich
b) Bodenradar (GPR = <i>Ground Penetrating Radar</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung des Radio-Frequenzbereichs 1 MHz bis 1000 MHz • Aussendung elektromagnetischer Impulse – Messung von Amplituden und Laufzeiten • 1. Reflektion aus oberflächennahem Bereich, 2. Reflektion aus größeren Tiefen mit zeitlicher Verzögerung (<i>je nach Untergrundeigenschaften nicht immer vorhanden</i>) • vertikale Auflösung von Antennen mit hoher Mittenfrequenz nur mit geringer Eindringtiefe • horizontale Auflösung bestimmt durch Verschiebungsströme 	<p><i>an Land:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • zügige Auswertung durch direkte Ableitbarkeit von Ausmaß/Tiefe des Objektes • stark variierende Eindringtiefe entsprechend Bodenbeschaffenheit • im Idealfall mit Bodenkontakt <p><i>zu Wasser:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • (zu) hohe Dämpfung • Messung maximal über Eis möglich

Tab. 2-1 Übersicht und Bewertung traditioneller Messmethoden und deren, in der Archäo- und Sprengkörperprospektion üblichen Anwendungen – Fortsetzung

Verfahren/Methode	Charakteristika	
Geoelektrische Verfahren:	<ul style="list-style-type: none"> • Potentialverfahren zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit im Untergrund bzw. dessen Scheinwiderstände • üblicherweise Verwendung 2er Referenzelektroden zur Einspeisung von Gleichstrom in den Boden + 2er Potentialelektroden zum Potentialabgriff • abhängig von Feuchtigkeitsgehalt, Permeabilität, Ionengehalt und Temperatur des Untergrundes (<i>Archie</i>) • verschiedene Messkonfigurationen möglich (z. B. Wenner, Schlumberger, twin-electrode-array) 	
a) Eigenpotential-Messung (SP)	Funktionsprinzip	Vorteile/Nachteile
	<ul style="list-style-type: none"> • Registrierung natürlich vorhandener Potentialunterschiede • Voltmeter misst Eigenpotential zwischen 2 nicht-polarisierenden Elektroden 	<p><i>an Land:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • geringe Kosten • zeitaufwändig • invasiv <p><i>zu Wasser:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Installation am Grund möglich aber aufwändig
b) Induzierte Polarisation (IP)	<ul style="list-style-type: none"> • zusätzlich angelegter Stromfluss erzwingt Polarisation • Registrierung im Zeitbereich (<i>time domain</i>) oder Frequenzbereich (<i>frequency domain</i>) 	<p><i>an Land:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • variable Messanordnung durch Programmierung möglich • invasiv • zeitaufwändig <p><i>zu Wasser:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Installation am Grund möglich, aber aufwändig
c) Kapazitative Arrays	<ul style="list-style-type: none"> • kapazitative Kopplung für mobile Geoelektrik, wobei der Untergrund als Kondensatorplatte zu verstehen ist • Verwendung von Wechselstrom bei 16,6 kHz • Bestimmung elektrischer Eigenschaften des Untergrundes mittels, mit nicht-leitfähigen Kabeln verbundener Transmitter- und Receiverunits 	<p><i>an Land:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • zügig, da von Fahrzeugen ziehbar • nicht-invasiv • benötigt Bodenkontakt <p><i>zu Wasser:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • in dieser Konfiguration sicher nicht möglich
Seismische und akustische Verfahren:	Charakteristika	
	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle gibt einen Energieimpuls in den Boden, der mittels Geophonen/Hydrophonen in einiger Distanz aufgezeichnet wird • bei empfindlichen Zielobjekten dienen häufig Vibrationsquellen mit akustischen Wellen geringer Energie als Anregungsquelle • zu erwartende Wellenlänge üblicherweise im 1-m-Bereich • Verwendung von Druckwellen im submarinen Bereich (Airguns) mit möglichen negativen Auswirkungen auf Unterwasserflora und -fauna 	
Side-Scan Sonar	Funktionsprinzip	Vorteile/Nachteile
	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbreitung (relativ ungedämpfter) Schallwellen von 1–200 kHz im Wasser • zweites Echo (unterhalb der obersten Schlammschicht generiert) bei < 10 kHz möglich • aktives und passives Sonar 	<p><i>zu Wasser:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 10–100 km Reichweite (aktives Sonar) • Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten

Tab. 2-1 Übersicht und Bewertung traditioneller Messmethoden und deren, in der Archäo- und Sprengkörperprospektion üblichen Anwendungen – Fortsetzung

Verfahren/Methode		
Weitere Verfahren:	Funktionsprinzip	Vorteile/Nachteile
Mikro-Gravimetrie	<ul style="list-style-type: none"> • Messung der Beschleunigungsunterschiede innerhalb des Erdgravitationsfeldes aufgrund von Dichtekontrasten • Geschwindigkeitsbestimmung der Positionsveränderung einer gefederten Probemasse (<i>Relativmessung</i>) 	<i>an Land:</i> <ul style="list-style-type: none"> • nicht-invasiv • in sich ruhender Bodenkontakt notwendig <i>zu Wasser:</i> ungeeignet
Radiometrie:	<ul style="list-style-type: none"> • Kartierung der Zählrate von (Gamma-) Strahlung • üblicherweise mittels Aeromessungen 	<i>an Land:</i> <ul style="list-style-type: none"> • nicht-invasiv • kopplungsfrei <i>zu Wasser:</i> keine Erfahrungsberichte über Wasser
Kombinierte Methoden:	<ul style="list-style-type: none"> • mehrkanalige Messgeräte (<i>multi-channel instruments</i>) • mehrere Messmethoden können parallel durchgeführt werden • an Land und zu Wasser einsetzbar, je nach Konfiguration 	<ul style="list-style-type: none"> • zeitsparend • meist mobil Nachteile entsprechend der verwendeten Einzelmethode

2.5.1 Theoretische Grundlagen der Magnetikmessung

Die Magnetik selbst fällt in den Bereich der Potentialmethoden. Ein Magnetik-Survey in der Geophysik bedeutet, das aktuelle Erdmagnetfeld inklusive seiner Anomalien – sprich durch Kontraste in der Magnetisierung hervorgerufene Veränderungen – zu registrieren und durch entsprechende Be- und Auswertung der Ergebnisse eine Aussage über die Strukturen des Untergrundes zu treffen.

Wie bereits angesprochen findet sich ein Hauptgrund für die Veränderung des Erdmagnetfeldes in einer möglichen Kollektion eisen- beziehungsweise stahlhaltiger Materialien, sowie den innerhalb der Erdkruste vorhandenen eisenhaltigen Mineralien.

Hinsichtlich erstem liegt eine Anwendungsmöglichkeit von Magnetikmessungen innerhalb des archäologischen Aufgabenbereiches im Aufspüren vergrabener oder verschütteter eisenhaltiger bzw. metallischer Gegenstände. Hierbei handelt es sich meistens um Grabbeigaben wie Schilde, Waffen, Schmuck etc. [Clark 1990]. Im Falle einer sprengkörperbezogenen Untersuchung liegt der Fokus auf den Stahlummantelungen der Geschosse und möglichen Blindgängern, sowie deren Einzelteile.

Letztes zeichnet für den Umstand verantwortlich, dass Gesteine aufgrund materialspezifischer Effekte selbst mehr oder weniger stark ausgeprägte magnetische Eigenschaften besitzen. So liegt jedem Magnetismus eine Ladungsbewegung zugrunde, wie sie durch Rotation der Elektronen um sich selbst, wie auch durch die Bahnbewegung der Elektronen um den Atomkern herum ausgeführt wird. Je nach vorliegendem Kristallgitter ist es den so entstandenen Feldern innerhalb eines solchen Gefüges gestattet, sich verstärkend, abschwächend oder sogar auslöschend gegenseitig zu überlagern. Hierzu findet eine entsprechende Einteilung der Ausgangsmaterialien in ferromagnetische, paramagnetische und diamagnetische Substanzen statt. Die folgenden Erläuterungen magnetischer Charakteris-

tika orientieren sich an den Ausführungen von Telford und Clark [Telford et al. 1990, Clark 1996].

Materialien, die über natürliche Dipolmomente verfügen, werden als **Ferromagnetika** bezeichnet. Quantenmechanisch bedingte Interaktionen benachbarter Atome untereinander resultieren in der Ausbildung sogenannter statistisch verteilter „Weiß’scher Bezirke“, innerhalb derer sämtliche magnetische Momente parallel zueinander ausgerichtet sind. Ein zusätzliches äußeres Magnetfeld führt zur Ausrichtung der Weiß’schen Bezirke und somit – je nach vorhandener Feldstärke und den bereits durchlaufenen Prozessen – zu einer Verstärkung des Feldes. In diese Gruppe fällt das viel zitierte Eisen, das in der Archäologie meist in Form von Grabbeigaben und Ähnlichem, im Fall von Sprengkörpern in der Stahlmantelung zu finden ist.

Als **paramagnetische Substanzen** betitelt man solche, bei denen zwar grundsätzlich ein natürliches Dipolmoment vorhanden ist, aber im Gegensatz zu ferromagnetischen Materialien keine Interaktionen zwischen benachbarten Atomen zu beobachten sind. Es benötigt ein äußeres Magnetfeld zur Ausrichtung dieser zufällig orientierten Dipolmomente, wodurch es zu einer Verstärkung des Feldes im Inneren kommt. Ein bekannter Vertreter der Paramagnetika ist das Platin. Bereits im Alten Ägypten diente es für Verzierungen von Sarkophagen oder wie in anderen Kulturen als Material zur Schmuckherstellung [Lucas 1948]. Für sprengkörperbezogene Untersuchungen sind Paramagnetika wenig bedeutsam.

Unter **Diamagnetika** versteht man jene Materialien, deren Einzelmomente sich innerhalb jedes Atoms gegenseitig vollständig kompensieren, wodurch in der Summe kein resultierendes magnetisches Moment existiert. Diamagnetische Gesteine reagieren laut Lenz’scher Regel auf ein äußeres induzierendes Magnetfeld mit einem, diesem Feld entgegenwirkenden magnetischen Moment, was zu einer Abschwächung des Feldes im Inneren führt. Ein Beispiel diamagnetischer Mineralien ist der Quarz (SiO_2). In der Archäologie begegnet man ihm meist in Form von Keramik und Schmuck. Mit seinen verschiedenen Modifikationen ist der Quarz außerdem das zweithäufigste Mineral der kontinentalen Erdkruste.

Über diese Unterteilung gemäß der Ausrichtung einzelner Dipolmomente hinaus besteht noch die Möglichkeit der Untergliederung aufgrund der relativen Anordnung der einzelnen Gitter zueinander. Hierdurch sind noch weitere Einteilungen in antiferromagnetische und ferrimagnetische Materialien zu treffen. Erstgenanntes bezeichnet hierbei eine Anordnung ferromagnetischer Gitter, die eine gegenseitige Kompensation der einzelnen Dipolmomente zur Folge hat. Innerhalb ferrimagnetischer Substanzen findet nur eine teilweise Kompensierung der magnetischen Momente untereinander statt, woraus eine schwache Magnetisierung resultiert. Hierzu zählen die in der archäologischen Prospektion signifikantesten Oxide Hämatit und Magnetit [Clark 1996].

Aufgrund möglicher zusätzlicher Einflussprozesse, wie Sedimentationsvorgänge, Temperatur und chemische Umgebungsbedingungen, ist außerdem zwischen remanenter und induzierter Magnetisierung zu differenzieren. Erstgenannte ist in Abhängigkeit der bereits durchlaufenen Prozesse weitestgehend permanent, Letztgenannte tritt nur in Anwesenheit eines induzierenden Feldes auf.

Die **thermoremanente Magnetisierung** (TRM = *Thermoremanent Magnetization*) – gerne als am ehesten „nachvollziehbarer“ magnetischer Effekt menschlichen Wirkens bezeichnet [Schmidt 2007] – beschreibt das Ergebnis eines Einfriervorganges der vorherrschenden Magnetfeldrichtung. Über ihre Curie-Temperatur erhitzte, eisenoxidreiche Materialien speichern während des Abkühlprozesses eine ihrem Umgebungsfeld entsprechende Magnetisierung: je tiefer das Absinken der Temperatur, desto größer die Anzahl der paral-

lel zum vorherrschenden Magnetfeld eingefrorenen Dipolmomente. Da sich solche Eisenoxide häufig in Tonen vorfinden, ist beispielsweise der magnetische Charakter von gebranntem Ton verhältnismäßig stark ausgeprägt. Die einzelnen Komponenten des rohen Tons sind willkürlich orientiert und nur schwach magnetisiert, werden allerdings durch den Erhitzungsprozess in Oxide wie Magnetit verwandelt. Ab ca. 565 °C verliert dieser seine Magnetisierung und wird während des, nach dem Brennvorgang einsetzenden Abkühlvorganges durch das Erdmagnetfeld re-magnetisiert. Eine archäologisch interessante Anwendung findet sich somit in frühzeitlichen „halb-industriellen Prozessen“ [Linford 2006]. Wurde beispielsweise während eines Brennvorganges das umgebende Material genügend erhitzt, konnten dessen eisenhaltige Mineralien zu einer Umwandlung des Werkstoffes in Produkte höherer magnetischer Suszeptibilität führen, wie es bei einer Reduktion von Hämatit (Fe_2O_3) zu Magnetit (Fe_3O_4) oder Maghemit ($\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$) der Fall ist. Auch gebrannte Ziegel und Keramik gehören in diesen Bereich, wobei eine Verarbeitung dieser Produkte zu einer willkürlichen Verteilung der Feldvektoren und somit wahrscheinlich eher zu einer Abschwächung der magnetischen Signatur führt [Bevan 1994].

Neben der Temperatur vermögen auch chemische Vorgänge zur Bildung oder Veränderung von Mineralien zu führen. Analog wird dies als **chemisch-remanente Magnetisierung** (CRM = *Chemical Remanent Magnetization*) bezeichnet. So hinterlässt die Bewirtschaftung des Bodens charakteristische magnetische Spuren innerhalb des Landschaftsgefüges. Dies liegt vor allem darin begründet, dass Anhäufungen von organischen Materialien durchaus häufig zu bakteriellen Aktivitäten führen, die eine Konzentration an sogenannter „Bio-Mineralisation“ nach sich ziehen [Fassbinder & Stanjek 1993]. Üblicherweise sind somit die oberen Erdschichten mit einer höheren Suszeptibilität gekennzeichnet als die tiefer liegenden Schichten [Weymouth & Huggins 1985]. Allgemein beinhalten sich zersetzende organische Materialien – wie man sie in Müllgruben, aber auch hölzernen Gebäudeüberresten findet – eine Anhäufung anaerober Bakterien [Fassbinder 1990, Linford 2004]. So lassen sich beispielsweise auch Teile hölzerner Palisadenpfostenlöcher mittels Magnetik gut darstellen.

Hinsichtlich des Dampfschiffahrtshafenprojektes ist außerdem anzumerken, dass bereits der Eingriff in die vorgefundene Natur und die damit verbundene Zerstörung oder zumindest Veränderung sprich Umsortierung des bereits natürlich vorhandenen magnetostratigraphischen Gefüges – wie zum Beispiel durch die Konstruktion eines Grabens oder eines Dammes – in einer schwachen, aber durchaus registrierbaren magnetischen Anomalie resultiert [Linford 2006]. Diese beruht auf dem Umstand, dass die meisten Sedimente natürlichen Ursprungs bereits magnetische Mineralien wie Magnetit und Hämatit enthalten.

Im Gegensatz zur relativ permanent existierenden TRM ist ein Material mit magnetischer Suszeptibilität nur so lange magnetisch, wie ein magnetisierendes Feld – beispielsweise in Form des Erdmagnetfeldes – vorhanden ist. Die Suszeptibilitätsunterschiede zwischen oberer und unterer Erdbodenschicht sowie dem anstehenden Gestein manifestieren sich bereits in lokalen Effekten innerhalb des Magnetfeldes der Erde. Durch diesen magnetischen Kontrast zwischen anthropogen gestörtem und ungestörtem Boden lassen sich neben Gräben, Gräbern, Gruben und anderen, im Nachhinein verfüllten Strukturen, auch verschüttete Wände detektieren.

Im Allgemeinen sind hierbei zwei Szenarien zu unterscheiden:

1. Von Grabenstrukturen, die mit Oberbodenmaterial aufgefüllt worden sind, ist ein positives magnetisches Signal zu erwarten, da diese Füllmasse stärker magnetisch ist als das sie umgebende Material.

2. Umgekehrt resultiert ein geringeres magnetisches Signal aus Unterbodenmaterial, das in die oberen Erdbodenschichten reicht, wie es zum Beispiel bei Mauerwerk der Fall ist.

Folglich sind Messmethoden, die auf der Registrierung dieser Unterschiede innerhalb des magnetischen Charakters des Untergrundes basieren, gleichzeitig als Messmethode für einstige menschliche Okkupation zu verstehen [Clark 1996] und betonen im Fall des vorliegenden Messprojektes zunächst die Tauglichkeit einer Magnetikmessung im Sinne der Aufgabenstellung.

2.5.2 Magnetik in der Praxis

Das Protonenpräzessionsmagnetometer

Zur Durchführung des dieser Arbeit zu Grunde liegenden Messprojektes wurde die Verwendung zweier Protonenpräzessionsmagnetometer (PPM) vorgegeben.

Im Zuge einer großräumigen Erkundung entlang einer römischen Töpferproduktionsstätte, unter Zeitdruck von M. Aitken und E. Hall eigens für diesen Zweck konzipiert und 1958 erfolgreich von beiden getestet, gilt das PPM bereits als traditionelles Messgerät archäologisch-geophysikalischer Kooperation. Mit der Entwicklung leitete damals das *Research Laboratory for Archaeology and History of Art* der Universität Oxford eine Art „Revolution“ in (magnetischer) Prospektion für archäologische Überreste ein [Linford 2006, Weymouth & Huggins 1985].

Die Funktionsweise dieses Absolutmessgerätes beruht auf der Eigenschaft frei beweglicher Protonen, ihr magnetisches Moment parallel (oder antiparallel) zu einem vorhandenen Magnetfeld auszurichten. So besteht die Sonde eines solchen Magnetometers im einfachsten Fall alleine aus einem von einer (Kupfer-)Spule umgebenen, nicht magnetisierbaren Behältnisses, in dem eine protonenreichen Flüssigkeit aufbewahrt wird. Eine kurzfristige Einspeisung von Gleichstrom in die umgebende Spule bewirkt ein Ausrichten der Drehimpulsachse der Protonen entlang der Resultierenden des konstant vorherrschenden und des so entstandenen „neuen“ Magnetfeldes, das ungleich der Richtung des Umgebungsfeldes zu sein hat. Nach dessen Verschwinden übt das nunmehr vorhandene Erdmagnetfeld inklusive aller vorhandenen Störfelder einen Drehimpuls auf die magnetischen Momente der Protonen aus, wodurch diese um die Richtung des nun wirkenden Feldes zu präzedieren beginnen. Diese Bewegung der Protonen induziert in der sie umgebenden Spule wiederum eine Wechselspannung, deren gemessene (Larmor-)Frequenz proportional zur Magnetfeldstärke ist. Somit wird die Projektion der durch eine Störquelle verursachten Anomaliefeldstärke auf die des Erdmagnetfelds gemessen [Clark 1996, Telford et al. 1960].

Die **Vorteile** des PPMs liegen eindeutig in der einfachen Konstruktion sowie seiner leichten Handhabung, dem relativ geringen Gewicht und den handlichen Maßen. Diese erlauben das eigentlich für Landmessungen konzipierte Gerät mit relativ geringem Aufwand für den Gebrauch über Wasser einzurichten. Außerdem benötigt dieses Magnetometer weder eine Initialisierung, noch weist es eine Sensibilität gegenüber der vorhandenen Feldrichtung auf, wie es beispielsweise beim Fluxgate der Fall ist.

Tab. 2-2 Übersicht und Bewertung der in Archäologie und Sprengkörperexploration verwendeten Magnetometer

Magnetometer	Bau und Funktion	Vorteile/Nachteile
Protonenpräzessionsmagnetometer	<ul style="list-style-type: none"> • Absolutmessgerät zur Bestimmung des Totalfeldes • 1 Sonde, gefüllt mit protonenreicher Flüssigkeit • 1 Kupferspule um Sonde herum zwecks Anregung und Messung <p>→ <i>Funktionsprinzip</i>: Ausrichtung der Protonen mittels kurzfristig angelegter Gleichspannung führt zu einer Präzessionsbewegung um das vorherrschende Magnetfeld, wodurch in der Spule eine Wechselspannung induziert wird (Larmor-Frequenz proportional zum Magnetfeld)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • keine Gerätedrift • keine Initialisierung vor Messbeginn notwendig • leichte Handhabung • keine Richtungsempfindlichkeit • kein kontinuierlicher Messprozess möglich, da zwischen den Einzelmessungen kurze Pausen benötigt werden • registriert nur das Totalfeld
Sättigungskernmagnetometer/ Förstersonde/ Fluxgate	<ul style="list-style-type: none"> • komponentenweise Bestimmung des Magnetfeld-Absolutbetrages • Messprinzip der Überlagerung zweier Magnetfelder • 2 idente oder 1 ringförmiger ferromagnetische/r Spulenkern/e in Sättigung • 1 Erregerspule • 1 Induktionsspule (gegenseitig zu Erregerspule gewickelt) <p>→ <i>Funktionsprinzip</i>: äußeres Feld führt aufgrund der vektoruellen Komponente in Kernrichtung zu einem proportional zum angelegten Feld resultierenden Signal in der/den Empfängerspule/n</p>	<ul style="list-style-type: none"> • genaue Lokalisierung und Richtungsbezeichnung einer Störquelle möglich • zügige Datengewinnung • Messung aus bewegten Systemen heraus möglich • 3-Achsen-Instrument zur Registrierung des Totalfeldes erhältlich • starke Richtungsempfindlichkeit • teuer
Absorptionszellmagnetometer	<ul style="list-style-type: none"> • Absolutmessung • basierend auf optischem Effekt (Zeeman-Effekt) • 1 Lampe zur Anregung der Atome • Aufspaltung der Spektrallinien in Zeeman-Niveaus durch äußeres Magnetfeld • Steuerung via Helligkeit des durchgehenden Lichtstrahls registrierender Photozelle • Cäsium-, Kalium- oder Rubidiumquelle <p>→ <i>Funktionsprinzip</i>: Optisches Pumpen hebt Atome auf ein höheres Energieniveau, registrier- bzw. steuerbares Hochfrequenzfeld senkrecht zum zu messenden Magnetfeld führt zu einer Prozessumkehr</p>	<ul style="list-style-type: none"> • kontinuierliches Signal • beschleunigter Messprozess • Gradiometerkonfiguration möglich • hohe Komplexität • teuer • anfällig für Funktionsausfälle • Richtungssensibilität
SQUID-Magnetometer (<i>superconducting quantum interference devices</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor mit 2 Josephson-Kontakten • Kühlung des Systems mittels flüssigem Helium aus 4 K bzw. -270 °C <p>→ <i>Funktionsprinzip</i>: Registrierung der Abschirmströme des supraleitenden Magnetometersensors, basierend auf chemischer Verbindung von Yttrium, Barium, Kupfer und Sauerstoff (YBCO)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Registrierung extrem schwacher Magnetfelder ($\sim 0,00001\text{ nT}$) • primär im Laborbetrieb geeignet • aufwändig durch Kühlprozess • teuer

Als ein **Nachteil** der Magnetikmethode insgesamt und somit auch des PPMs ist jedoch zu nennen, dass das gesamte umgebende Feld, inklusive aller enthaltenen Störquellen, registriert wird – wobei die Bezeichnung Störquellen auch solche Quellen, die störenden Umgebungsnoise produzieren, umfasst. Ungünstig präsentiert sich außerdem die im Verhältnis zu moderneren Magnetometern relativ lange Registrierdauer. Für die heutzutage vermehrt geforderten Messungen „aus der Bewegung heraus“, wie beispielsweise von einer mit Motorkraft gezogenen Messplattform, ist das PPM nicht oder nur stark eingeschränkt geeignet.

Ebenfalls als Nachteil zu vermerken ist, dass es sich bei den Registrierungen eines PPMs um Totalfeldmessungen handelt, und somit im Feld auch immer eine fest installierte Basisstation von Nöten ist, um später die Schwankungen des Umgebungsfeldes von denen der Anomalien differenzieren zu können. Zwar ließe sich mittels zweier übereinander angebrachter Sonden eine Gradientenmessung durchführen und die Notwendigkeit der Wahl einer Basisstation umgehen, doch bedeutet dies auch gleichzeitig eine höhere Anfälligkeit des Gerätes gegenüber äußeren Einflüssen, wie sie bei einer Messung innerhalb urbanen Gebietes kaum zu vermeiden sind. Zusätzlich würde man mit der Verwendung eines PPMs als Gradiometer einen gewissen Verlust an Messempfindlichkeit riskieren [Clark 1996].

Weitere Magnetometer

Hätte zur Lösung der Projektaufgabe die freie Auswahl bestanden, so wäre sie zwischen PPM und folgenden Messgeräten zu treffen gewesen:

- Sättigungskernmagnetometer/Förstersonde/Fluxgate,
- Absorptionszellmagnetometer,
- SQUID-Magnetometer.

In der zuvor auf Seite 15 dargestellten Tabelle 2-2 sind Bau und Funktion sowie Vor- und Nachteile dieser Messgeräte kurz zusammengefasst [Clark 1996, Pitzius & Hartmann 2000, Telford et al. 1960].

3 Prospektionsgebiet „Alte Kaisermühlen“

Für eine erfolgreiche oder zumindest verwertbare Messung ist die Sammlung von Informationen bezüglich des Status quo im Hinblick auf möglicherweise vorhandene archäologische Artefakte und Sprengkörper von grundlegender Bedeutung. In diesem Sinne werden nachfolgend das Messgebiet des Projektes sowie die aus den Gegebenheiten abzuleitende Planung und Durchführung der Messkampagne dargestellt.

Neben der Geologie wird auch der geschichtliche Hintergrund des Messareals beschrieben, da durch eben jenen die möglichen Fundstücke definiert werden. Diese Auflistung ist ein notwendiger Teil der Planung, da es sich bei der Magnetik um ein Potentialverfahren handelt, das allein das Vorhandensein physikalischer Unterschiede darzustellen vermag. Potentialverfahren sind eben nicht eindeutig zu interpretieren und es lässt sich bei späterer Auswertung somit auch nicht erkennen, ob die Anomalienursache ein anthropogener oder möglicherweise doch ein pedogener Vorgang war.

3.1 Geologie „Alte Donau“

Die „Alte Donau“ ist ein sogenannter Altarm der heutigen Wiener Donau und von selbiger durch einen Damm getrennt. Sowohl der als „Obere“ wie auch der als „Untere Alte Donau“ bezeichnete Teil gelten seit der Donauregulierung und der damit einhergehenden Verlegung der Hauptschiffahrtsrinne von 1870 bis 1875 als Binnengewässer und erstrecken sich zusammen über einen Bereich von circa 1,6 km² [Donabaum et al. 2005].

Geologisch betrachtet ist der Donaufluss bei Wien ein Überbleibsel der vier großen Vereisungsperioden (*Günz, Mindel, Riss und Würm*) des alpinen Raumes im Quartär, dessen Beginn sogar bis ins Prägünz zurückverfolgt werden kann. Der ständige Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten war in einem Zeitfenster von 1,8 Ma als dominante Eigenschaft auch hinsichtlich der sich ausbildenden Flusssysteme von enormer Bedeutung. Die durch Gefrier- und Schmelzvorgänge entstandenen Moränen aus schlecht sortierten klastischen Sedimenten dienten als Initiatoren mehrerer Terrassensysteme, wie sie sich auch heute noch im Donauverlauf erkennen lassen [Faupl 2003].

Im Bereich um den ehemaligen Hafen sind neogene Lockersedimente des Wiener Beckens – sprich Schluffe, Tone, Sande, untergeordnete Grobklastika und Kalkstein – zu erwarten [Pfleiderer 2007].

In lokaler Betrachtung kommt ein ständig fortwährender Sedimentierungsprozess, wie er in ruhigen Flusssystemen üblich ist, hinzu. Vereinfacht formuliert bilden die sich immer noch in der Ablagerungsphase befindlichen Flussschotter die obersten Schichten des Alten-Donau-Areals, während die pleistozänen Terrassenschotter weiter außerhalb anzutreffen sind (Abb. 3-1).

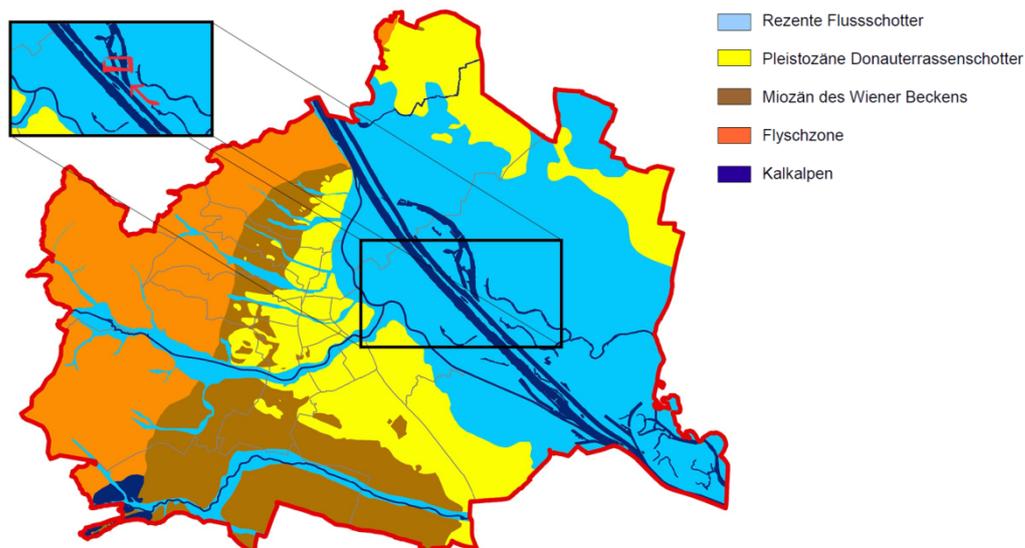


Abb. 3-1 „Angewandte Geologische Karte der Stadt Wien“ (WGM 2011) mit Hervorhebung des Messgebietes

3.2 Sonarmessung TRITON 2008

Die von TRITON beauftragten und von N. Jones durchgeführten Sonarmessungen mittels Side-Scan-Sonar deckten mit einem Profillinienabstand zwischen 30 und 50 m einen großzügigen Bereich um den ehemaligen Dampfschiffahrtshafen herum ab. Dabei ließ sich eine Grabenstruktur im Hafengebiet nachweisen. An diese Ergebnisse knüpfend wurde von TRITON mit dem Ziel genauerer Analysen eine Gefrierbohrung von maximal 25 cm Durchmesser angedacht, bei der um einen mit flüssigem Stickstoff gefüllten Stahlspeiß herum das Umgebungsmaterial eingefroren, und so an die Oberfläche gebracht wird. Die Magnetikmessung soll hierbei als Sicherungsmaßnahme vor möglichen Hindernissen im Zuge der Bohrtätigkeiten dienen, seien es nun Sprengkörper oder ähnliche metallene Objekte im Untergrund.

Leider konnten zu Planungsbeginn und Durchführung der Magnetikmessung noch keine eindeutigen Darstellungen und Aussagen hinsichtlich des tatsächlichen Sonarmessergebnisses von TRITON zur Verfügung gestellt werden. Hinzu kam die sehr unpräzise Lage-darstellung der markierten Messprofile.

Sich auf die mündlichen Darstellungen des Projektleiters C. Dworsky sowie den aus einer Vor-Ort-Begehung zur Festlegung des Messgebietes gewonnenen Eindrücken stützend, wurde zunächst eine Skizze als Planungsgrundlage erstellt (Abb. 3-2).

Die Messung wurde so geplant, dass basierend auf dieser Darstellung die tieferen Grabenbereiche problemlos abbildbar sein sollten.

Die erst Ende 2012 zugänglichen, mäßig vollständigen Informationen bezüglich der tatsächlichen Sonarmessergebnisse (Abb. 3-3) zeichnen in Kombination ein etwas anderes Bild hinsichtlich Tiefe und Lage der Grabenstruktur, weshalb sich die in Kapitel 4 präsentierte Auswertung auf die aus den zur Verfügung gestellten Daten mittels Abgleich der aktuellen Google Earth[®]-Darstellungen für das Areal des Hafengebietes bestmöglich ableitbare Tiefenverteilung stützt.

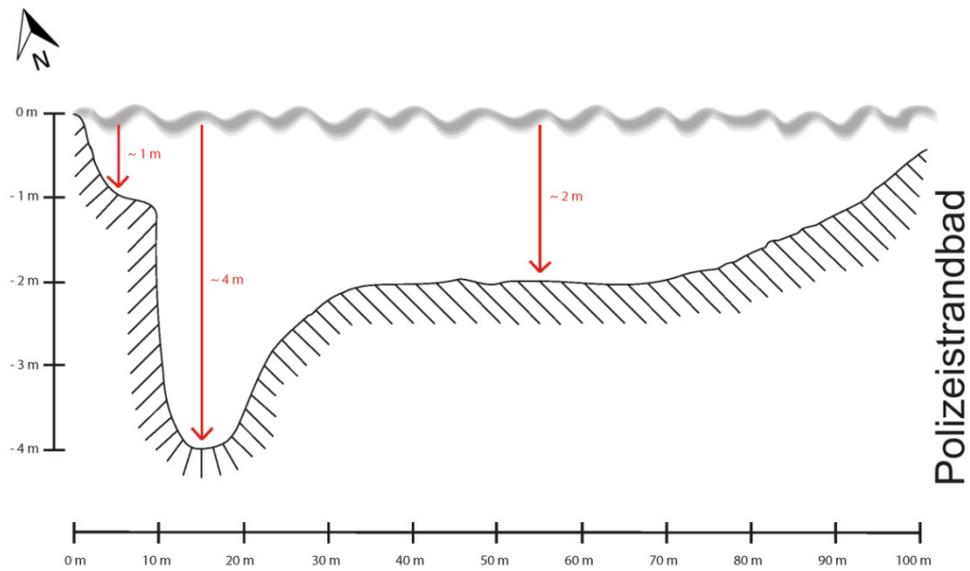


Abb. 3-2 Planungsskizze aufgrund mündlicher Darstellungen und Vor-Ort-Begehung

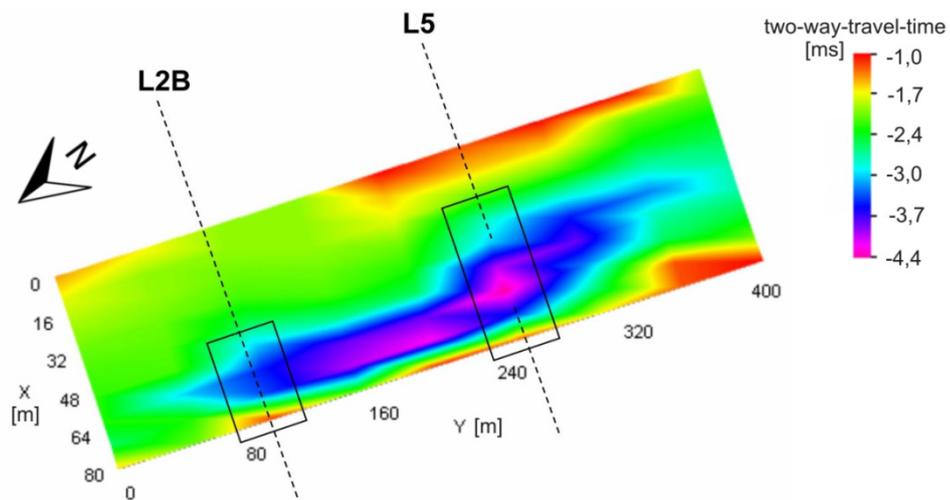


Abb. 3-3a Darstellung der Sonarmessergebnisse in two-way-travel-time, inklusive der Lokalität der beiden Querprofile L2B und L5 von N. Jones, © TRITON

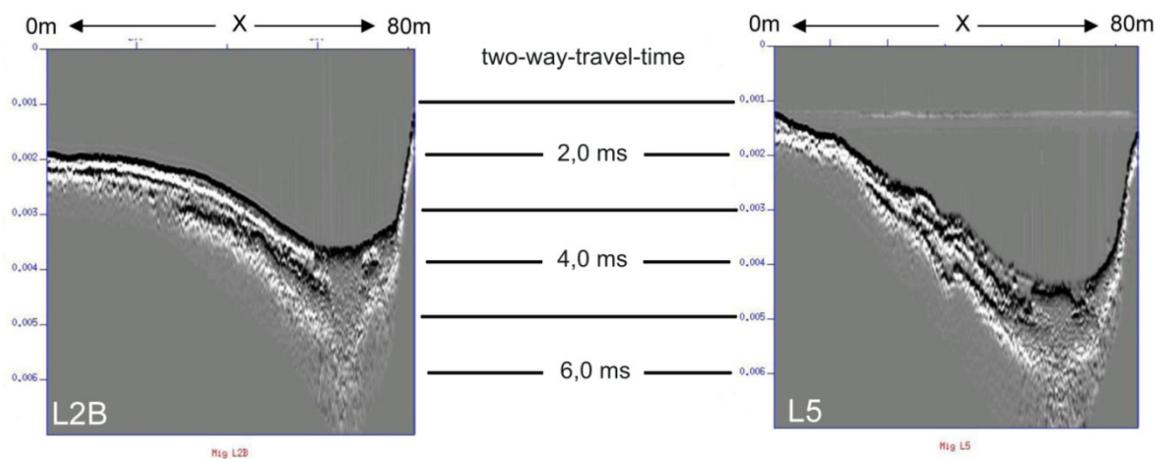


Abb. 3-3b Darstellung der beiden, die Grabenstruktur kreuzenden Querprofile L2B und L5 entsprechend Abb. 3-3 von N. Jones, © TRITON

Bei einer vorherrschenden Schallwellengeschwindigkeit im Wasser von 1460 m/s folgt aus dieser Darstellung, dass sich die tiefste Stelle des Grabens in maximal 3,21 m befindet, und nicht in 4,0 m, wie vor Messbeginn beschrieben.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit und Kontrolle befindet sich die durch TRITON gelieferte Information hinsichtlich der gewählten Sonarmesswege in Anhang 6.1.

Um aus den durch Geologie und Lokalität des Grabenfundortes bedingten Rahmenbedingungen nun Aussagen hinsichtlich des zu planenden Messablaufes treffen zu können, wurde die Simulation möglicher Anomalien potentieller Fundstücke (siehe Kapitel 3.4) durchgeführt.

Hierzu ist – um eine Vorstellung von den potentiellen Störkörperquellen innerhalb des Messareals zu bekommen – eine kurze Analyse der historischen Geschehnisse innerhalb des Gebiets unabdingbar (siehe Kapitel 3.3). Diese beinhaltet die Betrachtung der wirtschaftlichen Aspekte vor 1870/71, wie auch das im Zusammenhang mit Ersten und Zweiten Weltkrieg stehende Material. Denn sind Form und magnetische Eigenschaften eines vergrabenen Artefaktes bekannt, lässt sich bis zu einem gewissen Grad die zu erwartende Anomalie vorberechnen. Zwar ist es aufgrund der Mehrdeutigkeit von Potentialverfahren umgekehrt nicht möglich aus einer vorhandenen Anomalie auf die Form und Tiefe der Quelle rückzuschließen, jedoch können durch Vergleiche qualitative Annahmen getroffen [Schmidt 2007] beziehungsweise im Zuge von Auswertung und Interpretation Vermutungen belegt oder entkräftet werden.

3.3 Historie der „Alten Donau“

Vor 1870 wurde das Areal um das heutige Gänsehäufel aufgrund des natürlichen Flusslaufes der Donau häufig von Hochwassern heimgesucht. Dieses war eines der Kernargumente für die durch das französische Bauunternehmen *Castor, Hersent & Couvreux* betreute, aus dem Großprojekt der Donauregulierung resultierende Verlegung des Donauhauptarmes. Mit dieser Verschiebung des schiffbaren Flusslaufs in den Westen verschwanden die Mühlen, Fischer, Schiffer und Flößer ebenso wie die Schiffstation für Passagierdampfer, der das TRITON-Projekt gewidmet ist.

3.3.1 Die Schiffsmühlen

Seinen Namen „Alte Kaisermühlen“ verdankt das Gebiet um das Messareal herum den vor 1870 am damals rechten Ufer des sogenannten „Kaiserwassers“ – sprich des sich von Prater bis zur Brigittenau erstreckenden Donauarmes – installierten Schiffsmühlen.

Wie das in Anhang 6.2 präsentierte, 200 Jahre alte Bauprinzip einer solchen Schiffsmühle leicht erkennen lässt, können von diesen mehrheitlich aus Holz bestehenden Konstruktionen maximal kleinere Eisenteile und/oder Kettenreste von den Verschraubungen sowie dem Mahlssystem im Inneren in das Flussbett gelangt sein, und während einer Magnetikmessung als Störquellen dienen.

3.3.2 Die Hafenanlage

„Die Anlage einer Dampfschiffstation beim heutigen Gänsehäufel im Jahre 1830 brachte dem Ort (*Donaustadt/Kaisermühlen*) einen großen Aufschwung, doch die Donauregulie-

rung schnitt ihn vom Stadtzentrum ab. Der Dampfschifflandeplatz wurde auf das stadtseitige Ufer bei der Reichsbrücke verlegt; so verlor Kaisermühlen eine wichtige Einnahmequelle.“

Neben dieser Anmerkung auf Seite 51 der Stadtchronik Wien [Stadtchronik 1986] und einem handschriftlichen Protokollvermerk der Donauregulierungskommission hinsichtlich des ungefähren Hafenverlaufs, bleibt die Ausbeute an im Stadtarchiv auffindbaren Literaturstellen bezüglich der Existenz des Hafens überraschend gering. Obwohl der Hafen ungefähr 40 Jahre lang dem Bezirk als eine wichtige Einnahmequelle diente – diesem laut Zitat sogar einen Aufschwung brachte, der neben dem Personenverkehr auch auf einen möglicherweise getätigten regen Handel schließen lässt, der wiederum bestimmte Zünfte dazu veranlasste, sich in Hafennähe anzusiedeln –, scheinen weder Aufzeichnungen über den Bau noch den Abriss oder die dort getätigten Umsätze zu existieren.

TRITON sieht einen möglichen Grund für den Mangel an Detailberichten in der Zerstörung durch die nachfolgenden Kriege und Brände.

Ein weiterer Grund könnte aber auch die historische Bedeutung technischer Aufzeichnungen der Jahre ab 1805 und ein daraus folgender Verschluss selbiger Berichte sein.

Da somit auch jede Aufzeichnung hinsichtlich der Natur der damaligen Umschlagsware fehlte, musste sich auf die naheliegenden Objekte eines Handelshafens beschränkt und gemutmaßt werden.

Mit der Verdopplung der Einwohnerzahl in Wien zwischen 1860 und 1905, und somit auch der Expandierung des wirtschaftlichen Handels, spricht man bezüglich der innerstädtischen Entwicklung ab 1850 von der „Wiener Kaufhauskultur“ [Schnedlitz 2011]. So lässt sich für den Dampfschiffahrtshafen auf den Vertrieb von Stoffen, Kleidung, Tabak, Kunstwerken, Nahrungsmitteln, Gewürzen und mit diesen in Zusammenhang stehenden Gefäßen schließen. Die damals gehandelte Ware könnte neben Holz- und Porzellanteilen durchaus im Verlauf als Anomaliequelle am Grund der Alten Donau zu liegen gekommen, vieles von dem Genannten dürfte allerdings – falls es damals über Bord ging – aufgrund von Verwesungsprozessen heutzutage nicht mehr als Artefakt auffindbar sein, sofern keine deutliche Unterscheidung zwischen Objekt und umgebendem Grund herrscht, wodurch diese in einem magnetischen Profil sichtbar gemacht werden könnten.

All diese Materialien als potentielle Fundobjekte ausgeschlossen, wären Münzen und Schiffsteile als noch heute auffindbare archäologisch interessante Artefakte das nächst Naheliegende. Aus diesem Grund sind in Tabelle 3-1 die üblichsten Münzzahlungsmittel der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts mit ihrer Geometrie und Zusammensetzungen aufgeführt.

Tab. 3-1 Potentielle archäologische Münz-Fundstücke im Hafbereich

Objekt	Bild	Material	Maße
Österreichischer einfacher Golddukat (ab 1852)	 <p>Quelle: www.bankkonditionen.at</p>	<p><i>Angabe:</i> 986 ‰ Feingehalt</p> <p><i>Dies entspricht:</i> 98,6 % Gold, 1,4 % Kupfer</p>	<p>g = 3,49 g Ø = 19,75 mm h = 0,72 mm</p>
Acht Goldgulden (1892)	 <p>Quelle: www.goldunze.de</p>	<p><i>Angabe:</i> 900 ‰ Feingehalt bzw. 21,6 Karat</p> <p><i>Dies entspricht:</i> 90,0 % Gold, 10,0 % Kupfer</p>	<p>g = 6,45 g Ø = 21,0 mm h = 1,3 mm</p>
Halbe Krone (1866)	 <p>Quelle: www.my-webcoins.de</p>	<p><i>Angabe:</i> 1/100 Pfund Feingold mit 900 ‰ Feingehalt</p> <p><i>Dies entspricht:</i> 90,0 % Gold, 10,0 % Kupfer</p>	<p>g = 5,6 g Ø = 20,0 mm</p>
Ganze Krone (1858)	 <p>Quelle: Österreichische Nationalbank</p>	<p><i>Angabe:</i> 1/50 Pfund Feingold mit 900 ‰ Feingehalt</p> <p><i>Dies entspricht:</i> 90,0 % Gold, 10,0 % Kupfer</p>	<p>g = 11,0 g Ø = 24,0 mm</p>
(Vereins-)Thaler (1866/1867)	 <p>Quelle: www.my-webcoins.de</p>	<p><i>Angabe:</i> 1/30 Pfund Feinsilber</p> <p><i>Dies entspricht:</i> 81,5 % Silber, 18,5 % Kupfer</p>	<p>g = 18,52 g Ø = 33,0 mm</p>
Halber Kreuzer (1851)	 <p>Quelle: www.my-webcoins.de</p>	<p><i>Angabe:</i> primär Kupfer</p>	<p>g = 2,73 g Ø = 19,5 mm</p>
Zehn Kreuzer (1858)	 <p>Quelle: www.my-webcoins.de</p>	<p><i>Angabe:</i> primär Silber</p>	<p>g = 2,0 g Ø = 18,0 mm</p>

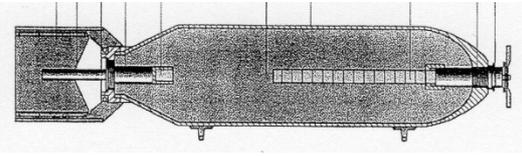
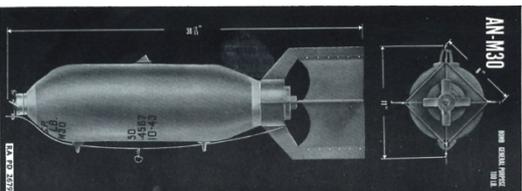
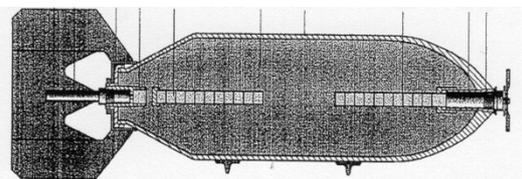
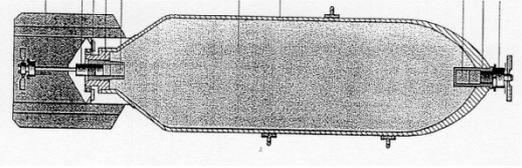
g = Gesamtgewicht; Ø = Durchmesser; h = Höhe

3.3.3 Das Gänsehäufel-Strandbad

Die Donauregulierung, die den Alten Kaisermühlen ihren Hafen kostete, machte diese Verdiensteinbuße durch eine Schotteranhäufung wett, die seit 1907 den Wienern zum Baden dient und unter der Bezeichnung Gänsehäufel vielen ein Begriff ist [www.wien.gv.at].

Die damals am Ufer aufgestellten kleinen Zelte, wie sie auf der sich im Anhang 6.2 befindlichen Fotografie von 1910 gut erkennbar sind, dienten den Badegästen als Umkleiden und Unterstände, wurden jedoch im Zuge des Zweiten Weltkrieges von den alliierten Streitkräften für mögliche Truppenstützpunkte gehalten und bombardiert. Das Strandbad selbst wurde 1945 durch Bombenabwürfe schwer beschädigt. Zeitungsartikel berichten auch heute noch regelmäßig über Bergungen von Blindgängern aus der Alten Donau.

Tab. 3-2 Potentielle, sprengkörperbezogene Fundstücke im Hafengebiet

Objekt	Bild	Material	Maße
Demo 100-lb M30 (USA)	 Quelle: TM 9 1980 Dresdner Sprengschule	Stahl, einteilig	g = 48,2 kg (davon 24 kg Sprengstoff) Ø = 208 mm h = 914 mm Wd = 11 mm
GP 100-lb AN M30 (USA)	 Quelle: TM 9 1980 American Bombs for Aircraft 1944/ www.bocn.co.uk	Stahl, einteilig	g = 51,0 kg (davon 24,5 kg Sprengstoff) Ø = 208 mm h = 914 mm Wd = 11 mm
Demo 500-lb M43 (USA)	 Quelle: TM 9 1980 Dresdner Sprengschule	Stahl, einteilig	g = 227 kg (davon 120 kg Sprengstoff) Ø = 360 mm h = 1502 mm Wd = 14 mm
GP 500-lb AN M43 (USA)	 Quelle: TM 9 1980 Dresdner Sprengschule	Stahl, einteilig	g = 227 kg (davon 119 kg Sprengstoff) Ø = 277 mm h = 1153 mm Wd = 14 mm
Frag 20-lb AN M41 (USA)	 Quelle: www.bocn.co.uk	Vierkant- stahl, gewi- ckelt, ge- gossenes Heckteil	g = 10,0 kg (davon 1,2 kg Sprengstoff) Ø = 91 mm h = 495 mm Wd = 120 mm
g = Gewicht; Ø = Durchmesser; h = Höhe; Wd = Wanddicke; Demo = demolition; GP = general-purpose; Frag = fragmentation; AN = Heer + Marine			

Am häufigsten handelt es sich hierbei um die amerikanischen 250-kg- und 500-kg-Sprengbomben. Aufgefunden werden die Sprengkörper meist durch Zufall von vorbeigehenden Passanten, Bootsfahrern oder Schwimmern.

Als Grundlage der notwendigen Simulation möglicher Anomalien sind in Tabelle 3-2 in Analogie zu den vom Dampfschiffahrtshafen stammenden, potentiellen Fundobjekten (Tab. 3-1) die Angaben über Geometrie und Material der verwendeten Munition der Alliierten zusammengefasst.

Demo 100-lb M30, GP 100-lb AN M30, Demo 500-lb M43 und GP 500-lb AN M43 gehören zur Gruppe der Sprengbomben; Frag 20-lb repräsentiert die Gruppe der Splitterbomben, die sich durch eine kräftige Stahlummantelung bei einer relativ geringen Sprengmittelfüllung auszeichnen. Eine Sprengbombe ist somit im Prinzip nichts anderes als die Bezeichnung einer Splitterbombe mit höherem Sprengstoffanteil.

Für mögliche, aus diesen Sprengkörpern resultierende magnetische Anomalien ist allein die Stahlummantelung von ausschlaggebender Bedeutung, da für das Sprengmaterial üblicherweise TNT ($C_6H_2(NO_2)_3CH_3$), comp B – eine Mischung aus 60 % RDX ($C_3H_6N_6O_6$), 40 % TNT sowie einer kleinen Menge Paraffinwachs – oder bei neueren Modellen Tritonal – eine Mischung aus 80 % TNT und 20 % Aluminiumpulver verwendet wird. All diese Inhaltsstoffe bringen an sich gar keinen oder nur sehr geringfügigen zusätzlichen Einfluss hinsichtlich der magnetischen Eigenschaften eines Sprengkörpers, und können im Vergleich zu der Stahlmasse der Ummantelung für synthetische Rechnungen ignoriert werden.

3.4 Simulation möglicher Anomalien

Zur Simulation magnetischer Anomalien stehen mehrere 2D- und 3D-Verfahren zur Verfügung, wobei sich in der vorliegenden Arbeit aufgrund der zuvor erörterten möglichen Störkörperformen auf die durch H. Militzer und F. Weber getätigten Ausführungen hinsichtlich kugelförmiger Quellkörper beschränkt wurde [Militzer & Weber 1984].

3.4.1 Simulationstheorie

Zur Erläuterung der, im Zuge der Simulationsberechnung verwendeten, auf den Formulierungen von Militzer und Weber basierenden Berechnung magnetischer Anomalien sind zunächst folgende Zusammenhänge anzuführen:

- Anomalie der Totalintensität: (Gl. 3.4.1.1)

$$\delta T(x, y, 0) = \delta H(x, y, 0) \cos I_0 + \delta Z(x, y, 0) \sin I_0$$

δH ... Anomalie der Horizontalkomponente

δZ ... Anomalie der Vertikalkomponente

I_0 ... Inklinatation des Normalfeldes

- Magnetisierung: (Gl. 3.4.1.2)

$$|\vec{j}| = \sqrt{\left(|\vec{j}_{Rem}|a_m + \frac{k}{\mu_0}|\vec{T}_0|a_0\right)^2 + \left(|\vec{j}_{Rem}|b_m + \frac{k}{\mu_0}|\vec{T}_0|b_0\right)^2 + \left(|\vec{j}_{Rem}|c_m + \frac{k}{\mu_0}|\vec{T}_0|c_0\right)^2}$$

$$\begin{aligned} a_0 &= \cos I_0 \cos D_0 & b_0 &= \cos I_0 \sin D_0 & c_0 &= \sin I_0 \\ a_m &= \cos I_m \cos D_m & b_m &= \cos I_m \sin D_m & c_m &= \sin I_m \end{aligned}$$

$|\vec{j}_{Rem}|$... remanente Magnetisierung

$|\vec{T}_0|$... umgebendes Erdmagnetfeld

k ... Suszeptibilität

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Vs}/\text{Am}$... Vakuumpermeabilität

I_0 ... Inklination des Normalfeldes

D_0 ... Deklination des Normalfeldes

- Vertikalintensität der Störkörperanomalie einer Kugel bei $z = 0$ (Gl. 3.4.1.3)

$$\delta Z(x, y, 0) = -\frac{\mu_0 r_K^3}{3R^5} [3a_m |\vec{j}| xt + 3b_m |\vec{j}| yt - c_m |\vec{j}| (2t^2 - x^2 - y^2)]$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Vs}/\text{Am}$... Vakuumpermeabilität

r_K ... Kugelradius

$R = \sqrt{x^2 + y^2 + t^2}$... Abstand zum Aufpunkt

t ... Tiefe zum Kugelmittelpunkt

$|\vec{j}|$... Magnetisierung

- Horizontalintensität der Störkörperanomalie einer Kugel bei $z = 0$ (Gl. 3.4.1.4)

$$\delta H(x, y, 0) = \frac{\mu_0 r_K^3}{3R^5} \left[[a_m |\vec{j}| (2x^2 - y^2 - t^2) + 3b_m |\vec{j}| xy - 3c_m |\vec{j}| xt] \cos D_0 \right. \\ \left. + [3a_m |\vec{j}| xy + b_m |\vec{j}| (2y^2 - x^2 - t^2) - 3c_m |\vec{j}| yt] \sin D_0 \right]$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Vs}/\text{Am}$... Vakuumpermeabilität

r_K ... Kugelradius

$R = \sqrt{x^2 + y^2 + t^2}$... Abstand zum Aufpunkt

t ... Tiefe zum Kugelmittelpunkt

$|\vec{j}|$... Magnetisierung

D_0 ... Deklination des Normalfeldes

Für die Berechnung der durch eine Kugel an der Erdoberfläche hervorgerufenen, magnetischen Anomalie ergibt sich somit aus der Kombination von Gl. 3.4.1.1 bis Gl. 3.4.1.4 folgende Formulierung:

(Gl. 3.4.1.5)

$$\delta T(x, y, 0) = \frac{\mu_0 r_K^3}{3R^5} |\vec{j}| \left[a_0 a_m (2x^2 - y^2 - t^2) + b_0 b_m (2y^2 - x^2 - t^2) + c_0 c_m (2t^2 - x^2 - y^2) \right. \\ \left. + 3(xy(a_0 b_m + b_0 a_m) - xt(a_0 c_m + c_0 a_m) - yt(b_0 c_m + c_0 b_m)) \right]$$

Von Seiten der geometrischen Einflussfaktoren sind die in den von Militzer und Weber formulierten Zusammenhängen angeführten Variablen mit den vorangegangenen Ausführungen über potentielle archäologische und sprengkörperbezogene Fundstücke bereits abgedeckt.

Die bisher noch nicht aufgeführte magnetische Suszeptibilität k stellt sich mathematisch ausgedrückt als der (Proportionalitäts-)Faktor dar, der das Verhältnis zwischen magnetisierendem Feld \vec{H} und der von diesem herrührenden Magnetisierung $\vec{j} = k \cdot \vec{H}$ eines Körpers beschreibt. Diese Formulierung zur Darstellung der magnetischen Induktion verwendend, stellt die Suszeptibilität zusammen mit der Permeabilität im Vakuum μ_0 nun die Relation zwischen eben jenem magnetisierenden Feld und dem magnetischen Totalfeld $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{j}) = \mu_0(1 + k)\vec{H} = \mu_0\mu_r\vec{H}$ her. Folglich als Maß der Fähigkeit eines Materials, durch ein externes Feld magnetisiert zu werden charakterisierbar, entspricht ihr Stellenwert in der Magnetik in etwa dem der Dichte in der Gravimetrie [Telford et al. 1990].

Das magnetische Verhalten eines Materials – sei es nun Gestein, Mineral oder menschliches Produkt – ist somit durch die Anzahl der in ihm enthaltenen magnetisierbaren Bauteilen (Tab. 3-3) und deren Suszeptibilität bestimmt.

Unglücklicherweise birgt dieser Umstand – beispielsweise aufgrund von Verwitterungsprozessen – auch ein hohes Maß an Schwankungen der zu erwartenden Werte.

Tab. 3-3 Übersicht Materialeigenschaften

Material	k (lt. Literatur) ^{1) 4) 5)} [SI]	Dichte ρ ^{2) 3)} [kg/m ³]
Aluminium	⁶⁾ 21,3 * 10 ⁻⁶	2700
Eisen	300 bis zu 10000	7870
Eisenoxid	720 * 10 ⁻⁵	5100
Gold	⁶⁾ -36,7 * 10 ⁻⁶	19320
Kalkstein	0 bis zu 3000	-
Kupfer	-9,2 * 10 ⁻⁶ bis zu ⁶⁾ -9,6 * 10 ⁻⁶	8940
Sandstein	0 bis zu 20000	2400
Silber	⁶⁾ -2,63 * 10 ⁻⁵	10500
Stahl/Gusseisen	50 bis zu 500	7850

1) Quelle: <http://www.kayelaby.npl.co.uk>
2) Quelle: <http://www.tri-matic.ch>
3) Quelle: <http://www.hug-technik.com>
4) Quelle: Lebensmittelphysik: Physikalische Kenngrößen
5) Quelle: <http://www.eos.ubc.ca/ubcgif/iag/foundations/properties/magsuscept.htm>
6) Berechnet aus $k_{\text{Mass}} = k/\text{Dichte}$ ¹⁾ [m³/kg]

Die Auflistung in Tabelle 3-3 zeigt, dass einige Materialien in Abhängigkeit von äußeren Gegebenheiten, wie z. B. der Temperatur eine durchaus beachtliche Variationsbreite ihres Suszeptibilitätswertes aufweisen. Für einen solchen Fall wurde in den folgenden Simulationsberechnungen der kleinste Wert herangezogen, um im Hinblick auf mögliche Anomaliegrößen auf der sicheren Seite sein zu können. Auf die planungsrelevanten Faktoren hinsichtlich Anomaliebreite bzw. Wellenlänge der Anomalie hat die Suszeptibilität keinen Einfluss, weshalb ein solcher Umgang mit diesen Werten als akzeptabel einzustufen ist.

Bei der Bewertung der hieraus resultierenden Simulationsergebnisse sollte stets bedacht werden, dass selbst das detaillierteste Modell auch nur eine Annäherung an die Wirklichkeit darstellen kann. Primär soll über die Verwendung mehrere synthetischer Rechnungen sichergestellt werden, dass für die möglicherweise zu erwartenden Anomalien und die darauf aufbauende Messdurchführung eine Art Erwartungshorizont angegeben werden kann – bzw. hinsichtlich Planung und Durchführung einer solchen Magnetikmessung alle greifbaren Informationen vorliegen. Hauptfokus ist hierbei der resultierende Verlauf einer durch das Objekt hervorgerufenen Anomalie bzw. seine Wellenlänge. Dieser wird gleich durch mehrere Variablen beeinflusst:

- Lagerung und Geometrie der Artefakte,
- Abstand zwischen Artefakt und Sonde sowie
- relative Lage der Messprofile.

➤ **Lagerung und Geometrie der Artefakte**

Ein wichtiger Punkt hinsichtlich resultierender Anomalie ist die relative Lage des Objekts. Die aus Militzer und Weber entnommene Formel zur Simulation eines kugelförmigen Störkörpers besteht in der Anordnung des Kugelmittelpunktes auf der nach unten hin positiven z-Achse. Aus diesem Grund werden das Nord-Süd- wie auch das Ost-West-Profil in der Simulation über den Ursprung hinweg gerechnet, um einen kompletten Eindruck der hervortretenden Anomalie zu gewinnen.

➤ **Abstand zwischen Artefakt und Sonde**

Dem Sonarprofil entsprechend ist das Messareal grob in drei Tiefen einteilbar:

- flacher Randbereich (0,5–1,0 m)
- durchschnittliche Wassertiefe (1,0–2,0 m)
- Grabenbereich (2,0–3,2 m)

Da nun Artefakte ebenso im Schlamm eingegraben, wie auch auf dem Untergrund aufliegend gelagert sein können, werden zu Studienzwecken die Anomalieformen für Quellpositionen ab einem Abstand von 4 m zur Wasseroberfläche aufwärts in jeweils 1-m-Schritten berechnet.

➤ **Relative Lage der Messprofile**

Im Messgebiet schien es am plausibelsten, die Profile im rechten Winkel zum Westufer der Alten Donau laufen zu lassen. Zum einen beinhalteten auf diese Weise die ersten 30 bis 40 m auf jeden Fall den zu prospektierenden Graben, zum anderen wurde dieser so von den Profilen gekreuzt. Als erste Messrichtung ist somit eine Bewegung vom bewohnten Ufer in Richtung Polizeistrandbad/Gänsehäufel und zurück zu beschreiben, als zweite Messrichtung ist der Parallelversatz der Profile Richtung Süden anzusehen.

3.4.2 Simulationsergebnisse

Für die Berechnung der Anomalien, die aus den in Kapiteln 3.3.2 und 3.3.3 ermittelten Störkörpern hervorgehen, sind nun die Eingabeparameter zur Ausführung von Gl. 3.4.1.5 entsprechend zu wählen. Im Fall der vorliegenden Ausführungen ergab sich folgender Input:

Tab. 3-4 Eingabeparameter zur Simulation magnetischer Anomalien mittels Gl. 3.4.1.5

Bezeichnung	Wert	Anmerkungen
Hauptfeld		
Inklination	64°	
Deklination	3°	
T ₀	48488,3 nT	
Störkörper		
k	<i>variabel</i>	entsprechend dem Material wurde aus der Tab. 3-3 der jeweils kleinste Wert übernommen
Radius	<i>variabel</i>	objektbezogen r _{Durchmesser} , r _{Höhe} bzw. r _{Volumen}
Inklination	64°	beinhaltet die Annahme, dass keine remanente Magnetisierung vorliegt; die Werte sind entsprechend denen des Totalfeldes gewählt
Deklination	3°	
Messgrid		
Δ x	0,25 m	um auch zur Bewertung der Messergebnisse dienen zu können, wurde zur Simulation der im Feld ihr Profilrichtung verwendete Punktabstand von 25 cm gewählt (siehe Kapitel 3.5.1)
Δ y	0,25 m	
Tiefe	<i>variabel</i>	

Da die Simulationsergebnisse hinsichtlich der Messplanung sowohl die Frage nach der Geometrie möglicher Anomalien (Wellenlänge) wie auch nach deren zu erwartender Signalstärke beantworten sollen, wurden bei Berechnung der zylinderähnlichen Sprengkörper drei verschiedene Radien angesetzt. Der erste Radius (siehe Gl. 3.4.2.1) ergibt sich aus der Hälfte des Durchmessers, der zweite aus der halben Höhe (siehe Gl. 3.4.2.2), und der dritte als Relation zum gesamten Volumen magnetisierbarer Anteile (siehe Gl. 3.4.2.3). Die ersten beiden, aus Durchmesser und Höhe des Störkörpers berechneten Radien dienen primär dem Zweck, über die zu erwartende Anomaliebreite Auskunft zu geben. Der in Relation zum tatsächlichen magnetisierbaren Volumen stehende Radius allein beinhaltet auch eine plausible Information hinsichtlich der Anomaliestärke. Die Bezeichnung der Variablen ist analog der in Tabellen 3-1 und 3-2 gewählt.

$$r_{\text{Durchmesser}} = \frac{1}{2} \varnothing \quad (\text{Gl. 3.4.2.1})$$

$$r_{\text{Höhe}} = \frac{1}{2} h \quad (\text{Gl. 3.4.2.2})$$

$$r_{\text{Volumen}} = \sqrt[3]{\frac{g}{\rho \pi} 0,75} \quad (\text{Gl. 3.4.2.3})$$

Ergebnis der Simulation ist somit eine Information bezüglich Nord-Süd- und West-Ost-Ausdehnung, wie auch eine Angabe der maximal zu erwartenden Signalstärke der durch die Störkörper hervorgerufenen möglichen Anomalien. Die in der tabellarischen Auswertungsübersicht (Tab. 3-5 bis 3-9) verwendeten Bezeichnungen sind in Abbildung 3-4 erklärt.

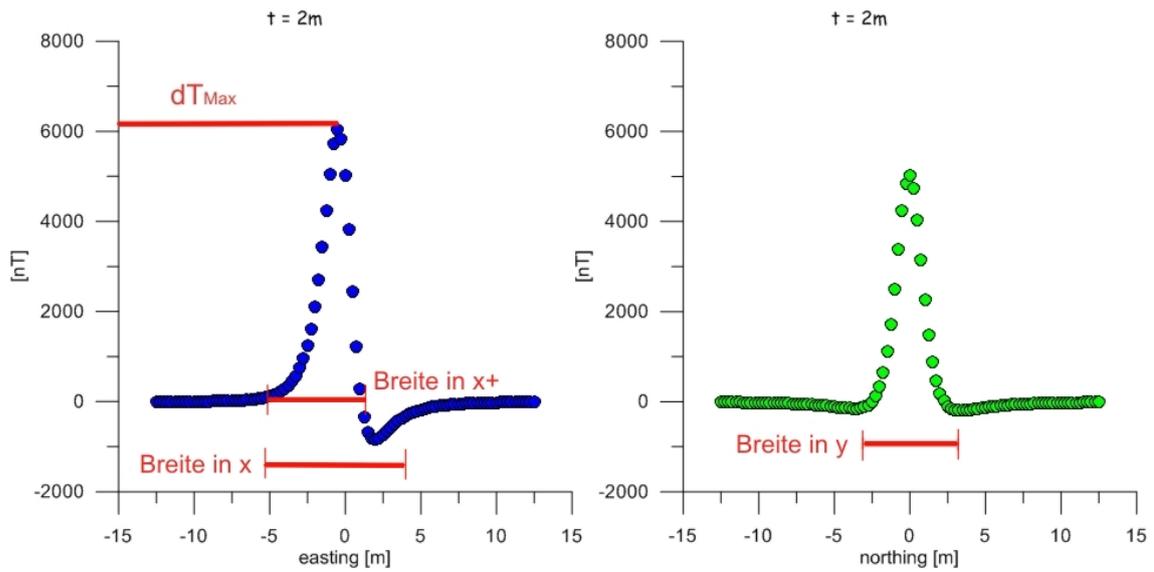


Abb. 3-4 Benennungserläuterung der Simulationsergebnisse in Tab. 3-5 bis 3-9

Die Abbildungen 3-5 und 3-6 zeigen repräsentativ das graphische Ergebnis der Simulation einer Sprengbombe Demo 500-lb M43 (siehe Tab. 3-2) in unterschiedlichen Störkörpertiefen t .

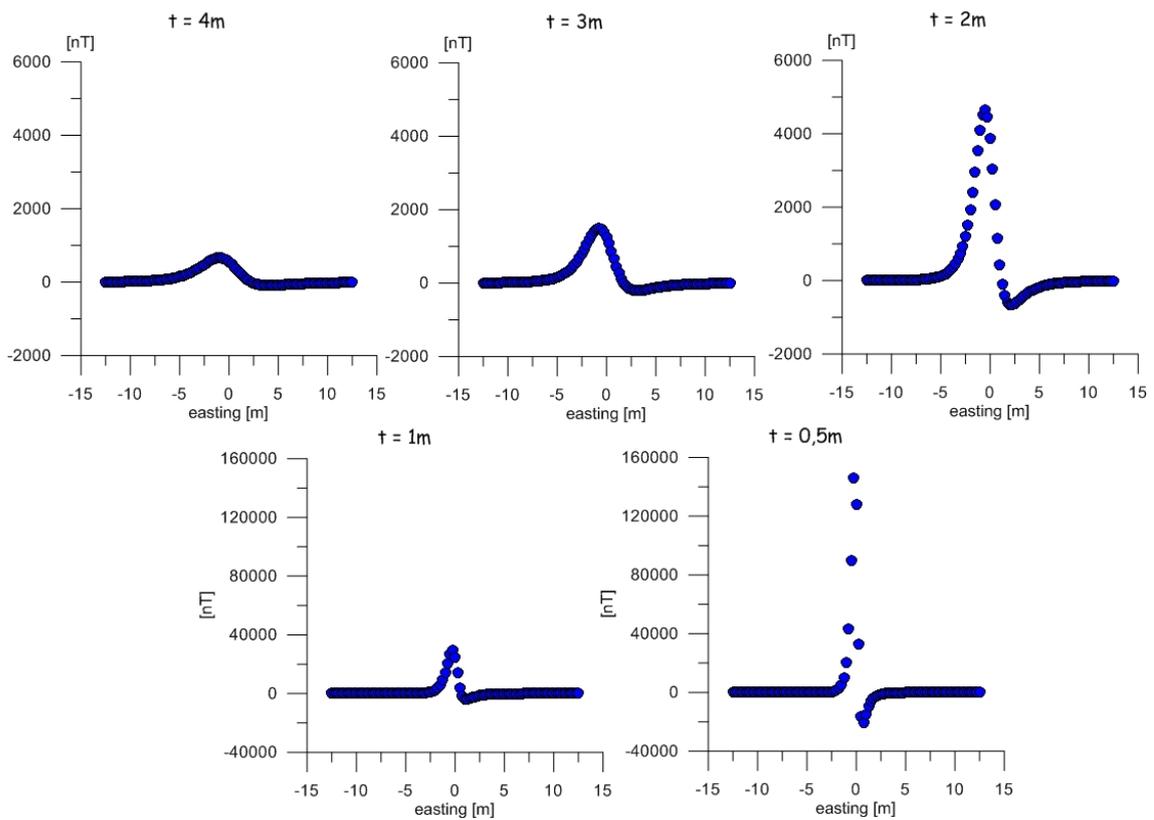


Abb. 3-5 Simulation einer Demo 500-lb M43 in Ost-West-Richtung entsprechend Tab. 3-4 mit $r = 0,18$ m, $k = 300$, $dx = 0,25$ m

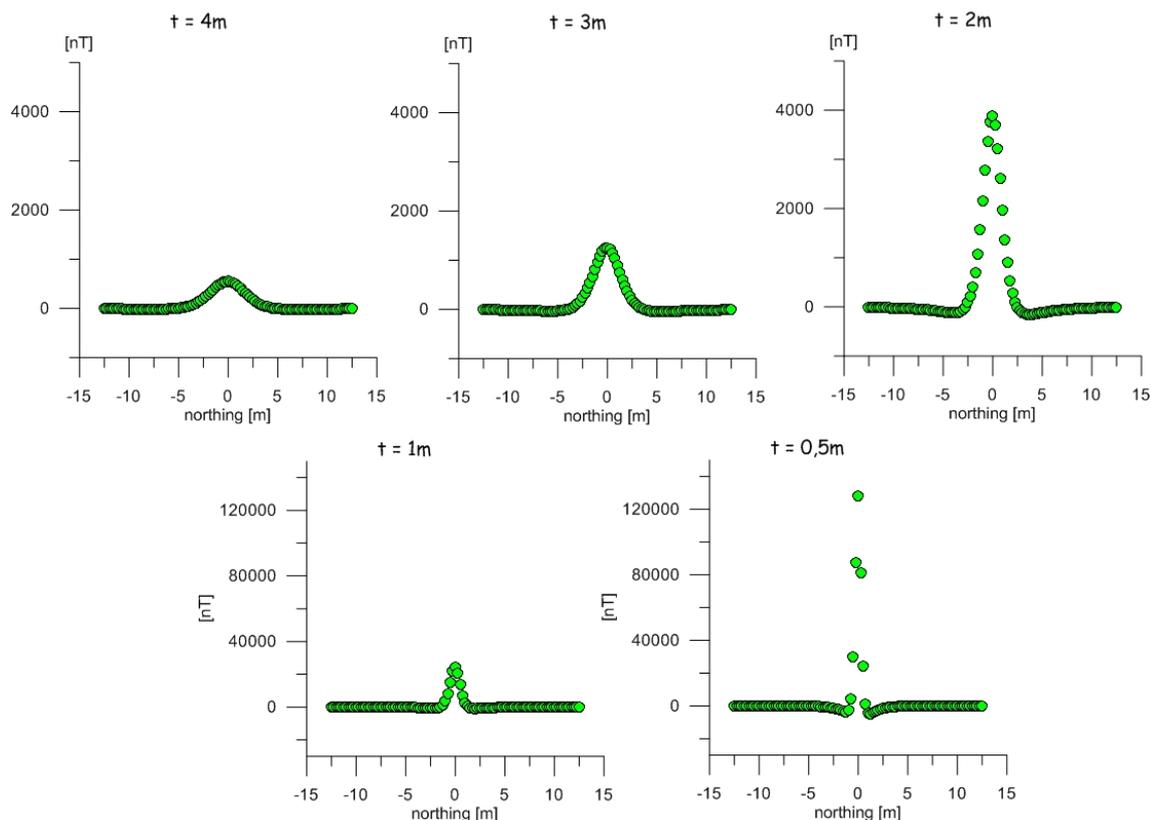


Abb. 3-6 Simulation einer Demo 500-lb M43 in Nord-Süd-Richtung entsprechend Tab. 3-4 mit $r = 0,18\text{ m}$, $k = 300$, $dx = 0,25\text{ m}$

Absichtlich wurde hier die Darstellung eines diskreten Samplings gewählt, um ebenso Erkenntnisse hinsichtlich der späteren Auswertung zu gewinnen. Es fällt dabei sofort ins Auge, dass im Falle sehr oberflächennah gelegener Störkörper ($t = 0,5\text{ m}$ bis $1,0\text{ m}$) die Abtastrate entsprechend dem Shannon'schen Samplingtheorem bereits an ihre vertretbaren Grenzen stößt. Da die zu untersuchende Grabenstruktur aber zum einen in tieferem Gewässer aufzufinden ist, zum anderen solch flach liegende, größere Quellen aufgrund des regen Betriebes während der Badesaison bereits entdeckt worden wären, ist ein aus dem gewählten Messpunktabstand resultierender möglicher Fehler innerhalb der späteren Felddaten vernachlässigbar.

Die Peaks der flachen Bereiche wurden besonders hinsichtlich δT_{MAX} dennoch zusätzlich mit kleinerem Sampling gerechnet, um sicher zu gehen, dass der jeweils angegebene Wert auch tatsächlich das zu erwartende Maximum repräsentiert.

Die gerundeten Simulationsergebnisse möglicher Sprengkörperanomalien sind in den Tabellen 3-5 bis 3-8 zusammengefasst. Die Simulation via Kugeldipol wurde aufgrund deren Funktionstüchtigkeit und Einfachheit gewählt.

Tab. 3-5 Übersicht Simulationsergebnisse Demo 500-lb M43

Input			Output			
Quellenradius	k [SI]	Tiefe	Breite in x	Breite in x+	Breite in y	δT_{MAX}
$\Gamma_{\text{Durchmesser}} = 0,180 \text{ m}$	300	4,0 m	18,0 m	11,0 m	10,0 m	750 nT
		3,0 m	14,0 m	8,5 m	8,0 m	1740 nT
		2,0 m	9,0 m	5,5 m	5,0 m	6040 nT
		1,0 m	4,0 m	2,5 m	3,0 m	48290 nT
		0,5 m	2,0 m	1,0 m	1,8 m	385310 nT
$\Gamma_{\text{Höhe}} = 0,751 \text{ m}$	300	4,0 m	18,5 m	11,0 m	11,0 m	53890 nT
		3,0 m	14,5 m	9,0 m	8,5 m	126440 nT
		2,0 m	10,0 m	6,0 m	6,5 m	438400 nT
		1,0 m	5,0 m	3,0 m	4,0 m	$3,5 \cdot 10^6 \text{ nT}$
		0,5 m	2,5 m	1,5 m	3,0 m	$27,9 \cdot 10^6 \text{ nT}$
$\Gamma_{\text{Volumen}} = 0,148 \text{ m}$	300	4,0 m	18,0 m	11,0 m	10,0 m	420 nT
		3,0 m	13,5 m	8,5 m	7,5 m	970 nT
		2,0 m	9,0 m	5,5 m	5,0 m	3360 nT
		1,0 m	4,5 m	2,5 m	3,0 m	26840 nT
		0,5 m	2,0 m	1,5 m	1,5 m	214180 nT
$\Gamma_{\text{Volumen}} = 0,148 \text{ m}$	50	4,0 m	18,0 m	11,0 m	10,0 m	70 nT
		3,0 m	13,5 m	8,5 m	7,5 m	160 nT
		2,0 m	9,0 m	5,5 m	5,0 m	560 nT
		1,0 m	4,5 m	2,5 m	3,0 m	4470 nT
		0,5 m	2,0 m	1,5 m	1,5 m	35700 nT

Tab. 3-6 Übersicht Simulationsergebnisse GP 500-lb AN M43

Input			Output			
Quellenradius	k [SI]	Tiefe	Breite in x	Breite in x+	Breite in y	δT_{MAX}
$\Gamma_{\text{Durchmesser}} = 0,138 \text{ m}$	300	4,0 m	17,0 m	10,5 m	9,5 m	350 nT
		3,0 m	13,0 m	8,0 m	7,5 m	800 nT
		2,0 m	9,0 m	5,5 m	4,5 m	2700 nT
		1,0 m	4,5 m	3,0 m	2,0 m	21750 nT
		0,5 m	2,0 m	1,5 m	1,5 m	173630 nT
$\Gamma_{\text{Höhe}} = 0,576 \text{ m}$	300	4,0 m	18,0 m	11,0 m	10,0 m	24720 nT
		3,0 m	14,0 m	9,0 m	8,0 m	58610 nT
		2,0 m	9,5 m	5,5 m	6,0 m	197800 nT
		1,0 m	4,5 m	3,0 m	3,5 m	$1,6 \cdot 10^6 \text{ nT}$
		0,5 m	3,0 m	2,0 m	2,0 m	$12,6 \cdot 10^6 \text{ nT}$
$\Gamma_{\text{Volumen}} = 0,149 \text{ m}$	300	4,0 m	18,0 m	10,5 m	9,5 m	420 nT
		3,0 m	14,0 m	8,5 m	7,5 m	990 nT
		2,0 m	9,5 m	5,5 m	5,0 m	3420 nT
		1,0 m	4,5 m	3,0 m	3,0 m	27390 nT
		0,5 m	2,0 m	1,5 m	1,5 m	218550 nT
$\Gamma_{\text{Volumen}} = 0,149 \text{ m}$	50	4,0 m	18,0 m	10,5 m	9,5 m	70 nT
		3,0 m	14,0 m	8,5 m	7,5 m	170 nT
		2,0 m	9,5 m	5,5 m	5,0 m	570 nT
		1,0 m	4,5 m	3,0 m	3,0 m	4570 nT
		0,5 m	2,0 m	1,5 m	1,5 m	36420 nT

Der Vergleich der beiden sehr ähnlichen Bombenkörper-Typen – Demo 500-lb M43 und GP 500-lb AN M43 – zeigt, dass geringe bautechnische Schwankungen innerhalb einer Gewichtsklasse kaum Einfluss auf die zu erwartende Wellenlänge der Anomalie zu haben scheinen, weshalb im weiteren Verlauf der Simulationen jeweils nur ein Vertreter einer Kategorie dargestellt wird.

Ähnliches gilt auch für die durch Goldmünzen hervorgerufenen magnetischen Anomalien in Tabelle 3-9, weshalb im Anschluss auch nur Berechnungen für zwei Vertreter dieser Münzgruppe zu finden sind.

Tab. 3-7 Übersicht Simulationsergebnisse Demo 100-lb M30

Input			Output			
Quellenradius	k [SI]	Tiefe	Breite in x	Breite in x+	Breite in y	δT_{MAX}
r _{Durchmesser} = 0,104 m	300	4,0 m	18,0 m	11,0 m	9,5 m	150 nT
		3,0 m	13,5 m	8,0 m	7,0 m	340 nT
		2,0 m	8,5 m	5,0 m	4,5 m	1160 nT
		1,0 m	4,5 m	2,5 m	2,0 m	9310 nT
		0,5 m	2,0 m	1,0 m	1,5 m	74320 nT
r _{Höhe} = 0,547 m	300	4,0 m	18,0 m	11,0 m	10,5 m	21170 nT
		3,0 m	14,0 m	8,5 m	8,0 m	48860 nT
		2,0 m	9,5 m	5,5 m	6,0 m	169400 nT
		1,0 m	5,0 m	3,0 m	3,0 m	1,4*10 ⁶ nT
		0,5 m	2,5 m	2,0 m	2,0 m	10,8*10 ⁶ nT
r _{Volumen} = 0,090 m	300	4,0 m	18,0 m	10,5 m	9,5 m	90 nT
		3,0 m	13,0 m	8,5 m	7,0 m	220 nT
		2,0 m	8,5 m	5,5 m	4,5 m	750 nT
		1,0 m	4,0 m	2,5 m	2,0 m	6040 nT
		0,5 m	2,0 m	1,0 m	1,0 m	48160 nT
r _{Volumen} = 0,090 m	50	4,0 m	18,0 m	10,5 m	9,5 m	20 nT
		3,0 m	13,0 m	8,5 m	7,0 m	40 nT
		2,0 m	8,5 m	5,5 m	4,5 m	130 nT
		1,0 m	4,0 m	2,5 m	2,0 m	1010 nT
		0,5 m	2,0 m	1,0 m	1,0 m	8030 nT

Tab. 3-8 Übersicht Simulationsergebnisse Frag 20-lb AN M41

Input			Output			
Quellenradius	k [SI]	Tiefe	Breite in x	Breite in x+	Breite in y	δT_{MAX}
$r_{\text{Durchmesser}} = 0,046 \text{ m}$	300	4,0 m	17,5 m	10,5 m	9,0 m	10 nT
		3,0 m	13,5 m	7,0 m	7,0 m	30 nT
		2,0 m	9,0 m	5,5 m	5,0 m	100 nT
		1,0 m	4,0 m	2,5 m	2,0 m	810 nT
		0,5 m	2,0 m	1,0 m	1,5 m	6430 nT
$r_{\text{Höhe}} = 0,248 \text{ m}$	300	4,0 m	18,0 m	11,0 m	9,5 m	1940 nT
		3,0 m	14,0 m	8,5 m	7,5 m	4680 nT
		2,0 m	9,0 m	5,5 m	5,5 m	15790 nT
		1,0 m	4,0 m	3,0 m	2,5 m	126300 nT
		0,5 m	2,5 m	2,0 m	2,0 m	$1,0 \cdot 10^6 \text{ nT}$
$r_{\text{Volumen}} = 0,064 \text{ m}$	300	4,0 m	17,5 m	10,5 m	9,5 m	30 nT
		3,0 m	13,5 m	8,0 m	7,0 m	80 nT
		2,0 m	9,0 m	5,5 m	5,0 m	270 nT
		1,0 m	4,0 m	2,5 m	2,0 m	2170 nT
		0,5 m	2,0 m	1,0 m	1,0 m	17320 nT
$r_{\text{Volumen}} = 0,064 \text{ m}$	50	4,0 m	17,5 m	10,5 m	9,5 m	10 nT
		3,0 m	13,5 m	8,0 m	7,0 m	15 nT
		2,0 m	9,0 m	5,5 m	5,0 m	50 nT
		1,0 m	4,0 m	2,5 m	2,0 m	360 nT
		0,5 m	2,0 m	1,0 m	1,0 m	2890 nT

Tab. 3-9 Übersicht Simulationsergebnisse Münzen

Input			Output		
Quellenradius	k [SI]	Tiefe	Breite in x	Breite in y	δT_{MAX}
einfacher Golddukat $r = 0,0004 \text{ m}$	$-3,63 \cdot 10^{-5}$	0,5 m	1,5 m	1,0 m	$5 \cdot 10^{-10} \text{ nT}$
ganze Krone $r = 0,0005 \text{ m}$	$-3,40 \cdot 10^{-5}$	0,5 m	1,0 m	1,0 m	$9 \cdot 10^{-10} \text{ nT}$
(Vereins-)Thaler $r = 0,007 \text{ m}$	$-2,30 \cdot 10^{-5}$	0,5 m	1,5 m	1,0 m	$6 \cdot 10^{-7} \text{ nT}$
10 Kreuzer $r = 0,004 \text{ m}$	$-2,30 \cdot 10^{-5}$	0,5 m	1,5 m	1,0 m	$3 \cdot 10^{-7} \text{ nT}$
½ Kreuzer $r = 0,004 \text{ m}$	$-1,24 \cdot 10^{-5}$	0,5 m	1,5 m	1,0 m	$2 \cdot 10^{-7} \text{ nT}$

Wie zuvor bereits angesprochen sind in Tabelle 3-9 nur Golddukat und ganze Krone aufgeführt, da sich die Goldmünzen weniger in Maßen und Zusammensetzung als in ihrem Gewicht unterscheiden, und auf diesem Weg beide Extrema dieser Münzgruppe vertreten sind, da der verwendete Kugelradius entsprechend Gl. 3.4.2.3 aus dem Goldvolumen berechnet worden ist. Dieses gilt ebenso für die Radien der Silber- und Kupfermünzen.

Zusammenfassend lässt sich nun festhalten, dass beim Blick auf die in Tabelle 3-9 erwähnten möglichen archäologischen Fundstücke wie den Münzen auffällt, dass diese von Seiten ihrer Wellenlänge zwar eine eindeutige Anomalie produzieren, aber aufgrund des geringen Maximums mit der Empfindlichkeit der Standardmagnetometer in Form eines Einzelfundstücks nicht aufzuspüren sein können. Aus diesem Grund wurden weitere Ausführungen nach Berechnung der Anomalie im Flachwasser, die aufgrund der geringen Distanz zum Sender das stärkste Signal produziert, verworfen.

Eine Anhäufung von etwa 5000 Münzen in Ufernähe käme beispielsweise in den durch PPMs registrierbaren Bereich – einen ungestörten Fall vorausgesetzt. Unterliegt aber das Gebiet aufgrund seiner Lokalität starken Schwankungen, fällt selbst eine so große Menge an Edelmetall noch in den Noisebereich hinein.

Zur gezielten Auffindung solcher Artefakte empfiehlt sich aus diesem Grund eines der in Kapitel 2.2 beschriebenen Nahverfahren. Aus archäologischer Perspektive sind so für das vorliegende Messprojekt maximal Veränderungen in der gegebenen Geologie registrierbar.

Die Sprengsätze produzieren im Bereich bis 3 m Tiefe starke magnetische Signaturen mit sehr großer Ausdehnung in der Fläche, weshalb sie gut erkennbar sein müssten. Einige der kleineren Sprengkörper, wie der Frag 20-lb – die allerdings bisher noch nie im Bereich der Alten Donau aufgefunden wurde – reichen zwar mit einem kleinsten Maximum von 10 nT bei einer Lage in 4 m Tiefe bereits in den Noisebereich hinein, dennoch müssten sie aufgrund ihrer Breite von mindestens 17,5 m × 9,0 m besonders in sehr sprunghaften Daten, wie sie vor Ort registriert wurden (siehe Kapitel 4), auffallen.

Im flachen Bereich ist ohnehin eine Ortung über Sichtkontakt zielgenauer und sinnvoller als ein allzu engmaschiges Messnetz.

3.5 Messkampagne „Alte Kaisermühlen“

Im November 2004 wurde vom ITRC ein über 60 Seiten starkes Paper mit dem Titel „*Geophysical Prove-Outs for Munition Response Projects*“ herausgegeben. Hierbei handelt es sich um die detaillierte Vorgehensbeschreibung der durch ITRC empfohlenen Testmessung zur Vorbereitung und Methodenprüfung eines Messprojekts, das zur Identifikation möglicher Munitionsüberreste und Sprengsätze dienen soll. Hierzu sollten Objekte – in ihren physikalischen Eigenschaften denen der zu erwartenden Artefakte entsprechend – vergraben, und mit den zuvor für das Originalprojekt gewählten Methoden wiedergefunden werden. Der Prospektionsvorgang hat zwecks Bewertung und möglicherweise notwendiger Kalibrierung dem einer nicht präparierten Feldmessung zu entsprechen.

Zwar war aus mehreren Gründen beim vorliegenden Projekt ein solcher Testlauf nicht möglich, dennoch bilden die im *Geophysical Prove-Out* (GPO) aufgelisteten Arbeitspunkte meines Erachtens nach sowohl für reine archäologisch motivierte als auch sprengkörperbezogene Messprojekte einen guten Leitfaden. Auf dessen Basis wurde somit auch bei der im Folgenden beschriebenen Projektplanung vorgegangen.

3.5.1 Planung

Neben der Produktion verwertbarer wie auch reproduzierbarer Ergebnisse war bei der vorliegenden Aufgabenstellung – hinsichtlich der grundsätzlichen Vorgehensweise – ein

wichtiges Augenmerk auf die Reduktion des zeitlichen und finanziellen Aufwandes der Messkampagne zu richten, da nur ein geringes Budget zur Deckung der Materialkosten von Seiten TRITONs zur Verfügung gestellt werden konnte. Als Ziel wurde daher ein möglichst guter Kompromiss zwischen Effektivität und Effizienz angestrebt.

Anzumerken ist, dass häufig – wie auch im vorliegenden Fall – der theoretisch ersonnene Messablauf aufgrund veränderter Ortsbedingungen oder unvorhergesehener Ereignisse an die vorgefundene Situation angepasst werden muss und daher von den Originalplänen abweicht.

Nachfolgend werden daher analog zur Vorgehensweise eines GPOs die Entwicklung der Originalplanung der Messkampagne sowie die aus verschiedenen Gründen notwendigen Adaptionen beschrieben.

Beschreibung des Survey-Areals

Soweit wie möglich sollte vor Planung einer Messkampagne das Messgebiet ausreichend bekannt sein. Dieser Forderung wurde mit der Beschreibung von Geologie und Historie der Alten Donau bzw. des Hafengebiets in den Kapiteln 3.1 bis 3.3 bereits Rechnung getragen.

Auswahl des Sampling- und Equipment-Designs

Die Messdurchführung (*Sampling-Design*) wird von der Art der Aufgabenstellung beziehungsweise deren Zielsetzung, der Topographie und der Vegetation des Messgebietes sowie den erhofften bzw. erwarteten Fundstücken beeinflusst. Folglich wurden diese Punkte zu Beginn so genau wie möglich formuliert und dokumentiert. Die Überlegungen hierzu wurden ebenfalls in Kapitel 3.3 über die Historie der Alten Donau und die daraus resultierenden möglichen Artefakte bereits ausführlich dargelegt. Nachfolgend wird eben nun die aus diesem Wissen resultierende Messdurchführung zum Planungszeitpunkt erläutert.

➤ Auswahl der Messmodi

Jede der im Planungsverlauf angedachten Konstruktionen, wie sie im Equipment-Design beschrieben werden, geht von einer manuellen Bedienung des mobilen Gerätes aus. Das bedeutet, dass das Magnetometer auf den Profilen nur dann einen Wert registriert, wenn der Operator dies wünscht, und nicht in festen zeitlichen Abständen.

Diese Entscheidung meinerseits lag darin begründet, dass eine Messung in festgelegten Zeitintervallen eine konstante Geschwindigkeit während des Messverlaufs fordert. Hierzu benötigt man – wie bei den Sonarmessungen durch TRITON eingesetzt – einen Motor, der allerdings im näheren Umfeld der Magnetikmessung eine enorme Störung verursachen würde.

Selbst wenn dieser am gegenüberliegenden Ufer so installiert werden könnte, dass ein ausreichender Abstand zu den Messpunkten bestünde, um nicht als Störquelle zu wirken, ließen sich dennoch die messuferseitig benötigten Gewinde nicht oder nur mit sehr großem Aufwand aus entsprechenden Materialien anfertigen, wodurch eine solche Messung in diesem Zusammenhang unrealisierbar wurde. Gefahr wäre hierbei weniger ein konstanter heading-error als eine Überdeckung der Anomaliesignale.

Allgemein ist bei all diesen (hoch-)empfindlichen Messgeräten bzw. bei der Erkundung schwacher Anomalien streng darauf zu achten, keine zusätzlichen Signalverfälschungen zu produzieren. Dies bedeutet nicht nur, die Geräte auf nicht-magnetischen Trägern zu installieren, sondern auch während des Messprozesses einen ausreichenden Abstand zu Batterie(n) und Elektronik der Kontrolleinheit zu wahren [Linford 2006].

Auch sind bei den die Messung durchführenden Personen auf am Körper getragene Materialien zu achten, um das zu registrierende Signal nicht zu beeinflussen. Entsprechend wurde bei der für die vorliegende Diplomarbeit durchgeführten Messung streng auf die Abwesenheit magnetisierbarer Stoffe geachtet.

➤ **Equipment-Design**

Während das Sampling-Design im Allgemeinen die zu verwendende Ausrüstung, Methode sowie auch das zur Verfügung stehende Personal beschreibt, legt die Beschreibung der Gerätekonstruktion (*Equipment-Design*) genauer fest, welcher Sensor-Typ, welches Positions- und Navigationssystem und welches Daten-Processing-System zu verwenden ist. Auch werden in diesem Abschnitt die zu beachtenden Faktoren zu den Aspekten Verwendung und Wahl beziehungsweise Konstruktion einer Messplattform diskutiert.

Im Falle der vorliegenden Diplomarbeit war die Plattformkonstruktion eine der am häufigsten veränderten Komponenten. Dieser Umstand findet seine Ursache zum einen in den besonderen Ansprüchen, die von Seiten der Geräte gestellt wurden – wie eine Konstruktion gänzlich frei von magnetisierbaren Materialien – und zum anderen in der Art des Messgebietes, das im Falle der Alten Donau zur Gänze unter Wasser lag.

Bei Messungen über Land stehen je nach Auftragsstellung, Topographie und Vegetation mit der Hand tragbare Geräte, gezogene Arrays, auf einer Plattform befestigte Konstruktionen sowie in Flugzeugen installierte Systeme zur Auswahl.

Bei einer Messung über Wasser ergibt sich nur die Möglichkeit der Wahl zwischen eigener Konstruktion einer schwimmenden Plattform bzw. Adaption eines (Schlauch-) Bootes und den bereits angesprochenen Schleppmethoden.

• **Plattform**

Da von TRITON der Wunsch aufkam, ein Verfahren zu entwickeln, das auf jegliche Form ähnlicher Fragestellung und Messgebietssituation anwendbar ist, stand während der gesamten ersten Planungsphase die Konstruktion einer eigenen Messplattform im Vordergrund. Für diese kristallisierten sich folgende Anforderungen heraus:

- nägel-, scharnier- und schraubenfreie Holzkonstruktion;
- schwimmend, ohne großen Tiefgang;
- Maße entsprechend der einzuhaltenden Mindestabstände;
- Transportabilität;
- Möglichkeit der präzisen Messpunktwahl;
- Möglichkeit zur manuellen Bedienung des Messgerätes;
- auch für großflächigere Messgebiete einsetzbar;
- Möglichkeit zur genauen Bestimmung der Sondenposition.

Unter Beachtung all dieser Bedingungen entstand als erste Idee ein Entwurf, der eine – sofern ohne Addition von Leim konstruiert – in ihre Einzelteile zerlegbare Holzplattform darstellt. Die Maße für die Holzkonstruktion wurden aus Überlegungen im Vergleich zu einer Messung an Land gewonnen. Ausschlaggebend war hier natürlich ein Mindestabstand zur Registrierungsapparatur, die als ein stromkreisführendes System durchaus selbst magnetische Wirkung haben und somit die Messergebnisse verfälschen könnte.

Neben Holz wurden hierbei von mir in Anlehnung an die zur Sonarmessung von TRITON 2008 verwendete kleinere Plattform mit Luft gefüllte Plastiktonnen als Auftriebskörper an den Seiten angedacht. Das Führungsseil sollte eingefädelt ein Abdriften der Plattform verhindern. Zusätzlich hätte bei einer solchen Konstruktion theoretisch auch die

Möglichkeit bestanden, sie in ausreichendem Abstand von einem motorisierten Boot ziehen zu lassen. Die Abbildung 3-7 zeigt das Konzept der fertigen Holzplattform; die Darstellungen der einzelnen Bauteile, sowie des angedachten Zusammenbaues finden sich im Anhang 6.4.

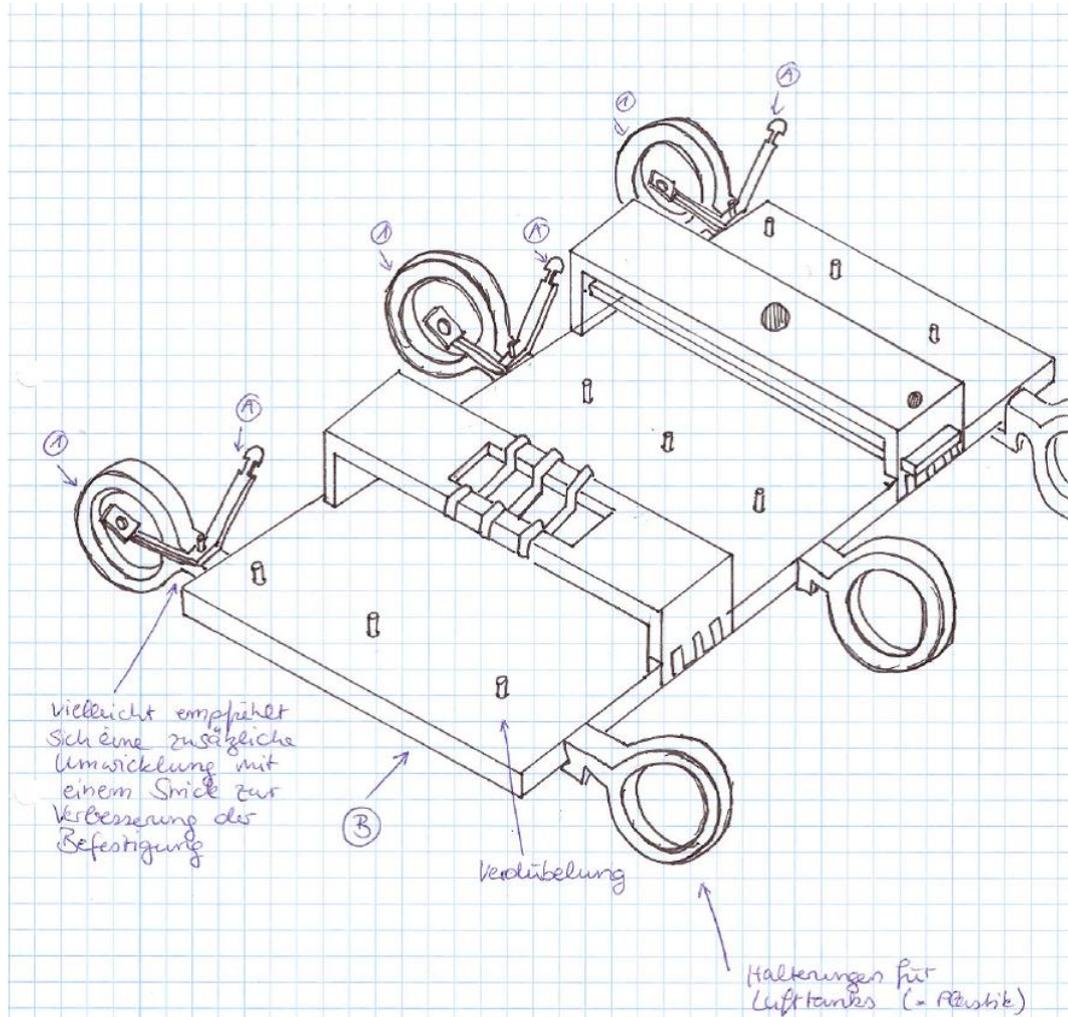


Abb. 3-7 Skizze der fertigen Plattformkonstruktion

Die Positionsbestimmung der Messsonde liefe im Idealfall über die Verwendung eines Prismas, das mittels einer an einem festen Punkt an Land aufgestellten Theodolitstation in regelmäßigen Zeitabständen eine genaue Standorterfassung relativ zur Basisstation ermöglichen könnte.

Die hierfür benötigten Anforderungen an das Messgebiet finden sich im weiteren Verlauf des Kapitels im Zuge der zur Messplanung gehörenden Überlegungen hinsichtlich wünschenswerten und (finanziell) möglichen Positionsbestimmungsverfahren.

Leider konnte dieses Design weder für die Testmessung im August 2009 noch für die Magnetikmessung im Juni 2011 verwirklicht werden. Hauptgründe dafür lagen weniger in der Notwendigkeit einer statischen Überarbeitung als in dem Material-, Konstruktions- und Transportaufwand, die den Rahmen einer Diplomarbeit gesprengt hätten.

Sollte das Projekt jedoch jemals vergrößert oder erneut aufgegriffen und ausgebaut werden, erscheint ein Wiederaufgreifen der zur Konstruktion getätigten Überlegungen sinnvoll.

• **Tragevorrichtung**

Somit musste für August 2009 auf eine reduzierte Alternative zurückgegriffen werden. Die Grundüberlegungen, die zu der zuvor erläuterten Entwicklung einer Messplattform führten, blieben jedoch erhalten und resultierten in einer aus nur wenigen Teilen bestehenden Holzvorrichtung, deren Vorteil in der Möglichkeit eines multifunktionalen Einsatzes besteht.

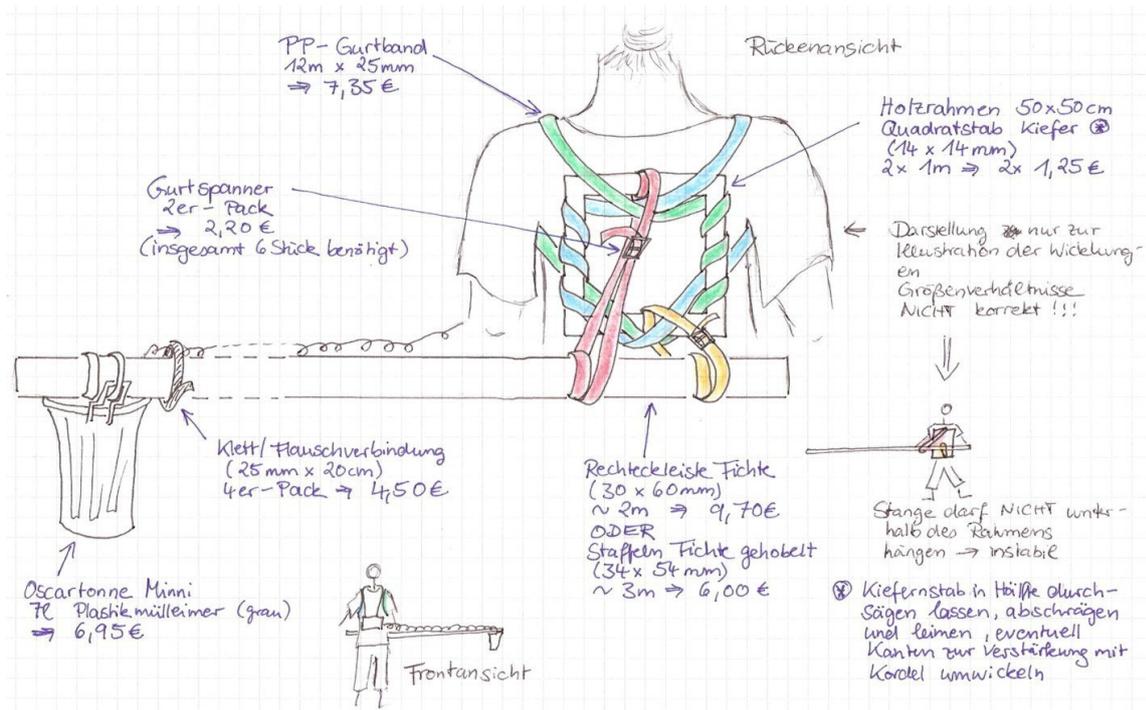


Abb. 3-8a Planungsskizze der Tragekonstruktion 2009

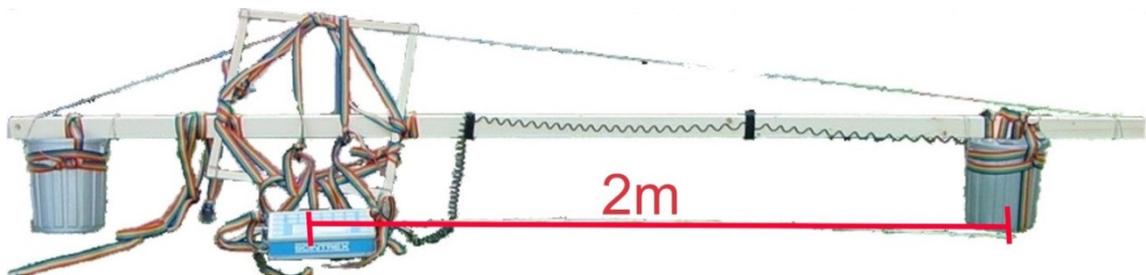


Abb. 3-8b Umsetzung der Tragekonstruktion 2009

Hierbei wurde die Holzkonstruktion – bestehend aus einem ca. 3 m langen Balken, zwei Plastikeimern, Gurten und einem Holzrahmen – auf den Rücken geschnallt (Abb. 3-8). Bei der für flachere Gewässer bzw. Uferbereiche geeigneten Messvariante dient der Rahmen als Befestigungs- und Stabilisierungsvorrichtung. Mittels zweier Spanngurte erhält man Schultergurte, der zum Austarieren des Sondengewichtes dienende Eimer wird – im ein-

fachsten Fall – wieder mit Wasser befüllt und die Registriereinheit ist – genau wie bei einer üblichen PPM-Messung an Land – um den Hals zu tragen. Das Gewicht der Konstruktion ist an Land für eine Person von durchschnittlicher Größe und Kraft durchaus zu bewältigen, während es in der Messsituation – sprich zwischen hüft- und taillentief im Wasser stehend – nahezu gänzlich durch den Auftrieb der Holzkonstruktion ausgeglichen wird.

- **Boot**

Aufgrund der zunehmenden Tiefe der Alten Donau in Richtung Gänsehäufel und dem zu untersuchenden Graben war für die Magnetikmessung 2011 erneut nach einer schwimmenden Bauvariante zu suchen. Diese gibt die Möglichkeit einer Änderung der Profilrichtung gegenüber der auf dem Rücken getragenen Konstruktion, da wattend immer nur parallel zum Ufer und somit zur Grabenstruktur gemessen werden kann. Die für den ufernahen Bereich noch adäquate Methode scheitert naturgemäß bei jeder Wassertiefe, die in etwa die 1,50 m übersteigt.

Aus Transportgründen wurde der, in der Tragevorrichtung präsentierte Balken in zwei 1,5 m lange Teile zerlegt, die nun über ein ebenfalls hölzernes Stecksystem wieder miteinander verbunden werden können. Dadurch kommt die gesamte Konstruktion ohne jegliche Nägel und Scharniere aus, lässt sich aber dennoch in einem mittelgroßen Kraftfahrzeug problemlos unterbringen. Der große Vorteil in dem so gestalteten Holzgestell liegt darin, dass es sowohl für Messungen von einem Boot aus als auch für Messungen ohne Boot verwendet werden kann. Auf einem Schlauchboot platziert kam eben dieses System bei der Messkampagne im Juni 2011 zur Anwendung. Diese Form der Messgerätekonstruktion diente zur Messung über Bereiche hinweg, die aufgrund der Wassertiefe nicht bzw. nicht mehr wattend erreicht werden konnten. Die Abbildung 3-9 zeigt die Konstruktion im Feld. Markierungen auf dem Holzbalken ermöglichen auch nach mehreren Auf- und Abbauten eine genaue Positionierung des Gerätes, um die Konstanz der Messwert- wie auch der Geräteabstände zu gewährleisten.

Der Vorteil der Einbindung eines (Schlauch-)Bootes liegt außerdem darin, dass selbiges vor und nach der Messung gut zum Auf- und Abbau verwendet werden kann.

So konnte vor, während und nach der Messkampagne im Juni 2011 zum einen von einem ans andere Ufer übergesetzt werden, um die Endpunkte des verwendeten Führungsseils zu befestigen. Zum anderen war ein Materialtransport auf die gegenüberliegende Uferseite nötig und auf diese Weise gut möglich, um dort die Basisstation aufzubauen. Diese hatte während der Probemessung im August 2009 an profilsseitiger Position starke Schwankungen aufgezeichnet, die augenscheinlich lokale Ursachen vermuten ließen, die durch Versetzung der Basis ans gegenüberliegende Ufer vermieden werden sollten.



Abb. 3-9 Holzkonstruktion in Verwendung mit einem Schlauchboot

Survey-Coverage Scheme

Hierbei werden die Parameter zur Datengewinnung im Feld festgelegt. Dies beinhaltet Profillinien- und Sampleabstand sowie allgemein das gewählte Messmuster – also Grid, radiale Messwege etc., wie auch präzisere Ausführungen zu Art und Weise der Positionsbestimmung.

Die Auswahl des Messequipments wurde entsprechend des Sampling- und Equipment-Designs getroffen.

➤ Messdesign

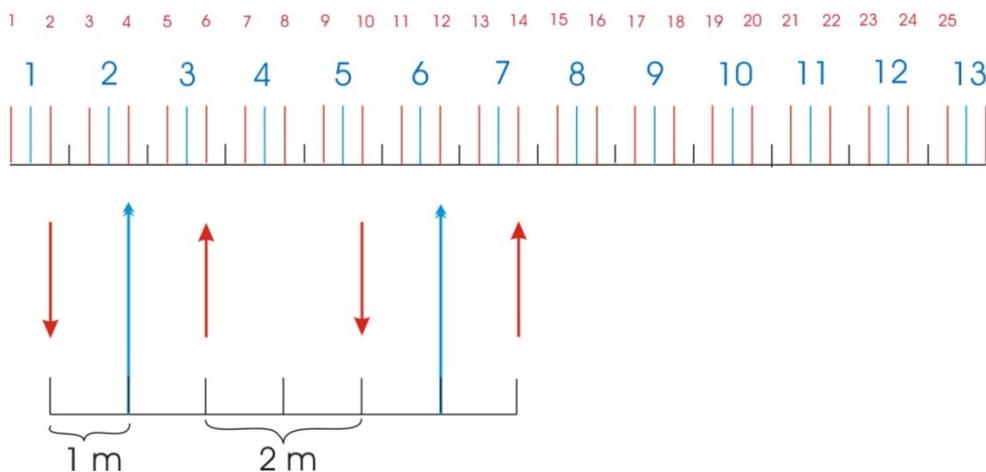


Abb. 3-10 Skizze Profilanordnung, Seilführung (blau) und Bewegungsrichtung (rot)

Für die Erstellung des Messnetzes galt es ein möglichst ökonomisches System zu finden, um Zeit zu sparen, und den notwendigen Aufwand möglichst gering zu halten.

Für das Mess- bzw. Grid-Design wurde hinsichtlich des Zeit- und Personalfaktors das in Abbildung 3-10 dargestellte Prinzip angedacht.

Um einen gewissen flächenhaften Aspekt zu erhalten, wird hierbei ein Führungsseil zwischen zwei Profillinien positioniert und die Strecke zweifach gefahren, wobei während der West-Ost-Bewegung die PPM-Sonde ca. 1 m gen Norden ragt (= *Profil 1*), auf der Ost-West-Bewegung im gleichen Abstand gen Süden (= *Profil 2*) steht. Die roten Pfeile geben die Bewegungsrichtung der Messdurchführenden an, die somit gegengleich zur Bewegungsrichtung der Sonde auf dem jeweiligen Profil zu verstehen ist.

Mittels dieses Systems erhält man die Information zweier Profile im Abstand von 2 m zueinander. Die nächste Führungslinie wird im Abstand von 4 m gespannt, wodurch man ein Grid mit 2 m Profillinienabstand und im vorliegenden Fall 25 cm Messpunktabstand gewinnt.

Diese Verfahrensweise ist in Anbetracht des Messzieles, Informationen aus dem tieferen Bereich des Grabens zu gewinnen, adäquat, da laut Reid (1979) bei einem der Messtiefe ähnlichen Messpunktabstand der durch Aliasing hervorgerufene Fehler vernachlässigbar gering ist. Somit stellt ein Profillinienabstand von 2 m im zu diskutierenden Messprojekt einen akzeptablen Kompromiss dar. Eine tabellarische Kalkulation diesbezüglich findet sich in Anhang 6.3.

Für ein Messgebiet < 50 m benötigt man so ca. 12 bis 13 solcher doppelten Profile. Bei einem Drei-Tage-Messprojekt bedeutet dies im Idealfall 4 bis 5 Längen bzw. 8 bis 10 Messungen pro Tag durchzuführen.

Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt darin, dass pro Auslage zwei Profile gemessen werden können, wodurch der Zeitverlust durch Umsetzen der Führung minimiert wird.

Entsprechend wurden zur Durchführung der Messkampagne eben 2 bis 3 Tage angesetzt, basierend zum einen auf den messbedingt notwendigen Maßnahmen, zum anderen auf den aus der Testmessung im Jahr 2009 gewonnenen Erfahrungen, auf die in Kapitel 3.5.2 zur Messdurchführung kurz eingegangen wird.

Dieser angedachte Messablauf musste als Folge gerätetechnischer Problematiken jedoch um eine Woche nach hinten verschoben, wie auch aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen zeitlich eingekürzt werden. Diese Verzögerung des gesamten Ablaufs lag darin begründet, dass zum geplanten Abholungstermin trotz vorangegangener Vereinbarung die beiden Protonenpräzessionsmagnetometer der Geologischen Bundesanstalt nicht zur Verfügung standen. Somit konnte die Messung nicht wie geplant, sondern nur mit innerhalb kürzester Zeit umorganisiertem Messablauf durchgeführt werden. Das größte Problem lag hierbei in einer Neuorganisation der Messgeräte, da sämtliche Magnetometer bereits für längere Messprojekte in Umlauf waren und somit derart kurzfristig nicht zur Verfügung standen. Aus diesem Grund wurde die Messung in 2011 nicht wie vorgesehen mit den Protonenpräzessionsmagnetometer der Firma SCINTREX aus dem Besitz der GBA, sondern mit den freundlicherweise von der Montanuniversität Leoben durch Prof. Scholger als Leihgabe zur Verfügung gestellten Magnetometern – einem Overhauser- und einem einfachen PPM – der Firma GEM Systems durchgeführt.

Durch die terminliche Verschiebung musste ein Feiertag als Messtag miteingeplant werden, an dem die zuständige Österreichische Wasserstraßen-GmbH „via donau“ leider keinen längeren Messdurchgang gestattete. Des Weiteren stehen die Magnetometer der Universität Leoben in fortwährendem Gebrauch, weshalb sie nach zwei Messtagen aus finanziellen und terminlichen Gründen bereits retourniert werden mussten.

Die nun aufgrund der gegebenen Umstände adjustierten Rahmenbedingungen ergaben eine Messung am Montag, den 13.06.2011, von 06:00 Uhr bis 11:00 Uhr, und eine am Dienstag, den 14.06.2011, von 06:00 Uhr bis 15:30 Uhr vor, an die sich auf Kosten der akquirierten Datenmenge auch gehalten wurde.

➤ **Positionsbestimmung**

Besteht die Möglichkeit, das zu verwendende Gerät zur Positionsbestimmung zu wählen, so sind als Haupteinflussfaktoren Genauigkeit, Kosten, Terrain und Baumlinie beziehungsweise Bewuchsgrenze zu nennen, und als solche in die Entscheidung mit einzubeziehen. Auch hier variieren die zur Verfügung stehenden Verfahren vom Einsatz einfacher trigonometrischer Relativmessungen – wie in der vorliegenden Arbeit angewandt – bis hin zu höchst präziser Lasertechnik, differentiellm GPS, Entfernungsbestimmung mittels Ultraschall (*ultrasonic radio ranging*) und der Verwendung von inertialen Navigationssystemen (*inertial navigation system*). Bei entsprechendem Kapital bietet sich ebenso die Verwendung einer RTS (*robotic total station*) an, die mit einer Art automatischer Zielerfassung Teil eines Laser-tracking-Systems ist und mit einer Genauigkeit von ± 5 mm aufwarten kann [Billings & Youmans 2007]. Dies stellt eine Erleichterung für die durchführenden wie auch für die auswertenden Personen dar, denn auch bereits Sensorgröße und Messgeschwindigkeit haben einen starken Einfluss auf die korrekte Lokalisierung und spätere Relokalisierung der Anomalien im Feld. Zu diesen kommen als erschwerende Aspekte die Bewegungen der Plattform, mögliche Fehler in der Datenanalyse und Fehleranfälligkeit bezüglich des Zeitabgleiches zwischen den einzelnen beteiligten Geräten.

In den Bereich des RTS fällt auch das bereits hinsichtlich der Konstruktion einer Holzplattform angesprochene Verfahren mittels eines auf der mobilen Einheit befestigten Prismas und verfolgendem Theodoliten als Basispunkt. Dieses System funktioniert einwandfrei, solange eine Sichtverbindung zwischen Theodolit und Prisma besteht, da erstgenannter in Sekundenabständen mittels reflektierten Lichtstrahls genau die Position des Prismas in Relation zu seinem Standort über eine Distanz- und Winkelmessung bestimmt. Kann die Einhaltung fester Messpunktstände beispielsweise aufgrund vorkommender Strömungen nicht garantiert werden, oder handelt es sich sogar um ein weitläufigeres Gebiet, das jedoch über einen möglichst frei stehenden, erhobenen Geländepunkt verfügt, erscheint diese Methode ein Muss.

Aus organisations- und finanztechnischen Gründen als durchaus glücklich zu bezeichnen ist der Umstand, dass es sich bei der Alten Donau um ein Binnengewässer handelt, das de facto so gut wie keine Strömungen aufweist, welche einen Einfluss auf die tatsächliche Messpunktlokalisierung haben könnten. Auch wurden das in der Messung schließlich zum Einsatz gekommene Führungsseil zusammen mit der Holzkonstruktion durch Markierungen so präpariert, dass die Messpunkte immer in gleichem Abstand zueinander lagen und somit ein Einmessen der Anfangs- und Endpunkte zur korrekten Relokalisierung ausreichen muss. Dazu wurde das Seil für die ersten 40 m, über die die Messprofile reichen, doppelt genommen und alle 25 cm per Hand ein roter Faden so geknüpft, dass er weder durch Reibung, noch durch die Bewegung im Wasser während des Auf- und Abbaus verrutschen konnte. Dieses in sich relative System war mit seinen Eckpunkten im Auswertungsschritt dann nur noch in ein adäquates bzw. das gewünschte Koordinatensystem einzubetten.

Der Rest des Seils wurde mittels Achterknoten vertäut und einfach weitergeführt, um eine optimale Befestigung am gegenüberliegenden Ufer zu gewährleisten.

Sollte jedoch in Zukunft eine ähnliche Messung angedacht werden, bei der die zur Verfügung stehenden Mittel und Mitarbeiter über das Minimum, mit welchem während der

vorliegenden Messung gearbeitet wurde, hinausgehen, wäre die elegantere Variante vorzuziehen.

Qualitätskontrolle

Um die Qualität der Felddaten und die daraus resultierende Zuverlässigkeit der Interpretationsergebnisse möglichst gut einschätzen zu können, empfiehlt der ITRC verschiedene Gerätetests im Feld:

1. **Statische Tests** werden in einer ruhigen Umgebung und im Verweilen auf einer Position durchgeführt, um möglichen Instrumentennoise zu ermitteln.
2. **Schüttel-Tests** dienen zur Informationsgewinnung bezüglich der Reaktion der Messgeräte auf Bewegung.
3. **Wiederholungsmessungen** dienen zur Kontrolle der Daten und des Gerätes innerhalb des Messprojektes.

Aufgrund des stark limitierten Zeitplanes war eine konsequente Umsetzung dieser Tests im Zuge der Feldmessung nur eingeschränkt möglich. Dass trotzdem valide Ergebnisse erzielt werden konnten, wird im Kapitel 4 noch ausführlich dargestellt.

Die restlichen im GPO angesprochenen Verfahrenspunkte betreffen die Exkavation der Fundobjekte und sind somit für das vorliegende Projekt, bei dem der Schwerpunkt allein auf Darstellung der lokalen Gegebenheiten innerhalb des Interessensgebiets lag, nicht von Belang.

3.5.2 Durchführung

Testmessung 2009

Die Testmessung wurde mittels zweier PPMs der Firma SCINTREX im relativ flachen, ufernahen Bereich wattend durchgeführt (Abb. 3-11); die Resultate wurden zur Ergebnisbewertung und Interpretation der endgültigen Messung (siehe Kapitel 4) herangezogen.

An zwei Messtagen im August 2009 wurden gegen Nachmittag jeweils zwei uferparallele Profile abgegangen. Die Basismessstation befand sich – wie Basislinie und Profile – ebenfalls am westlichen Ufer, wurde allerdings aufgrund nicht funktionstüchtiger Kommunikation zwischen PC und Gerät alle zwei Minuten manuell betätigt und abgelesen. Diese Position stellte sich bei späterer Betrachtung der Werte – vermutlich aufgrund der nahen Wohnsiedlung – als ungünstig heraus.

Des Weiteren zeigte sich während der Messung mit Tragekonstruktion, dass besondere Vorsicht auf die Befestigung des Sondeneimers zu legen ist. Durch den Wasserauftrieb wurde dieser Eimer innerhalb des ersten Messdurchganges gelegentlich bis zu 30° angewinkelt, was zu Korrekturzwecken eine Unterbrechung des Messvorganges nach sich zog. Zwar reagierten die Daten augenscheinlich nicht auf eine Veränderung des Winkels während der Messung, allerdings führt eine Neigung der Sonde natürlich zu einer Änderung des Einzugsbereichs des von der Messapparatur registrierten Feldes. Am zweiten Tag der Probemessungen ließ sich dieses „Phänomen“ allerdings rasch mittels geänderter Gurtführung beheben, was gleichzeitig auch verdeutlicht, dass von der Verwendung eines voluminöseren Eimers zur Erreichung einer größeren Eindringtiefe der Sonde abzuraten ist, sofern man keine geeignete Beschwerungsmöglichkeit aufbringen kann. Die Verwendung eines Schlauchs für selbigen Zweck ist nur zu empfehlen, wenn eine ausreichend stabile Rahmenkonstruktion und somit die genaue Positionsbestimmung der Sonde gewährleistet werden kann.



Abb. 3-11 Trageversion der Holzkonstruktion in der Messsituation (VIII. 2009)

Messkampagne 2011

➤ Messdesign

Wie im Kapitel 3.5.1 über die Messplanung beschrieben, haben die Feldsituation wie auch die aus 2009 gewonnenen Erfahrungen zu einigen Änderungsmaßnahmen geführt.

Die ersten Änderungen erfuhr die geplante Messausrüstung, da bereits der Ablauf der Probemessung einige verbesserungsbedürftige Prozessabläufe aufzeigte. Hauptfaktoren waren auch hierbei primär transporttechnische, zeitliche und finanzielle Aspekte. Des Weiteren zeigte sich in der Organisation des Ganzen ein beachtlicher Aufwand. Hierunter fielen neben den Besorgungen der benötigten Einzelteile die zeitliche Koordination von Leihgeräten und Mitarbeitern sowie im Besonderen eine Absprache und Kompromissfindung zwischen Durchführenden und offiziell zuständigen Stellen.

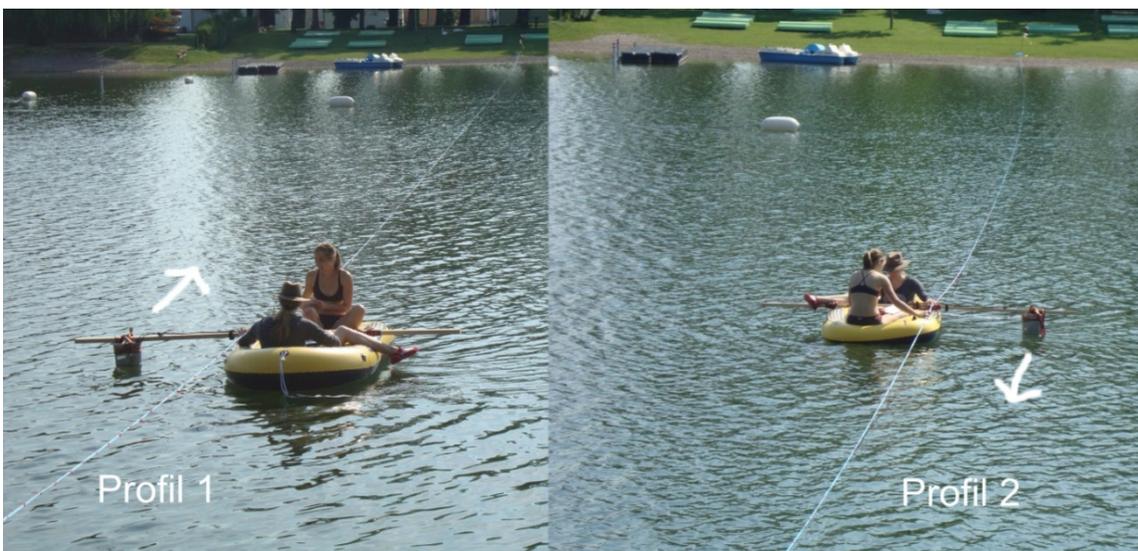


Abb. 3-12 Profilmessrichtung (durch weiße Pfeile angezeigt)

Zur Vervollständigung befindet sich hierzu eine Liste der benötigten Materialien in Anhang 6.3.

Ein anderer adaptionsbedürftiger Punkt innerhalb der ursprünglichen Planung fand sich in der Befestigungskonstruktion der Messapparatur. Wie bereits ausführlich in Kapitel 3.5.1 beschrieben wurde die Messsonde auf dem Holzbalken in einem Abstand von 1 m zum Bootsrand und somit den Messpunkten installiert, um Störungen durch die Registrierapparatur zu vermeiden. Durch Wenden und Rückführung des Bootes wurde hierbei das zweite Profil im Abstand von 2 m zum ersten registriert (siehe Abb. 3-12).

Vor Ort ergab sich, dass aufgrund des zeitlich doch größer ausfallenden Aufbauaufwandes die ursprünglich entworfene und durch die notwendige Verlegung des Messtermins bereits eingeschränkte Messplanung zur Abdeckung eines Grids von 36 mal 40 m nicht realisierbar war. Dies hatte eine deutliche Auswirkung auf die Wahl der Messgebietsgröße und die somit im Nachhinein zur Verfügung stehende Datenmenge. War die Idee des ersten Planungsstadiums noch gewesen, 20 Profillinien mit einer Länge von 36 m im Abstand von 2 m und einem Messpunktabstand von 25 cm zu prospektieren, so wurde die Zahl bereits vor Messbeginn auf insgesamt 18 Messprofile reduziert, was in der Summe einem Grid von 36 m mal 34 m entspräche. Während der Durchführung der Messung musste allerdings auch diese Zahl erneut auf 10 m Basislänge nach unten korrigiert werden. Trotz dieser notwendigen Einschränkung der aus der Messung resultierenden Datenmenge konnte eine der Zielsetzung entsprechende Interpretation der Vorortsituation abgegeben werden (siehe Kapitel 4).



Abb. 3-13 Übersicht des Messaufbaus (VI. 2011)

Die Ausführung an sich, sprich ein Profilabstand von 2 m und ein Messpunktabstand von 25 cm, konnte dafür problemlos beibehalten werden. Dies bedeutet, statt der 20 Profile standen am Ende für die Auswertung im Gebiet von Interesse insgesamt nur noch 6 Profile zur Verfügung, wobei auf zweien (Profil 3 und 5) eine zusätzliche Messung mit einem Punktabstand von 1 m durchgeführt werden konnte. Diese tragen den geforderten Wiederholungsmessungen als eine mögliche Qualitätsprobe Rechnung.

Als letzter Punkt ist anzumerken, dass sich auch die Organisation der Messgeräte – einer der wichtigsten Faktoren einer Messreihe –problematisch gestaltete.

Nach der Neuorganisation wurde zur Registrierung des Umgebungsfeldes nun ein GEM Systems Protonenpräzessionsmagnetometer verwendet, zur mobilen Messung diente das aufgrund der zu Grunde liegenden Technik etwas zügiger registrierende Overhauser-Magnetometer von gleicher Firma.

Die Abbildung 3-13 verdeutlicht die Messstruktur im Feld an beiden Tagen in 2011.

➤ **Basismessung**

Das PPM zur Gewinnung der Basisdaten wurde an dem Ufer des der Messstelle gegenüber liegenden Polizeistrandbades aufgestellt. Dieser Platz wurde gewählt, da er sich zum einen noch in ausreichender Nähe zu den Messpunkten befand, um eine sinnvolle Aussage bezüglich des Umgebungsfeldes liefern zu können, zum anderen weit genug von selbigen entfernt, um nicht als Störfaktor in die Messung einzuwirken. Ein weiterer Aspekt der Platzwahl fand sich auch in der so entstandenen Entfernung zu den Wohngebäuden auf der Uferseite des Messgebietes. Diese sollte den auf das Messgerät ausgeübten Einfluss – dessen Existenz die auf eben dieser Uferseite an der Basis erhaltenen Schwankungen während der Messungen im August 2009 verdeutlichen – soweit wie möglich reduzieren. Zusätzlich bot das Polizeistrandbad genügend Platz, um die Basis auch im Hinblick auf Gäste des Bades oder des angrenzenden Restaurants störungsfrei zu platzieren.

Die Registrierung des Umgebungsfeldes fand automatisch jede Minute statt, die Messdauer betrug jedes Mal – wie auch bei dem mobilen Messgerät der Fall – 2 s, um durch Mittelung den Einfluss potentieller, kurzfristiger Störungen minimieren zu können.

Auch wurde die Basis als erstes Gerät in Betrieb genommen, um so nicht nur die Zahl der registrierten Datenwerte zu erhöhen, sondern auch bezüglich des Umgebungsfeldes einen ausreichenden Eindruck hinsichtlich möglicher Schwankungen zu gewinnen. Die Darstellung des Vergleichs mit den Magnetfelddaten der ZAMG in Kapitel 4 über Auswertung und Interpretation zeigt, dass dies auch geglückt ist.

Eine kurze Information bzgl. der verwendeten Messgeräte findet sich in Anhang 6.5.

➤ **Feldprozedur**

Die Messdaten der Profile 1, 3 und 5 wurden vom westlichen Ufer der Alten Donau weg, den Graben kreuzend, in Richtung des Polizeistrandbads geführt. Das entspricht einer West-Ost-Bewegung bzw. einer Bewegungsrichtung von ca. 70°, während die Messungen auf den Profilen 2, 4 und 6 in Gegenrichtung bzw. einer Bewegungsrichtung von 250° durchgeführt wurden.

Darüber hinaus ist noch zu erwähnen, dass aufgrund des starken Wurzelwuchses an der Uferkante der Basislinie die einzelnen Profile nicht immer auf gleicher Höhe begonnen werden konnten, wie es ebenfalls im anschließenden Kapitel 4 dargestellt wird.

Zur Messung befanden sich immer zwei Personen im Schlauchboot: eine zur Bedienung des Messgeräts, die andere als Protokollantin (Abb. 3-9 und 3-12). Zusätzlich sorgte der Abstand beider, das Führungsseil haltenden Personen für eine Stabilisierung des Boots während der Messung, um ein mögliches Abdriften und somit ein Verschieben der Messpunkte so gut wie möglich zu vermeiden.

Die Fortbewegungsgeschwindigkeit zwischen den einzelnen Messpunkten war aufgrund des gewählten Messmodus einer manuellen Registrierung ohne Belang.

4 Auswertung und Interpretation

Im Gegensatz zu einer Messung auf dem offenen Feld verbirgt sich in der Messsituation innerhalb städtischen Gebiets aus geophysikalischer Sicht eine Reihe an Unwägbarkeiten, die neben denen den Messablauf betreffenden Störungen auch solche mit direkter Wirkung auf den Messvorgang und somit die Qualität bzw. Lesbarkeit der Rohdaten beinhalten können. Eben jener Einfluss der das Messgebiet vorliegender Arbeit umgebenden Besiedlungssituation manifestiert sich in Sprüngen der Datenwerte zwischen den einzelnen aufeinanderfolgenden Registrierungen in Größen von 2 nT bis zu 1600 nT – eine enorme Variationsbreite, die sich mit den gesuchten und in Kapitel 3.4 simulierten Anomalien nicht erklären ließe. Somit waren bestimmte Bearbeitungs- und Anpassungsschritte notwendig, um die registrierten Messdaten auch sinnvoll interpretieren zu können.

Folglich gliederte sich die der Messung anschließende Auswertung der im Feld gewonnenen Daten in:

1. die Darstellung und Tauglichkeitsprüfung der Basisdaten durch Vergleich mit den am Cobenzl gewonnenen ZAMG-Messdaten der entsprechenden Tage,
2. die Basiskorrektur der Profildaten von 2009 und 2011,
3. eine zeitliche Darstellung der basiskorrigierten Daten zur Analysierung und Eliminierung von Ausreißern und/oder zu stark gestörten Registrierungen,
4. eine relative Darstellung der übrigen, hinsichtlich einer Interpretation verwertbaren Daten zur ersten Analyse möglicher Strukturen sowie
5. eine flächenhafte Darstellung der überbleibenden Daten nach dem Gridding.

4.1 Rohdaten

4.1.1 Basisstation

Wie in Kapitel 3.5 geschildert, erwies sich der 2009 gewählte Basisstandort aufgrund der Registrierung zu hoher sowie stark schwankender Werte als untauglich. Daher wurden zur Basiskorrektur der im Zuge jener Testmessung gewonnenen Daten von vorneherein die analog zu 2011 angepassten ZAMG-Registrierungen herangezogen.

Die Wahl der Basisstation des Messprojekts von 2011 erwies sich auch im Vergleich mit den Cobenzl-Registrierungen als akzeptabel. So lässt sich in Abbildung 4-1 besonders im dargestellten Verlauf des 14.06.2011 gut erkennen, dass die tieffrequenten Schwankungen, die die ZAMG aufzeichnete, auch an der vor Ort aufgestellten Basisstation entsprechend registriert wurden.

Hierzu sei ebenfalls auf Abbildung 4-2 verwiesen, in der die jeweiligen Amplitudenspektren beider Messtage dargestellt sind. Im Vergleich der Basisregistrierungen untereinander zeigt sich hier nämlich deutlich der nicht-stationäre Charakter des Signals. So lassen sich die Perioden des 13.06.2011 eben nicht in den Registrierungen vom Folgetag wiederfinden. Dies führt zu dem in der Abbildung 4-4 gut erkennbaren Phänomen, dass die mittels ZAMG-Daten korrigierten Messwerte wesentlich ruhiger erscheinen, als jene, die mit den vor Ort aufgezeichneten Basiswerten korrigiert wurden.

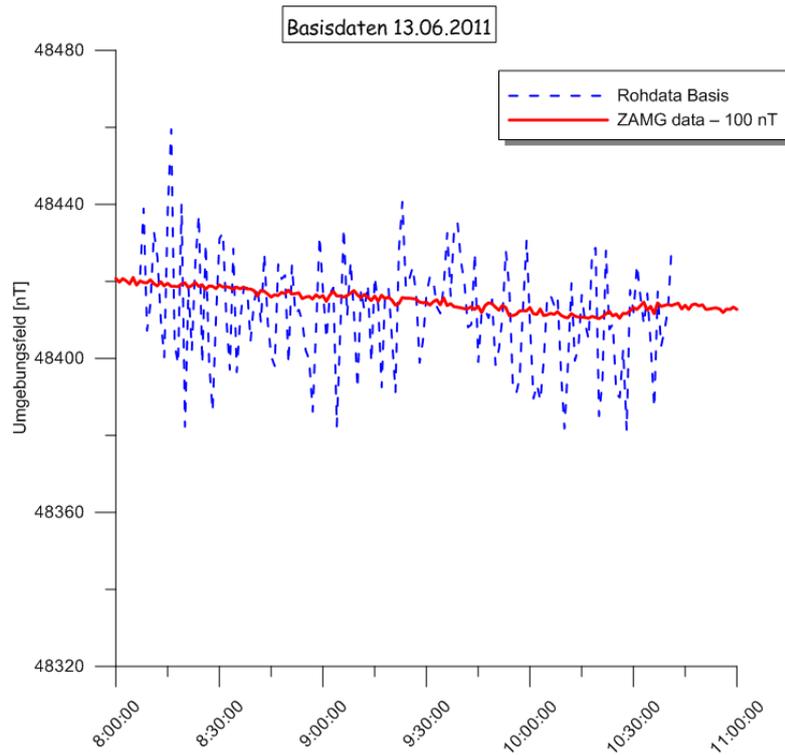


Abb. 4-1a Vergleich von ZAMG-Daten und Basisregistrierungen 13.06.2011 nach Korrektur des Offsets

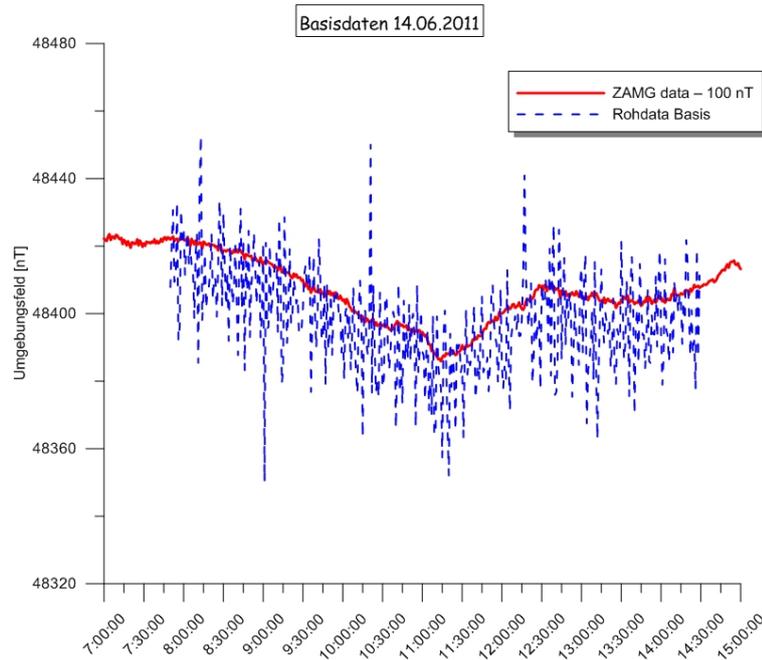


Abb. 4-1b Vergleich von ZAMG-Daten und Basisregistrierungen 14.06.2011 nach Korrektur des Offsets

Bei dieser Form der vergleichenden Darstellung der Daten lassen sich die durch Messung innerhalb urbanen Gebiets bedingten Störungen der Basisregistrierungen gegenüber den Aufzeichnungen der ZAMG im Cobenzl sehr gut erkennen.

Der temporäre beziehungsweise nicht-stationäre Charakter der vor Ort durchgeführten Basismessungen zeigt sich – wie bereits erwähnt – besonders deutlich in der Amplitudendarstellung beider Messtage (Abbildung 4-2).

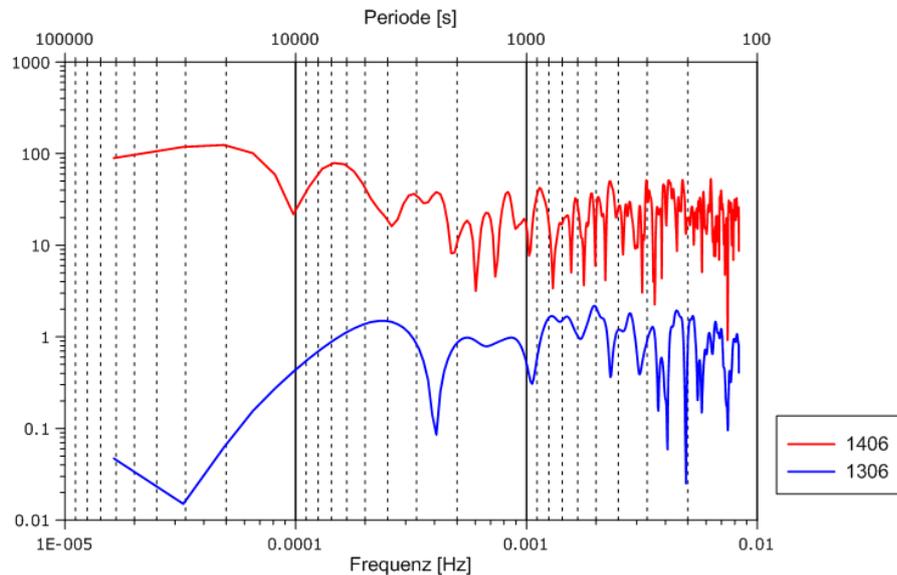


Abb. 4-2 Vergleichende Amplitudendarstellungen – Berechnung mittels Parzen-window, ohne zero padding vom 13.06.2011 (*blau*) und 14.06.2011 (*rot*)

Offensichtlich lassen sich die sehr langwelligen Anteile mit der gewählten Registrierung nicht mehr auflösen, die in der Verlaufsdarstellung augenscheinlich dominanten Perioden von etwa 7000 s am 14. Juni 2011 (vgl. Abb. 4-1b 11:00 bis 13:00) und 3000 s am 13. Juni 2011 (vgl. Abb. 4-1a 09:15 bis 10:15) sind dennoch gut erkennbar.

Mit Blick auf die Registrierungen der mobilen Einheit auf den Profilen stellt die Korrektur mittels ZAMG-Daten anstelle des vor Ort erfassten Umgebungsfeldes keine Verfälschung dar, da die Schwankungsunterschiede zwischen ZAMG- und Basiswerten wesentlich kleiner sind als die auf den Profilen registrierten Variationen. Dies wird bei Darstellung der zeitlichen Abfolge der Profilregistrierungen in Zusammenhang mit den an der Basisstation aufgezeichneten Werten deutlich (Abb. 4-3).

Ein weiterer deutlicher Beleg für die Verwendbarkeit der Cobenzl-Registrierungen anstelle der schwankenden vor Ort registrierten Basismessungen ist der faktische Vergleich zwischen einer Basiskorrektur mit ZAMG- und einer Basiskorrektur mit Umgebungsfeldwerten. Neben dem Umstand, dass sich die durch beide Korrekturvarianten gewonnenen Ergebnisse nur minimal voneinander unterscheiden, liefert die Korrektur mittels der Cobenzl-Daten auch ein wesentlich ruhigeres Ergebnis (Abb. 4-4).

Zur Berechnung der Basiskorrekturen unter Verwendung von den im Zuge der Messkampagne registrierten sowie den von der ZAMG aufgezeichneten Umgebungsfeldwerten wurden zwei eigens erstellte Fortran77-Programme verwendet, die linear zwischen den einzelnen Messwerten interpolieren. Das Programm zur Korrektur via ZAMG-Daten ist im Anhang 6.7 einsehbar.

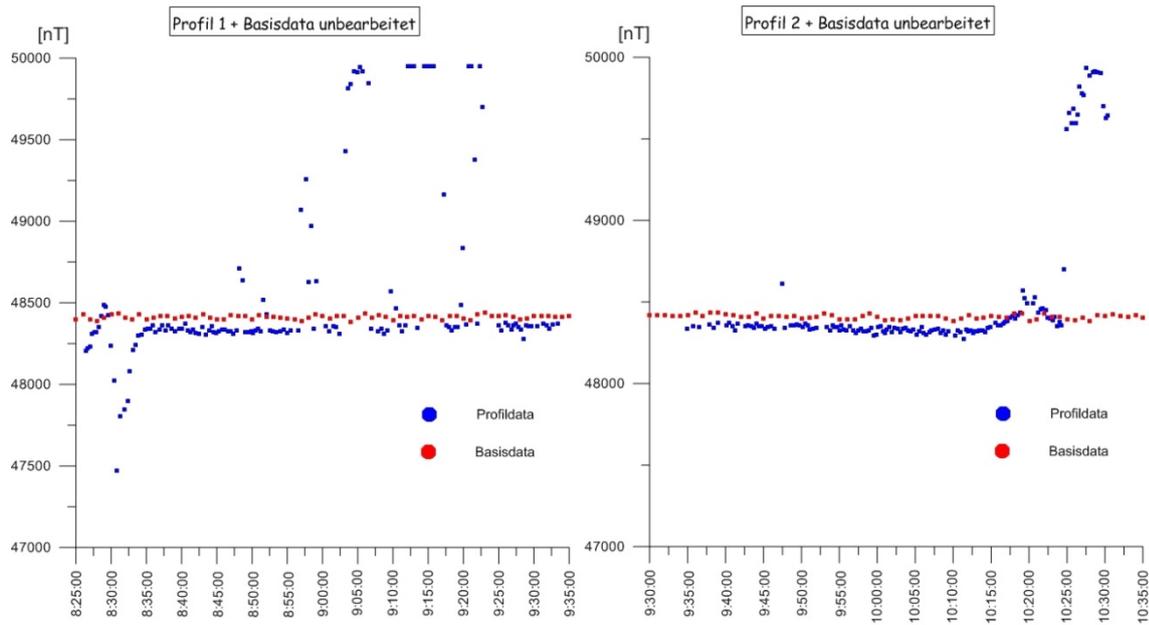


Abb. 4-3a Zeitliche Darstellung der Profilregistrierungen von Profil 1 und 2 mit zugehörigen Basiswerten

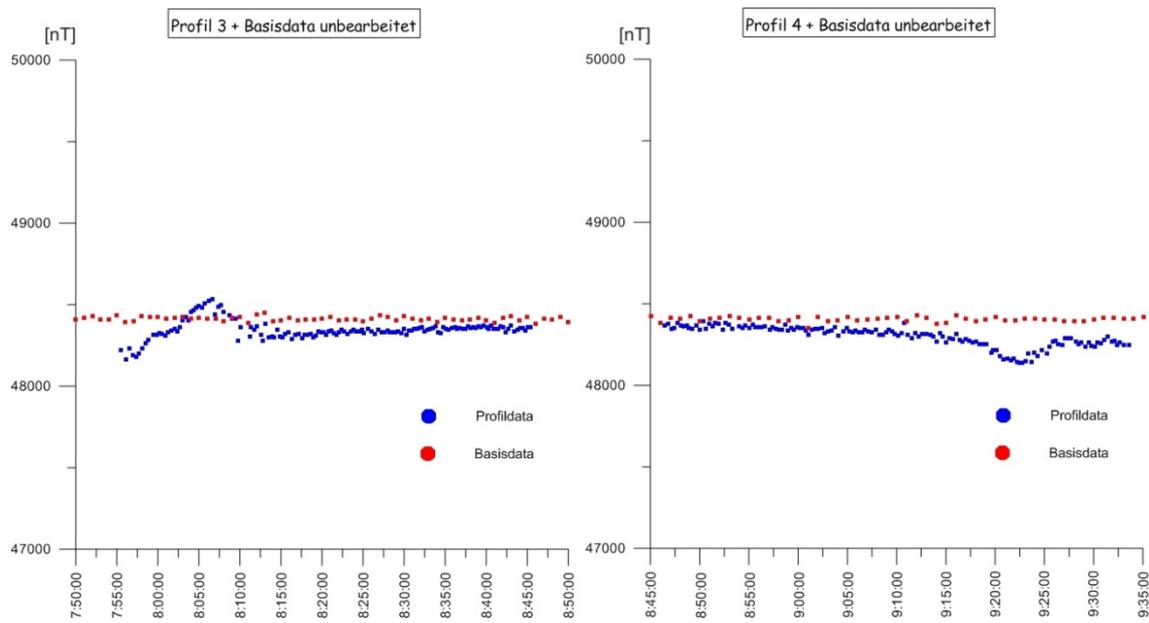


Abb. 4-3b Zeitliche Darstellung der Profilregistrierungen von Profil 3 und 4 mit zugehörigen Basiswerten

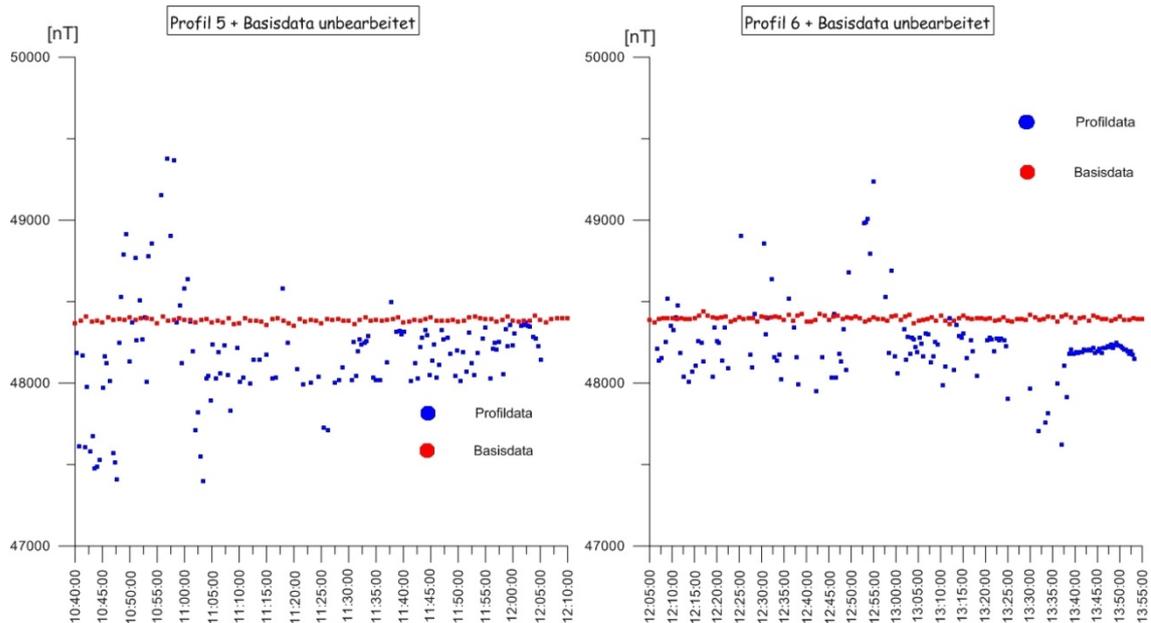


Abb. 4-3c Zeitliche Darstellung der Profilregistrierungen von Profil 5 und 6 mit zugehörigen Basiswerten

Bei der Zusammenstellung der Abbildungen 4-4a) bis c) wurde im Gegensatz zu Abbildung 4-3 nicht auf eine durchgängig idente Einteilung der Ordinatenachse geachtet. Dies liegt darin begründet, dass hier alleine die Darstellung des geringen Unterschiedes zwischen einer Korrektur mittels vor Ort registrierter Basisdaten und den auf dem Cobenzl registrierten ZAMG-Daten intendiert ist. Das Verhältnis der einzelnen Profile zueinander wird erst in der weiteren Folge in den Vordergrund rücken.

Auch sind die Wiederholungsmessungen von Profil 3 und 5 nicht mit aufgeführt, für die allerdings auch Gleiches wie für alle anderen Profilmessungen gilt.

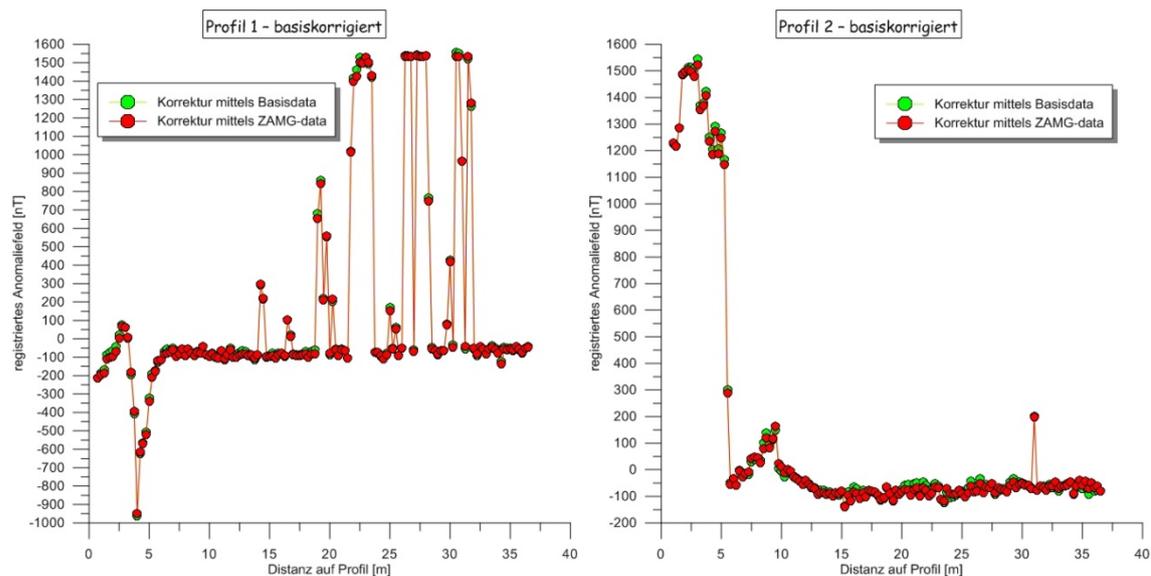


Abb. 4-4a Vergleich der Basiskorrekturen auf Profil 1 und Profil 2

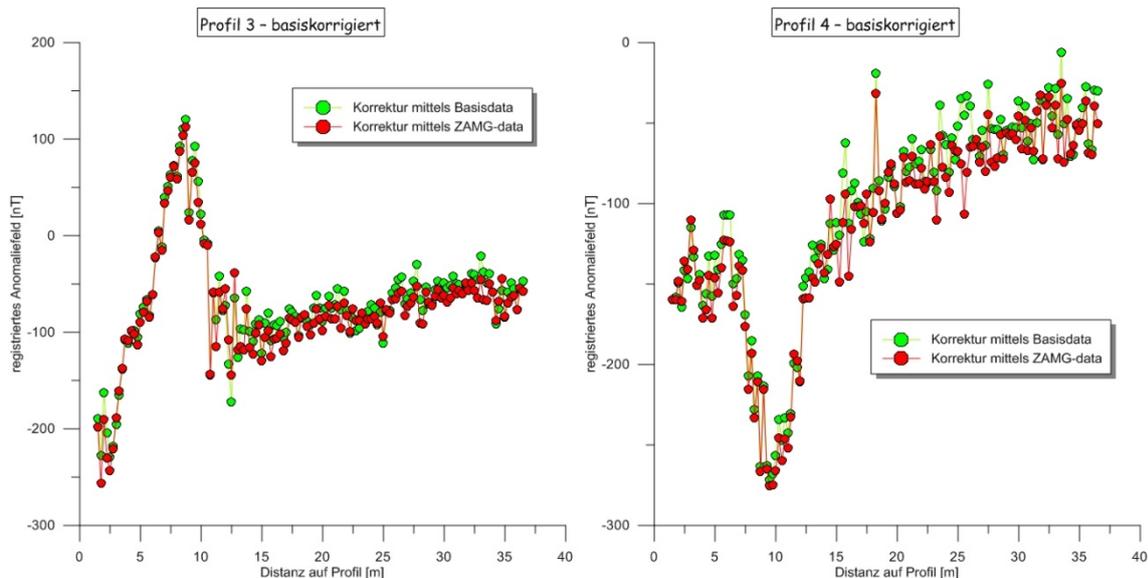


Abb. 4-4b Vergleich der Basiskorrekturen auf Profil 3 und Profil 4

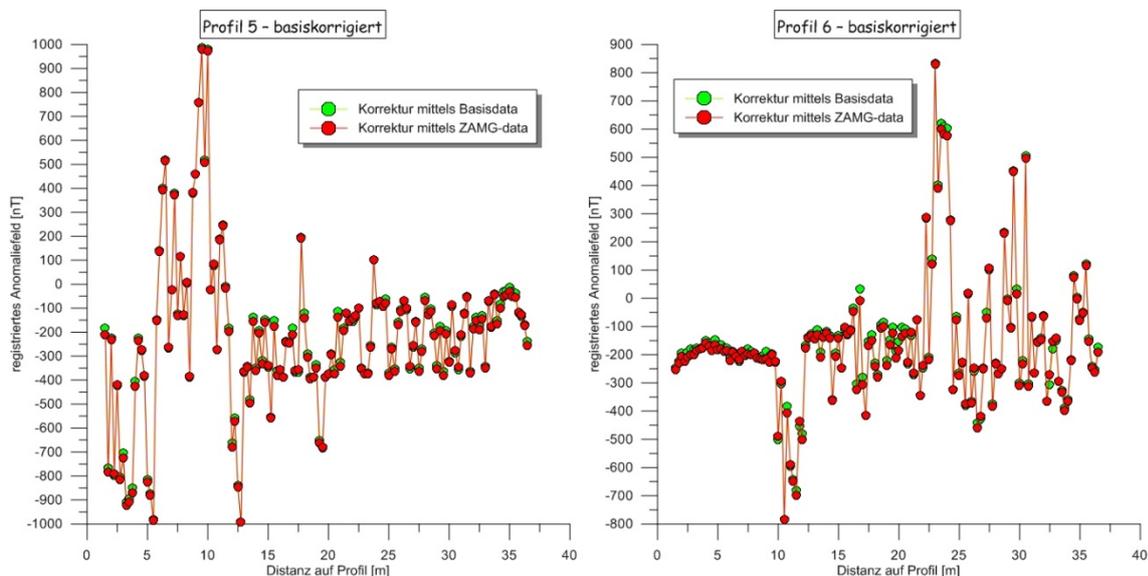


Abb. 4-4c Vergleich der Basiskorrekturen auf Profil 5 und Profil 6

4.1.2 Profildaten

Wie bereits aus den Darstellungen zum Vergleich der Basiskorrekturen (Abb. 4-4) erkenntlich, ist es unabdingbar, die gewonnenen Daten hinsichtlich möglicher Ausreißer oder temporärer Störungen zu untersuchen und zu korrigieren. Hierzu dient erneut die Visualisierung des Messverlaufs beider Tage nach der Zeit, wobei die Werte zur besseren Bewertbarkeit bereits mittels ZAMG-Daten basiskorrigiert wurden. Die Darstellung der Profilvermessungen vom 13.06.2011 (Abb. 4-5) zeigt drei Stellen auf, an denen eine genauere Untersuchung bezüglich der Frage durchzuführen ist, ob und in wie weit solche Anomalien in der Realität auftreten können. Sind die gemessenen Anomalieformen aufgrund der Tiefenverteilung und/oder der in Kapitel 3.4 durchgeführten Simulation nicht nachvollziehbar, so handelt es sich hierbei aufgrund der Umgebungsbedingungen um Aus-

reißer, die nicht für eine logisch sinnvolle Interpretation der lokalen Gegebenheiten herangezogen werden sollten.

Im Fall des 14.06.2011 (Abb. 4-6) zeigt sich eine große, offensichtlich zeitlich begrenzte Störung über Profil 5 und einen Großteil des Profils 6 hinweg. Dies ist zwar bereits während des Messprozesses im Feld erkannt worden, eine erneute Messung beider Profile ließ sich jedoch aus zeitlichen Gründen nicht mehr realisieren.

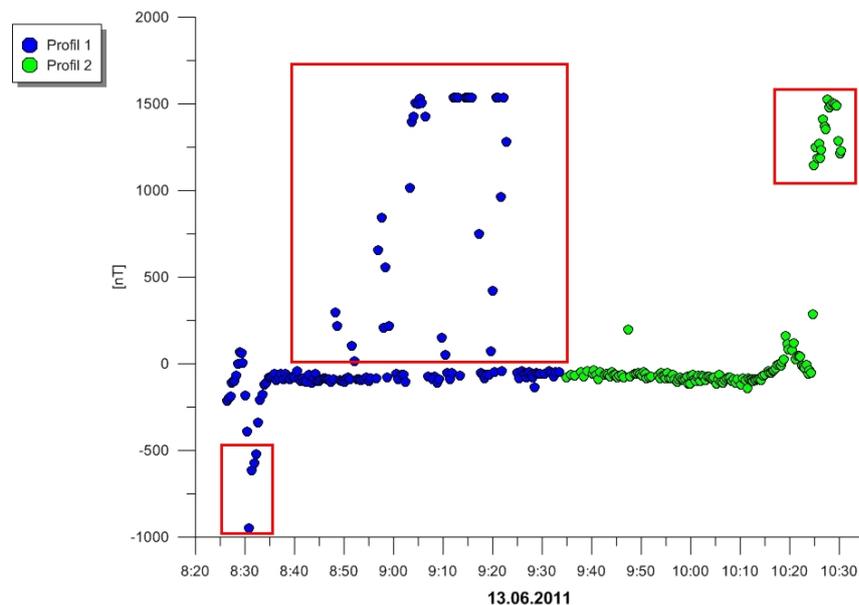


Abb. 4-5 Verlauf der basiskorrigierten Profilmessungen vom 13.06.2011 nach der Zeit. Die rote Umrahmung kennzeichnet mögliche Ausreißer.

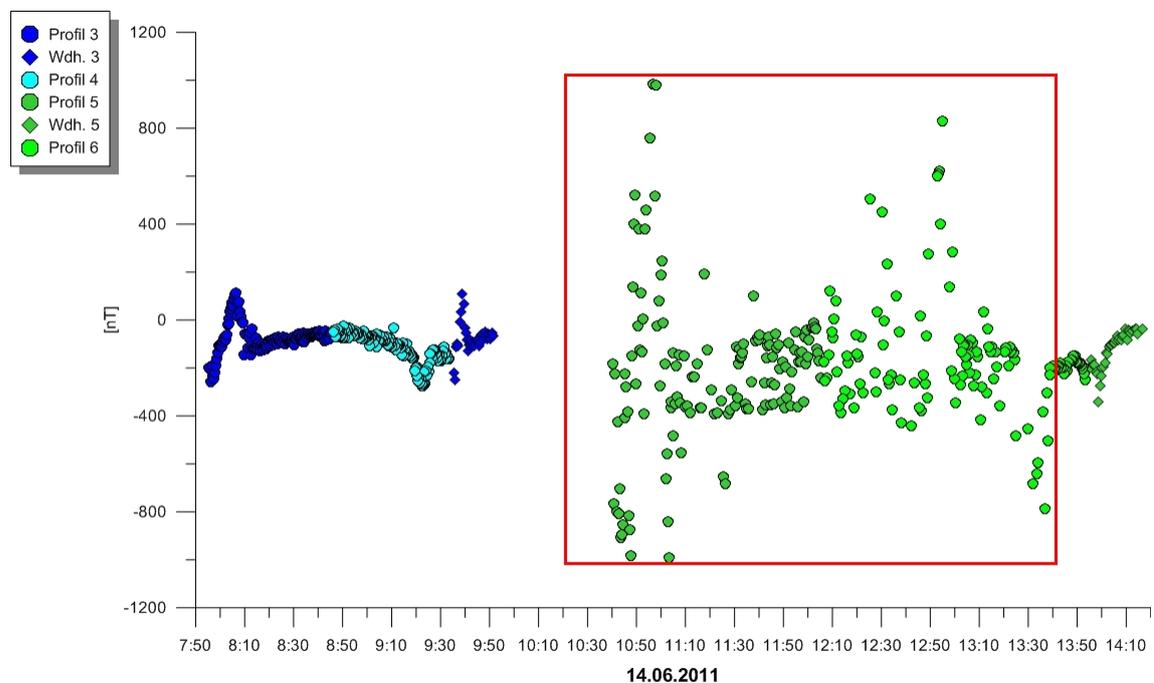


Abb. 4-6 Verlauf der basiskorrigierten Profilmessungen vom 14.06.2011 nach der Zeit. Die rote Umrahmung kennzeichnet mögliche Ausreißer.

In der Abbildung 4-6 zeigen sich auf den Profilen 5 und 6 deutlich zeitabhängige, gegen Ende wieder abklingende Störungen (rot eingerahmt), während die vor Versetzung des Führungsseils (siehe Kapitel 3.5) durchgeführten Messungen, wie auch die gegen Ende des Messtages registrierten Werte gegenüber den Daten zwischen 10:30 Uhr und 13:30 Uhr relativ ruhig erscheinen. An dieser Stelle kommt der in Kapitel 2.5.2 beschriebene Nachteil eines PPMs, das gesamte Umgebungsfeld inklusive aller Störungen zu registrieren, zum Tragen, auch wenn weder im Feld noch im Nachhinein die tatsächliche Ursache einer solchen temporären Störung auszumachen war.

Zu betonen ist in diesem Zusammenhang, dass der Abklingvorgang gegen Ende auch zeigt, dass der ufernahe Bereich des Profils 6 sowie die Wiederholungsmessung des Profils 5 als zuverlässig einzustufen sind.

4.2 Datenkorrektur

Nach Beseitigung der offensichtlich zeitabhängigen Störungen lag die Aufgabe nun in der Lokalisierung kleinerer Ausreißer, die sich im Zusammenhang als unlogisch oder unmöglich präsentierten.

Um diesbezüglich eine fundierte Einschätzung über den Zuverlässigkeitsgrad einer potentiellen Anomalie liefern zu können, sind Bathymetrie und die zuvor berechneten Simulationen in Kombination mit den Ergebnissen aus der Testmessung von 2009 zu betrachten.

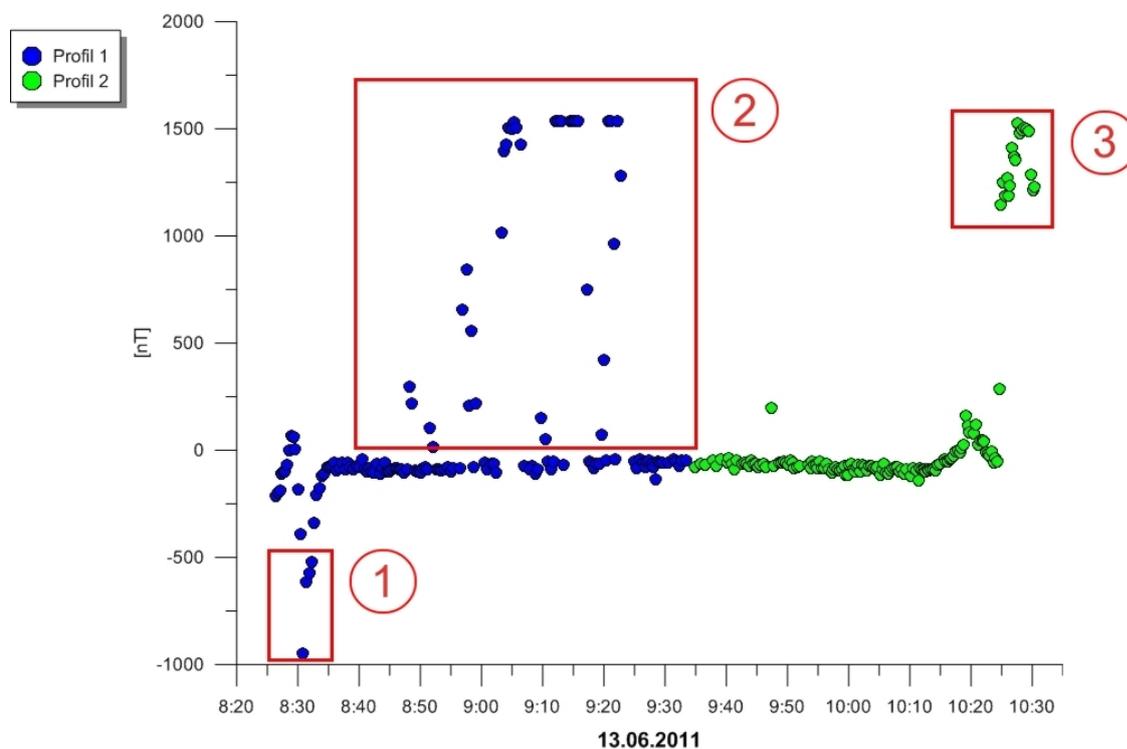


Abb. 4-7 Verlauf der basiskorrigierten Profilmessungen vom 13.06.2011 nach der Zeit. Die rote Umrahmung und die Ziffern ① bis ③ kennzeichnen mögliche Ausreißer

Zur Verdeutlichung der betroffenen Registrierungen ist in Abbildung 4-7 erneut der Messverlauf vom 13.06.2011 in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt, wobei die drei zuvor markierten Diskussionspunkte (vgl. Abb. 4-5) nun der Reihe nach besprochen und bewertet werden müssen.

Die ersten möglichen Ausreißer – gekennzeichnet mit ① – scheinen als eine Anomalie noch am ehesten mit einem realen Störkörper erklärbar zu sein, auch wenn keine der Simulationen ein derart ausgeprägtes Minimum hervorgerufen hat (siehe Kapitel 3.4).

Die in ② enthaltenen Ausreißer wurden zwar jeweils an den Seiten mit mehreren Werten abgetastet, dennoch lassen sich die beobachtbaren Sprünge von 1500 nT auf keinem der Nachbarprofile erkennen, was ein Indiz für das Resultat möglicher zusätzlich störender Einflüsse sein kann. Auch ist die Abfolge von anomaliefreien und anomaliebelasteten Bereichen in Profilrichtung viel zu dicht, um von einem der simulierten, realen Störkörper stammen zu können. Die Simulationen aus Kapitel 3.4 zeigten außerdem maximal für den flachen Bereich zwar sehr starke, aber dennoch gleichmäßig registrierbare Gradienten.

Ähnlich verhält es sich mit den möglichen Ausreißern in Nummer ③, wobei hier im Gegensatz zu ② die Flanken kaum durch Werte bestätigt werden konnten.

Zur Einschätzung der weiteren Vorgehensweise diene an dieser Stelle ein Blick auf die relative Lage der Profile aus 2011 und 2009 zueinander (Abb. 4-8).

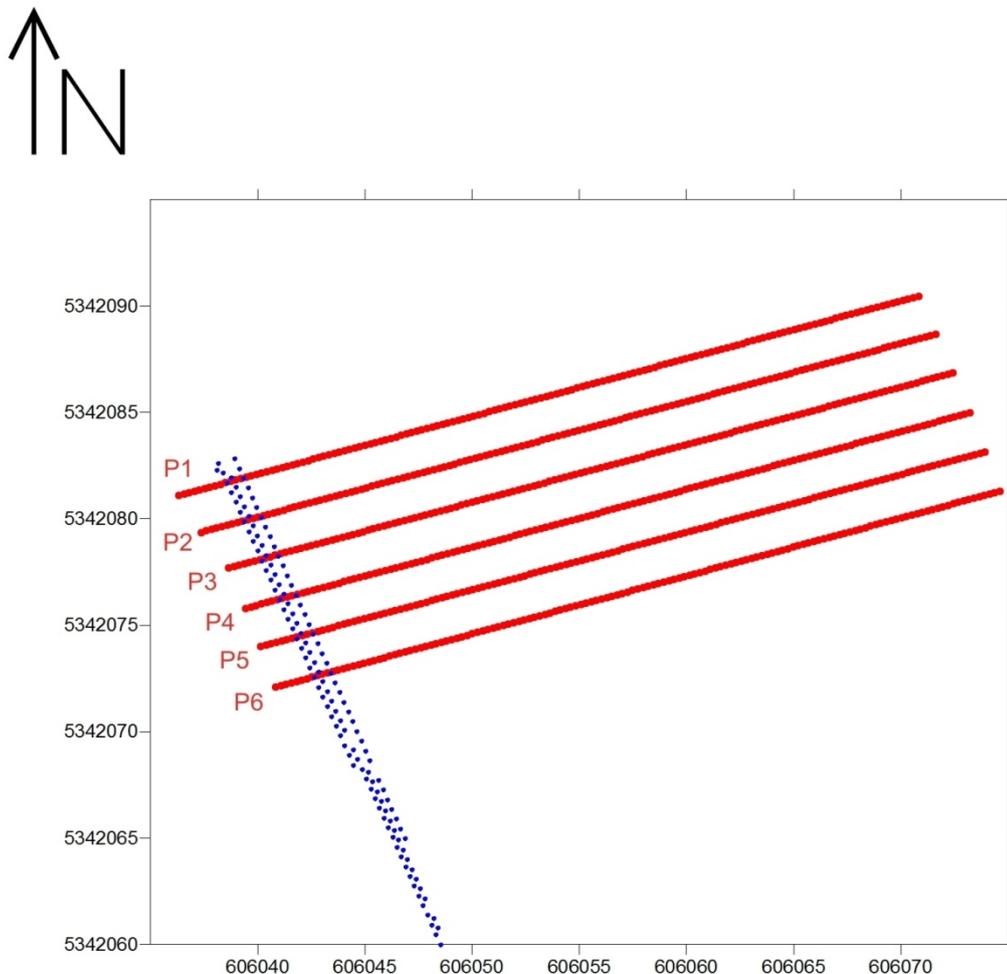


Abb. 4-8 Profilanordnungen 2009 (blau) und 2011 (rot) im KOS 33U entsprechend Google Earth[®]

Nummer ① musste folglich im nächsten Schritt mit den uferparallelen Messungen aus 2009 abgeglichen werden (Anhang 6.6), um entscheiden zu können, ob diese Anomalie für die Interpretation in den Daten verbleiben konnte oder nicht. Ebenso verhielt es sich für ③, auch wenn hier die Wahrscheinlichkeit einer störkörperbedingten Anomaliequelle aufgrund der fehlenden Flanken bereits in diesem Stadium als gering einzustufen war.

Nummer ② gegen Ende des ersten Profils konnte hingegen nur in Kombination mit der Tiefenverteilung innerhalb des Messgebietes sowie den aus den vorangegangenen Simulationen gewonnenen Erkenntnissen sinnvoll bewertet werden.

An dieser Stelle also ein Blick auf die Bathymetrie. Wie in Kapitel 3.2 bereits angedeutet, war der Weg bis zum dargestellten Tiefenprofil in Abbildung 4-9 ein mühsameres Unterfangen, weshalb die auch im weiteren Verlauf verwendete Bathymetrie als bestmögliche Näherung, die aus den durch TRITON zur Verfügung gestellten Informationen gewonnen werden konnte, zu verstehen ist.

Die auf die Messungen von 2011 zugeschnittene 2D-Darstellung (Abb. 4-9a) dient hierbei – analog zu den bereits verwendeten Graphiken – zur Orientierung, die 3D-Darstellung (Abb. 4-9b) zum besseren Verständnis der Grabenstruktur.

Bei dem Vergleich mit der Tiefendarstellung zeigte sich erneut, dass ① und ③ der zu diskutierenden Anomalien innerhalb der zeitlichen Darstellung (Abb. 4-7) in der Nähe des Uferbereiches zum einen in relativ flachem Wasser mit einer Maximaltiefe von 1,5 m anzusiedeln sind, und zum anderen von den Testmessungen aus 2009 gekreuzt oder zumindest tangiert wurden. Somit besteht die Möglichkeit der Kontrolle sowohl über die Ergebnisse der Testmessung als auch der Vergleich mit Simulationsergebnissen aus Kapitel 3.4. Da die Ergebnisse der Messung aus 2009 nur in Bezug auf einen geringen Teil der Anomalien brauchbare Ergebnisse liefern, finden sich weitere graphische Auswertung der Testmessung im Anhang 6.6.

Die in ③ dargestellten Sprünge befinden sich alle in einem Bereich tiefer als 2 m. Hier zeigt die Simulation, dass solch schmale Anomalieverläufe, wie sie in den basiskorrigierten Rohdaten der Messung zu finden sind, als nicht-realistisch eingestuft werden können bzw. müssen.

Um hinsichtlich des durch Profil 2 gequerten Tiefenverlaufs auch eine korrekte Vorstellung der Ausdehnungen der gesondert zu betrachtenden Anomalien zu erhalten, ist die Zeit- in eine Ortsdarstellung umzuwandeln. Zur Erleichterung des Ablesens bedient sich die Beschriftung der Abszisse zunächst noch der relativen Maße entlang der Profile. Die angegebene Distanz wurde – ungleich der durch TRITON dargestellten Sonarmessergebnisse – am westlichen Ufer beginnend in Richtung des gegenüberliegenden Polizeistrandbades gemessen.

Auf diese Weise präsentiert sich das Profil 2, inklusive dem zur Diskussion stehenden möglichen Ausreißer, wie in Abbildung 4-10 dargestellt.

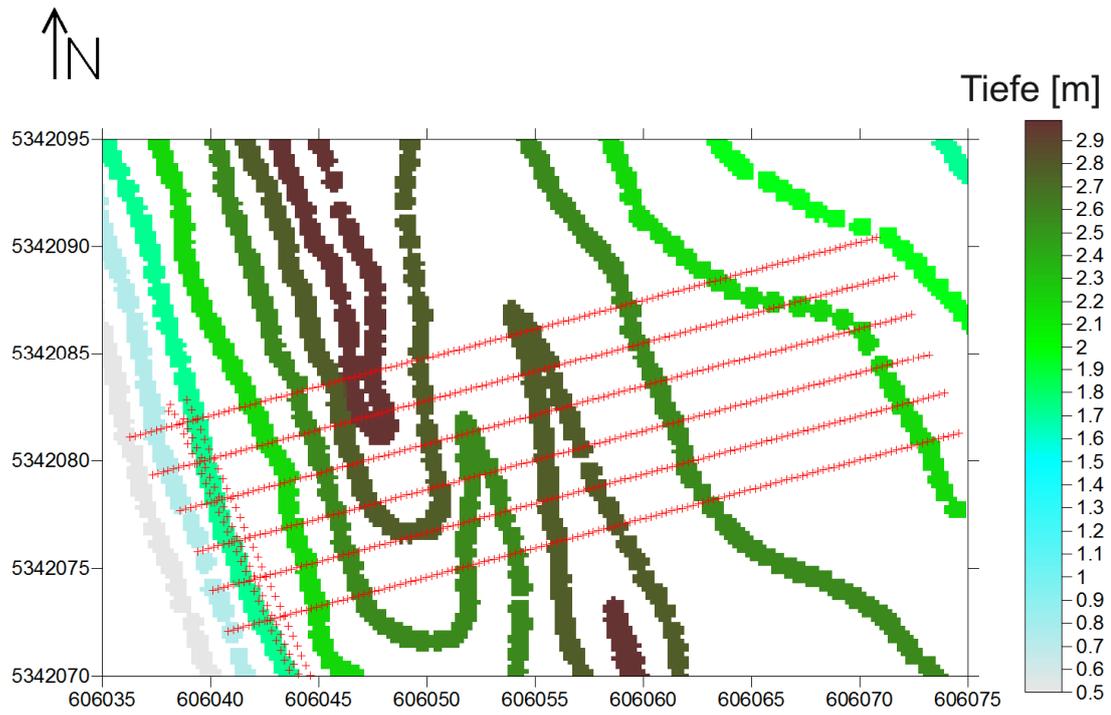


Abb. 4-9a Tiefenausschnitt aus Sonardaten inklusive der Profilmesspunkte in Rot – 2D

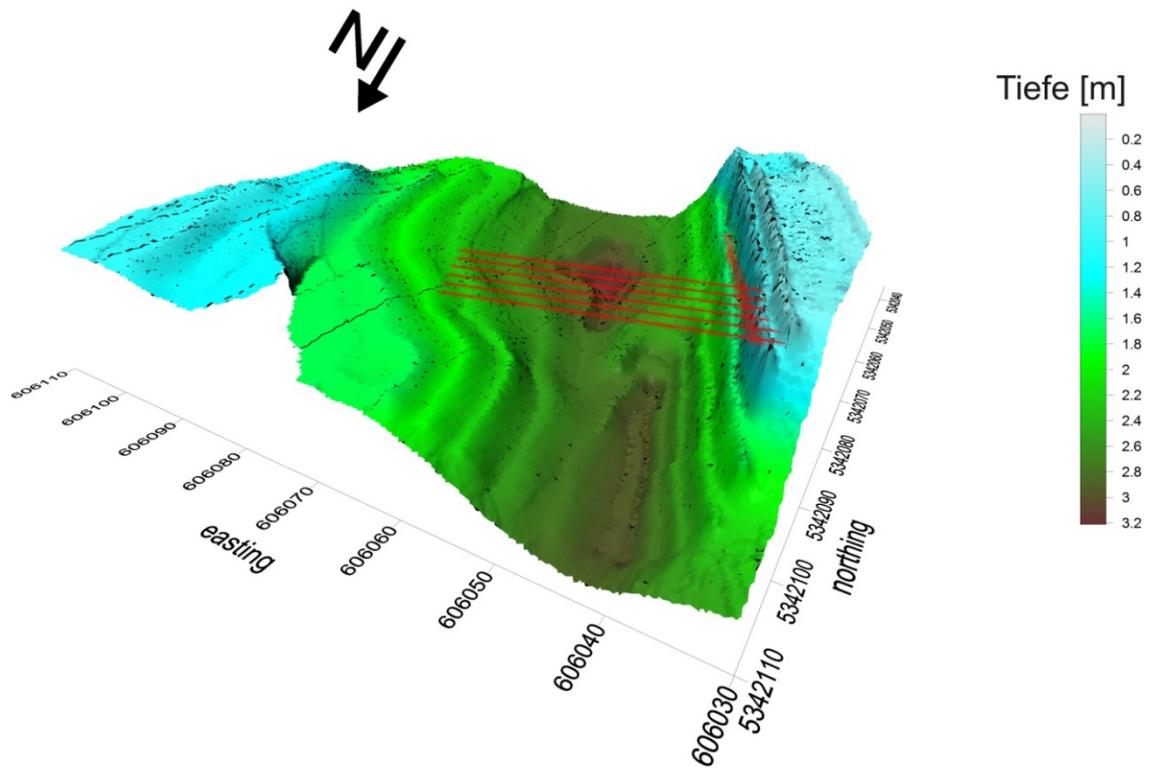


Abb. 4-9b Tiefendarstellung aus Sonardaten inklusive der Profilmesspunkte in Rot – 3D

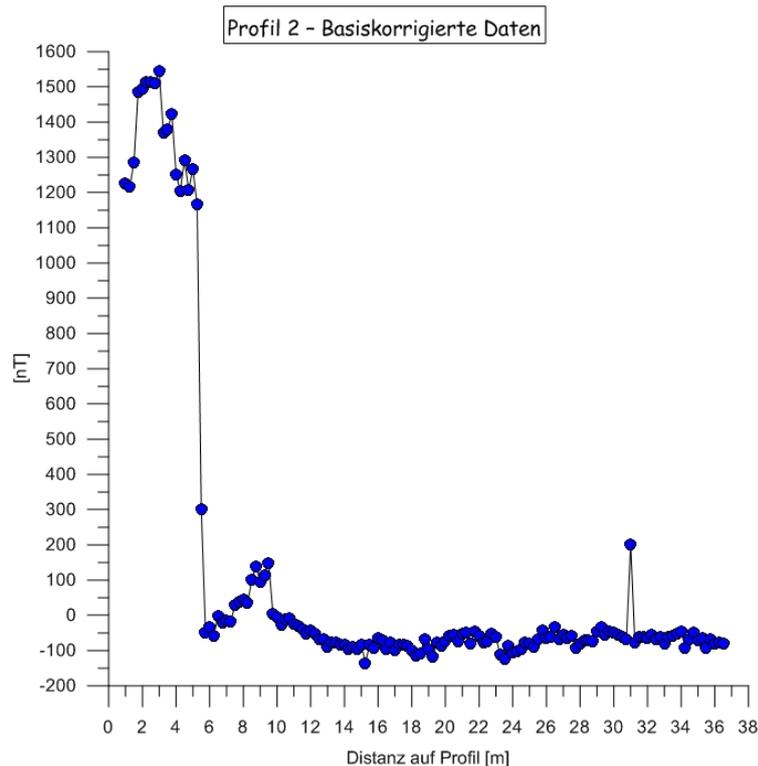


Abb. 4-10 Basiskorrigierte Daten von Profil 2 – in relativer Distanz aufgetragen

Die Frage war nun, ob sich eine realistische Störquelle finden lässt, deren registrierbare Anomalie in Ost-West-Richtung eine Breite von fast 6 m, und in Nord-Süd-Richtung eine Länge von weniger als 2 m aufweist.

Die Registrierungen aus 2009 (Abb. 4-11) zeigen alle mit dem in der Darstellung der Messdaten aus 2011 erkennbaren Trend (Abb. 4-14) in Einklang stehende negative Werte, wodurch diese Anomalie des Profils 2 unter diesem Aspekt auszuschließen ist.

Mittels Simulation lässt sich zwar tatsächlich in 0,5 m Tiefe eine Eisenkugel platzieren, deren Anomalie in Nord-Süd-Richtung eine kleinere Wellenlänge als 2 m aufweist, allerdings ist deren positiver Anomalieteil in Ost-West-Richtung ebenfalls kaum größer als 2 m, womit diese als mögliche Umsetzung des in den Daten erkennbaren Verlaufs ausscheidet (Abb. 4-12a) – es sei denn, es läge eine Vielzahl dieser Störkörper genau in Profilrichtung in entsprechendem Abstand hintereinander. Dieses Szenario ließ sich allerdings aufgrund der allzu geringen Wahrscheinlichkeit problemlos ausschließen.

Es lässt sich ebenso eine, im positiven Bereich 6 m breite Anomalie im flachen Wasser produzieren, allerdings zeichnet sich diese durch eine gewisse Breite größer als die benötigten 2 m in Nord-Süd-Richtung aus (Abb. 4-12b). In diesem Fall hätten aber auch die angrenzenden Profile diese Anomalie mitregistrieren müssen, was laut Daten nicht der Fall war, wodurch auch diese Möglichkeit als überzeugende Realisierung der registrierten Störungen ausfiel.

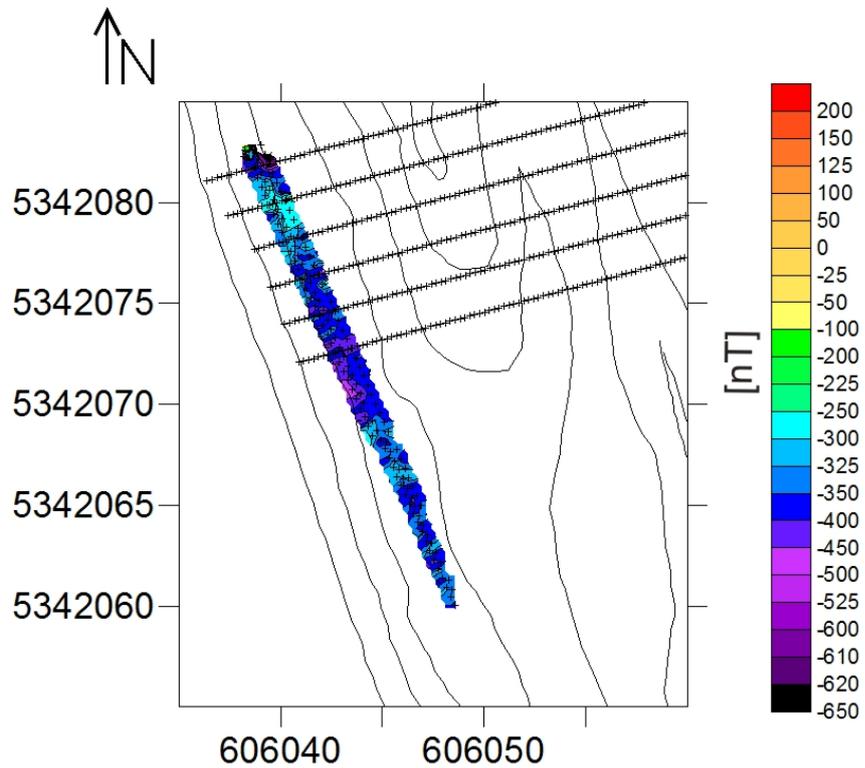


Abb. 4-11a Graphisches Ergebnis aus 2009 im Ausschnitt mit eigener Dynamik zur detaillierteren Darstellung

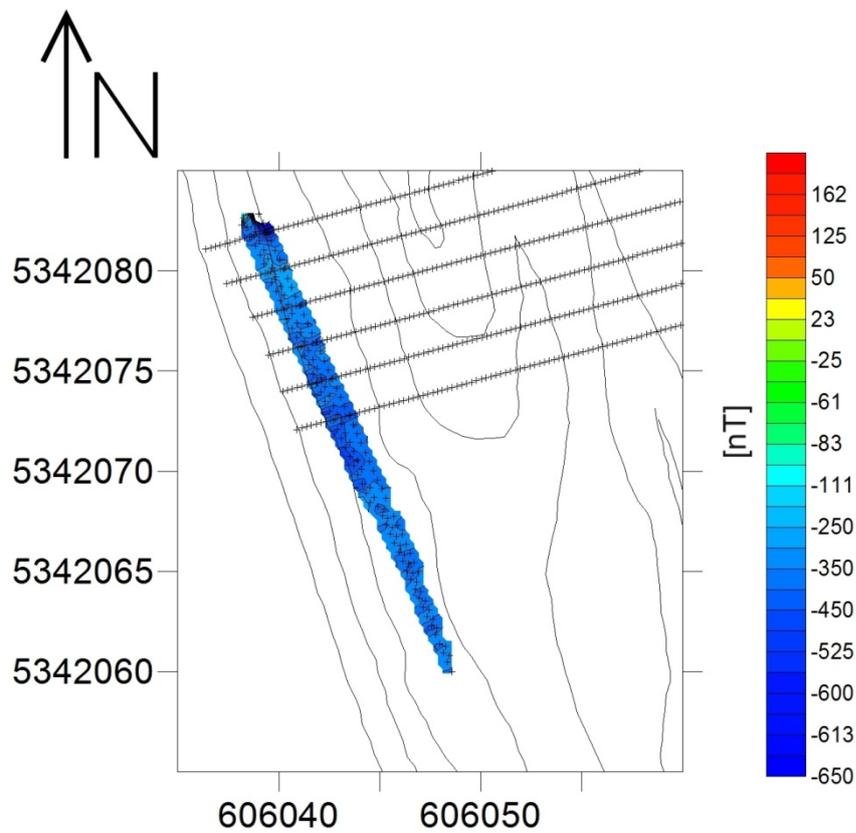


Abb. 4-11b Graphisches Ergebnis aus 2009 im Ausschnitt mit der Dynamik entsprechend Abb. 4-14 und 4-15

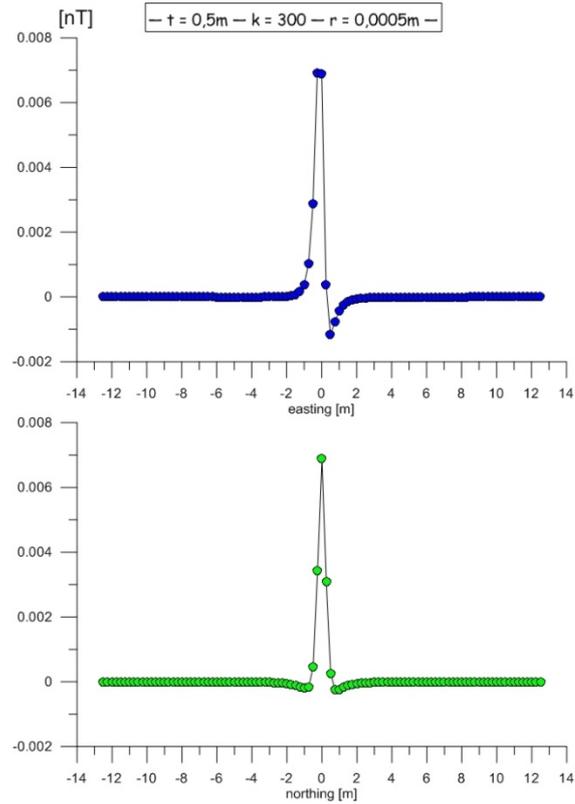


Abb. 4-12a Simulationen einer Eisenkugelquelle in 0,5 m Tiefe mit einer Breite von ca. 2 m, Variablen entsprechend den Simulationen aus Tabelle 3-3

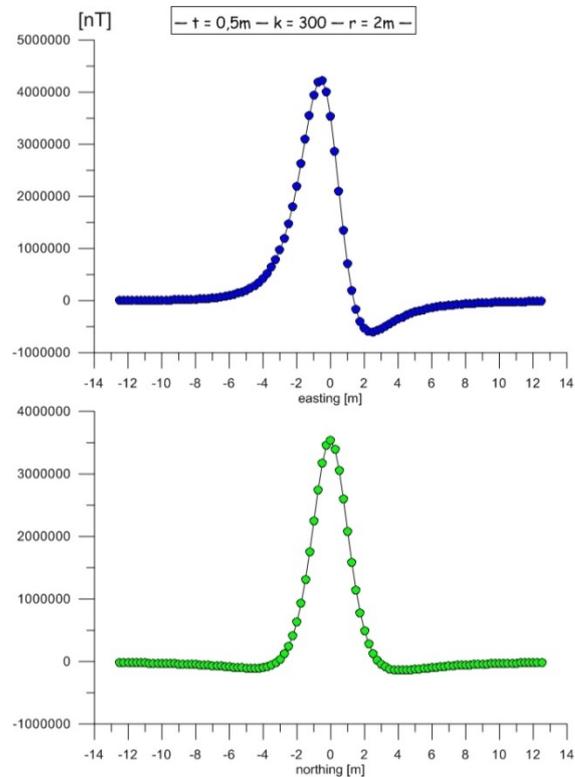


Abb. 4-12b Simulationen einer Eisenkugelquelle in 0,5 m Tiefe mit einer Breite von ca. 6 m, Variablen entsprechend den Simulationen aus Tabelle 3-3

Somit war das in Abbildung 4-6 mit ③ markierte Maximum als externe Störung bzw. Ausreißer aus den weiteren Interpretationsschritten auszuschließen.

Auch für die mit ① gekennzeichnete, ebenfalls in Ufernähe befindliche, mögliche Anomalie des Profils 1 ist der Vergleich mit den Querprofilen von 2009 (Abb. 4-11) sinnvoll. Diese zeigt ein sehr starkes, einem Maximum folgendes Minimum. Zwar lässt sich das Minimum mit dem Charakter der Daten aus 2009 gut in Einklang bringen, dennoch sind für eine Bestätigung über diesen Weg sowohl das Minimum als auch das der ① vorangehende Maximum in ihrer magnetischen Signatur im Vergleich zu stark. In diesem Zusammenhang ist jedoch anzumerken, dass innerhalb einer Zeitspanne von fast 2 Jahren im ufernahen Bereich durchaus eine Veränderung der Störquellsituation stattgefunden haben könnte – sei es auch nur durch Dosen oder ähnliche, durch Passanten widerrechtlich entsorgte Abfälle. Zwar würde die Anomalie nicht dem dargestellten Minimum gerecht werden, doch wenn man von einer Schwankung während der Registrierung einer tatsächlich vorhandenen Störkörperanomalie ausginge, ließe sich der eine Messwert im Bereich von -1000 nT als einzelner Ausreißer bezeichnen. Gleiches gilt für das dem Minimum im Westen vorausgehende Maximum, dessen Ausdehnung aufgrund der Randposition des ersten Profils nicht bekannt ist, und das somit zunächst als realistisch angenommen werden muss.

Die mit ② beschriebenen Störungen sind – wie zuvor erläutert – aufgrund der Flusstiefe, über der sie sich befinden, als unrealistisch einzustufen und somit ebenfalls im Hinblick auf eine sinnvolle Interpretation auszusortieren.

Das Profil 5 wurde im weiteren Verlauf aufgrund des sich ergebenden Bildes bei zeitlicher Darstellung der Messwerte (Abb. 4-6) gänzlich durch die Werte der Wiederholungsmessung ersetzt. Auf dem Profil 6 blieb, da sich aus zeitlichen und rechtlichen Gründen keine Wiederholungsmessung mehr durchführen ließ, der relativ störungsfreie Profilbeginn.

Um sich nun nach Sortierung der im Feld registrierten, basiskorrigierten Daten einen Überblick über mögliche Strukturen und Trends zu verschaffen, wurde die relative Darstellung der überbleibenden Messergebnisse gewählt (Abb. 4-13).

Es ließ sich in dieser Anordnung bereits die räumliche Übereinstimmung der auf mehreren Profilen registrierten Minima und Maxima sowie der leicht ansteigende Trend gegen Ende erkennen.

Nach Herausarbeitung der zuvor beschriebenen Strukturen war eine flächenhafte Darstellung der gesamten Messung aus 2011 nun der nächste Schritt im Auswerteverfahren. Zu diesem Zweck wurden die Daten entsprechend der Testmessung aus 2009 (Abb. 4-11) mit Hilfe des GoldenSoftware Programms Surfer[®] gegridet und als Fläche visualisiert.

Hierzu wurde als Methode das *Inverse Distance to a Power*-Verfahren (idp) gewählt, bei dem es sich um ein Interpolationsverfahren handelt, das die einzelnen Daten im Verbund gewichtet. Mit zunehmender Entfernung zum Interpolationsknoten nimmt das Gewicht der Daten und somit ihr Einfluss ab. Die Größe des Gebiets, in das die Interpolation hineinreichen soll, wird über die Wahl des (Such-)Radius festgelegt.

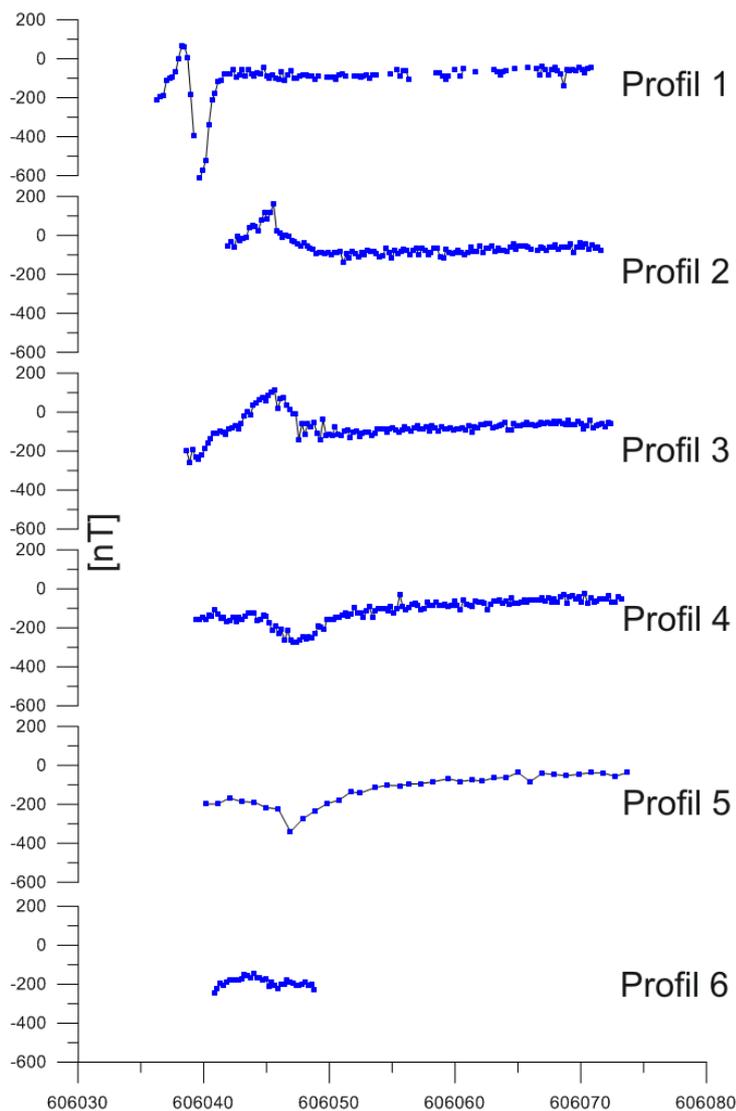


Abb. 4-13 Relative, sortierte, basiskorrigierte Darstellung der Profilmessergebnisse 2011 in West-Ost-Richtung

Abbildung 4-14 zeigt das Endergebnis dieses Verfahrens bei einem eingestellten Suchradius von 0,5 m, wobei zum besseren Verständnis die Tiefenwerte in Metern als Zahlen ergänzt wurden. Man erkennt auch hier den West-Ost-Trend, der sich durch die niedrigen Messwerte aus 2009 bestätigen lässt. Dieser Trend beginnt mit negativen Feldwerten am hafenseitigen Ufer und steigt gen aufgeschüttetes Gänsehäufel kontinuierlich an. Diesen Verlauf in Zusammenhang mit der Grabenstruktur zu bringen wäre auf der östlichen Seite des Messareals durchaus plausibel, da auch hier das Tiefenprofil einen ähnlich kontinuierlichen Anstieg aufweist. Allein die Westseite, an der sich vor 1870 der Hafen befunden hat, spricht mit ihren Minima aufgrund der ufernahen Flachwasserbereiche dagegen. Somit muss dieser Trend mit tieferen geologischen Strukturen in Verbindung stehen, über die aus dem Messareal keine Daten vorliegen.

Zusätzlich lässt sich auf Profil 2 und 3 das bereits angesprochene Maximum erkennen, dem bei weiteren Prospektionsverfahren besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte.

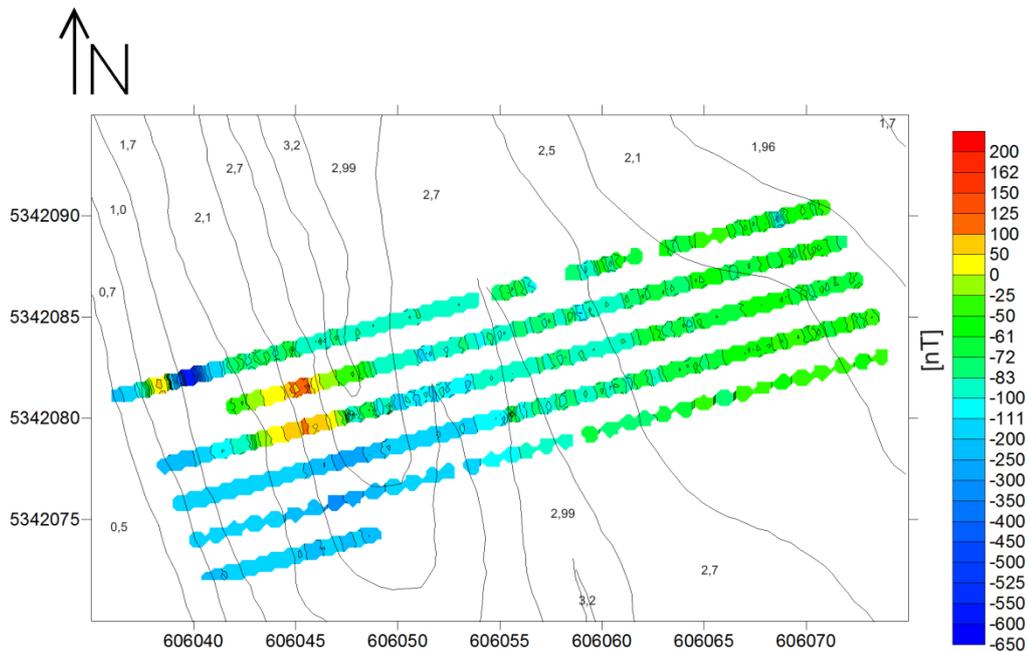


Abb. 4-14 Messergebnis 2011 mit Bathymetrie, idp-Suchradius = 0,5 m

Diese großräumig durchgängigen Strukturen sind ein sehr gutes Indiz dafür, dass die Messungen nach den zuvor beschriebenen Korrekturen, trotz des relativ einfachen Verfahrens brauchbare Ergebnisse liefern. Dies lässt sich noch einmal besonders gut durch eine flächenhaftere Darstellung zeigen (Abb. 4-15). Zur Orientierung wurden wieder die einzelnen Messpunkte der Profile aus 2011 in Form von schwarzen Kreuzen mit aufgetragen.

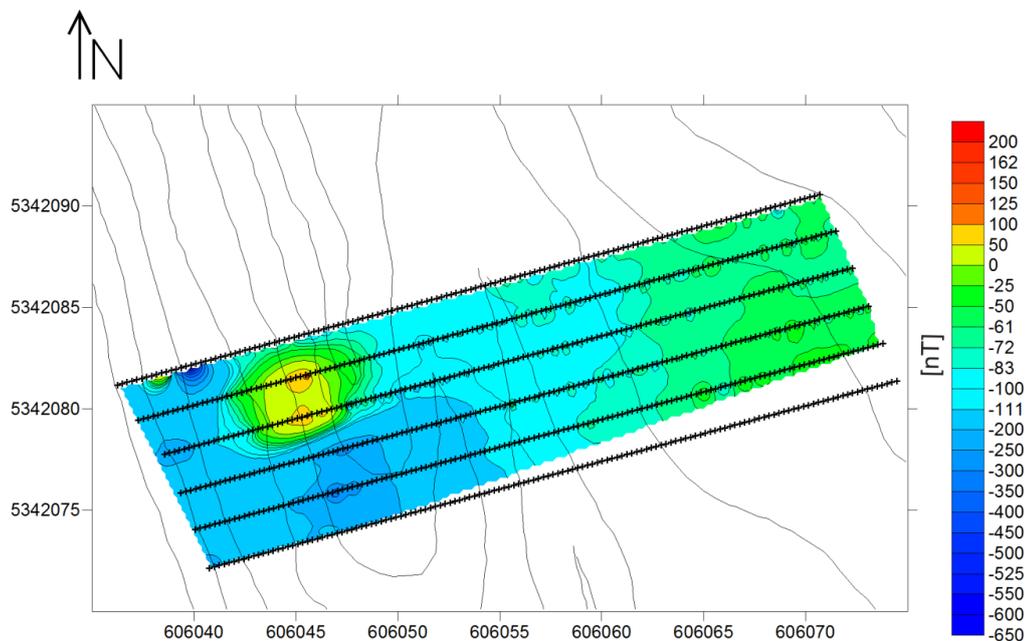


Abb. 4-15 Messergebnis 2011 mit Bathymetrie, idp-Suchradius = 5 m – flächenhafte Darstellung mit Messpunkten

Bei dieser Darstellung wird jedoch nicht nur der bereits beschriebene ansteigende Trend vom westlichen hin zum östlichen Ufer noch deutlicher. Das Hauptaugenmerk ist hier

auch auf das im westlichen Bereich erkennbare Maximum zu legen. Für dessen Realitätsbezug spricht unter anderem seine, mit den Simulationen aus Kapitel 3.4 im Einklang stehende Ausdehnung und die Sichtbarkeit auf mehreren Profilen. Die gesamte Anomalie wies in dieser Form der Darstellung in West-Ost-Richtung eine Länge von knapp 8 m, sowie in Nord-Süd-Richtung eine Breite von etwa 5 m auf (siehe Abb. 4-15). Als maximaler Amplitudenwert ergaben sich nach den Korrekturen ca. 160 nT, was auf einen Störkörper mit Zentrum im Bereich von 606045 m E (= Rechtswert) und 5342081 m N (= Hochwert) U33 – dem unter anderem durch Google Earth[®] verwendeten UTM-Koordinatensystem – schließen ließ (siehe Abb. 4-17).

Bei dem Quellkörper könnte es sich möglicherweise um einen schmalen, eingegrabenen Gegenstand handeln. Die Simulationsrechnung aus Kapitel 3.4 ergab als Störquellenbeispiel eine Eisenkugel ($k = 300$) mit einem Radius von 8 cm in einer Tiefe von 3 m zur Wasseroberfläche (siehe Abb. 4-16). Dies entspräche einem Volumen von etwa 1206 cm³ und einer sich daraus ergebenden Masse von etwa 9,5 kg.

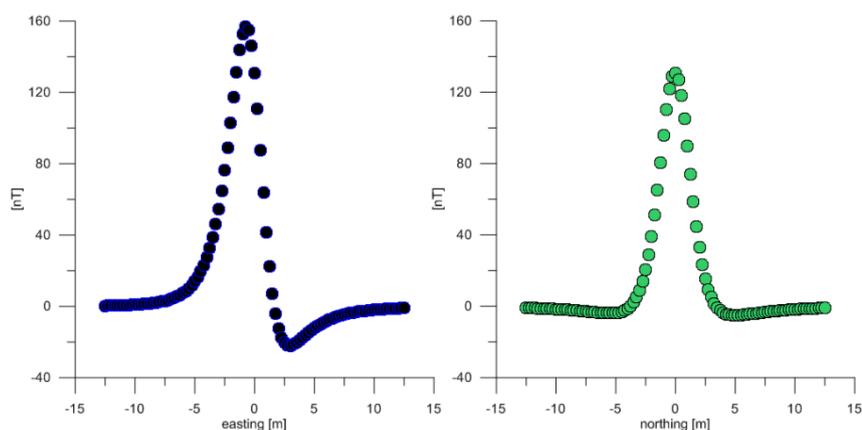


Abb. 4-16 Simulation Eisenkugel, $t = 3$ m, $r = 0,08$ m, $k = 300$



Abb. 4-17 Lokalisierung des aus den Messdaten erkennbaren möglichen Störkörpers, © Google Earth

4.3 Fazit

Als wesentliches Ergebnis des in vorliegender Arbeit behandelten Projekts ist festzuhalten, dass sich ein urbanes Messumfeld für eine Nutzung von Protonenpräzessionsmagnetometern im Sinne der gegebenen Aufgabenstellung zwar prinzipiell als wenig ideal darstellt, dass aber durch Wiederholungsmessungen eine Erhebung valider Daten möglich ist.

Des Weiteren sehe ich eine Kombination von Sonar- und Magnetikmessung mehr als eine Notwendigkeit denn als eine Option an, da erst durch die Zusammenstellung der Ergebnisse beider Verfahren eine gebietspezifische Auswertung ermöglicht wird. So wäre im Zuge des Datenprocessings der Magnetikdaten ohne Wissen über die Tiefenstruktur eine Separation der Ausreißer von tatsächlich durch mögliche Störquellen hervorgerufenen Anomalien in dem vorgestellten Maße nicht möglich gewesen. Entsprechend fänden sich – ohne das durch die Kenntnis des Tiefenverlaufs mögliche Ausschlussverfahren – nun im Ergebnis mehrere, einer genaueren Untersuchung bedürftige Stellen, die sich im Nachhinein als Falschmeldungen herausgestellt hätten.

Eine Akustikmessung alleine liefert nur einen Überblick über den Grund und vielleicht die oberste Schicht, infolgedessen stellt sich zur Bestimmung und Lokalisierung möglicher Störkörper die Kombination mit Magnetik ebenso als notwendig dar.

Hinsichtlich des archäologisch motivierten Teils der Untersuchung ist festzustellen, dass für mögliche kleinere Artefakte eine dicht am Grund geführte, unter Wasser angewendete Methode zur Erhöhung der Registrierwahrscheinlichkeit unumgänglich erscheint, da besonders innerhalb eines, durch die Siedlungssituation Störungen ausgesetzten Umgebungsfeldes die Anomalien archäologisch interessanter Objekte im Noise verschwinden. Ein weiterer Vorteil einer Messmethode unter Wasser wäre die zusätzliche abschirmende Wirkung der umgebenden Flüssigkeit gegenüber äußeren Einflüssen.

Auch die im Sonar erkennbare Grabenstruktur ließ sich nicht wirklich bestätigen, wobei von geologischer Seite her vermutlich noch Diskussionsmöglichkeiten gegeben wären, inwieweit der registrierte West-Ost-Trend mit dem Graben in Verbindung gebracht werden könnte oder eben von tiefer liegenden Schichten hervorgerufen worden ist.

Die Hauptforderung an das mit vorliegender Diplomarbeit beschriebene Projekt – der Lokalisierung möglicher Blindgänger – ist in Anbetracht auf die Simulationsergebnisse mittels Magnetikmessung trotz starker Schwankungen des Umgebungsfeldes auch in urbanem Gebiet erfüllbar. Für den südlichen Teil des in den Messungen aus 2011 erfassten Grabenbereiches scheinen keine derartig begründbaren Störkörper vorzuliegen.

Obwohl Amplitude und Ausdehnung der zuvor ausgezeichneten Anomalie (siehe Abb. 4-14 bis 4-16) in ihren Dimensionen auf einen eher kleinen Störkörper schließen lassen – was aufgrund der Mehrdeutigkeit von Potentialverfahren nur ein von vielen möglichen Interpretationen darstellen kann – ist innerhalb des ausgeschriebenen Bereiches eine Nachuntersuchung, möglicherweise sogar mit handgeführten, untergrundnahen Methoden, nachdrücklich zu empfehlen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die gewählte Methode einer Magnetikmessung mittels traditionellen PPMs zwar mit entsprechender Nachbearbeitung der Daten durchaus im Bereich der Aufgabenstellung anwendbar, aber nicht unbedingt zu empfehlen ist. Neben einer geänderten Auswahl der verwendeten Messgeräte – nicht unbedingt der Methodik an sich – empfiehlt sich im Fall einer weiteren Prospektionsmessung nicht nur mit Blick auf die Positionsbestimmung und den Ablauf die Konstruktion einer Plattform in der Art, wie sie in der Planungsphase bereits angedacht wurde. Auch die Ausschreibung als größeres Projekt, bei dem mehr als nur die im Rahmen einer Diplomarbeit zu Verfügung stehenden Mittel eingesetzt werden können, erscheint sinnvoll. Dies betrifft zum

einen den zeitlichen und finanziellen Aufwand, zum anderen die Möglichkeit einer längerfristigen Sperrung, und – je nach Zustand der Daten – auch die Option von Messwiederholungen über ein größeres Gebiet hinweg.

Allgemein spricht – sofern eine Registrierung der Anomalien im Bereich des Möglichen liegt – sehr viel für eine Kombination der in Archäologie und Sprengtechnik angewendeten Prospektionsvorgänge, besonders da eine auf archäologische Fundstücke ausgelegte Messung auf jeden Fall genügend gut gesampelte Daten liefert, um mögliche Munitionsfundstücke ebenfalls aufzuspüren. Dies gilt im Zusammenhang mit den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit sowohl für Messungen an Land wie auch zu Wasser.

5 Zusammenfassung und Diskussion

In der vorliegenden Diplomarbeit erfolgte die Auseinandersetzung mit zwei Themenschwerpunkten:

1. der projektspezifischen Aufgabenstellung von Seiten TRITONs, einen Teil der 2008 entdeckten Grabenstruktur hinsichtlich möglicher Sicherheitsrisiken zu prospektieren;
2. sowie allgemein eine einfach gehaltene Magnetikmessung im Hinblick auf ihre Tauglichkeit für unterwasserarchäologische Fragestellungen zu testen.

Zu Punkt 1 ist festzuhalten, dass nach entsprechendem Processing der im Feld gewonnenen Daten zwei Anomalien herausgearbeitet werden konnten, von denen der dominanteren vor weiteren Prospektionsschritten im Zuge des Projektes auf jeden Fall erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte.

Hierzu empfiehlt sich aufgrund der während der Messung gewonnenen Erkenntnisse zum Beispiel die Verwendung eines von Tauchern geführten, untergrundnah registrierenden Handgerätes in einem großzügigen Bereich um die lokalisierte Anomalie herum.

Zu Punkt 2 ist zu sagen, dass sich großskalige Trendverläufe – wie der in den Daten ausgebildete West-Ost-Trend – auch in urbanen Gebieten durchaus gut mit den Messergebnissen repräsentieren lassen, die Methode für diffizilere Anomalien in dieser Form jedoch ungeeignet ist.

Zusätzlich empfiehlt sich bei der Prospektion eines überfluteten Gebietes die Kombination mehrerer Methoden, wie im Fall der vorliegenden Arbeit die Verbindung von Sonar- und Magnetikmessung. Hier hat sich allerdings gezeigt, dass die Planung beider Messungen, sowohl der Akustik- wie auch der Potentialmessung, zumindest von beiden Messverantwortlichen gemeinsam besprochen und durchgeführt werden sollte, um Fehlinformationen und -interpretationen zu vermeiden, und möglichst ökonomisch, der Aufgabenstellung angemessen vorgehen zu können.

Des Weiteren wurde im Zuge der Ausführungen besonderer Wert auf die Darstellung der Überschneidungspunkte von sprengkörperbezogener und archäologischer Fragestellung gelegt.

Hier hat sich die GPO-analoge Vorgehensweise als für beide Methoden adäquat erwiesen und soll deshalb an diesem Punkt als Empfehlung für weitere Projekte dieser Art stehen, um zum einen Abläufe zu vereinheitlichen, und zum anderen die Vergleichbarkeit der Ergebnisse einzelner Projekte zu fördern. Bei fachübergreifenden Projekten wären sicherlich entsprechende Kurzberichte empfehlenswert, um die bereits angesprochene Vermeidung von Informationsdefiziten zu gewährleisten.

Im Vergleich zu Meinungen von Fachkreisen zeigt sich nicht nur die Übereinstimmung hinsichtlich der Empfehlung einer standardmäßigen Kombination von magnetischer (Flächen-)Sondierung und der Verwendung eines Side-Scan-Sonar, um den Charakter möglicher Störungen fundiert bewerten zu können, sondern unterstützen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit auch die allgemeine Forderung nach möglichst geringer Messhöhe über Grund sowie konstanter Sondenführung.

Somit lässt sich abschließend festhalten, dass trotz der relativ einfachen Gestaltung des Messaufbaus sowie der nicht unbedingt idealen (Umgebungs-)Bedingungen ein dennoch valides Prospektionsergebnis gewonnen werden konnte.

6 Anhang

6.1 TRITON-Information



Abb. 6-1 Ungefähre Lage der zur Ergebnisdarstellung Sonar herangezogenen Profile Alte Donau © N. Jones

6.2 Historie „Alte Kaisermühlen“

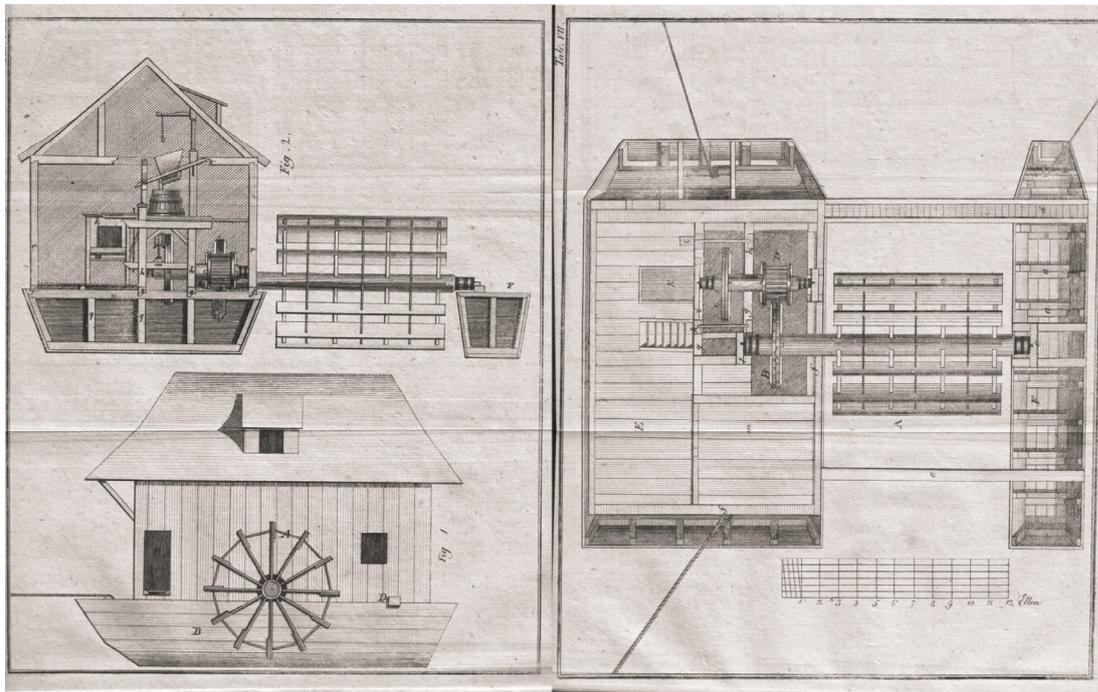


Abb. 6-2 Schiffsmühle (Ernst 1805)



Abb. 6-3 Strandkabinen im Gänsehäufel, 1910er Jahre © Wien Museum

6.3 Ergänzungen zur Messplanung

Um aus den lokalen Eigenheiten eine Aussage über die erlaubten Filterungsmaßnahmen gewinnen zu können, sind die Zusammenhänge zwischen Messtiefe und Messpunktstand bzw. daraus resultierendem Fehler entsprechend der von A. B. Reid in seiner Notiz

über „Aeromagnetic survey design“ [Reid 1979] vorgeführten Berechnungen heranzuziehen.

In selbiger stellt Reid fest, dass unter der Annahme geringer Höhenvariationen zwischen Störquelle und Sensor während einer Messung der durch Aliasing in Anspruch genommene Teil der Energie – der durch die Formulierung $F_T = e^{-\frac{2\pi h}{\Delta x}}$ gegeben ist – genügt, um als Repräsentant für den gesamten aufgrund von selbigem Effekt zu erwartenden Fehler herangezogen zu werden.

Einer der Hauptgründe hierfür findet sich in der Möglichkeit vereinfachter Formulierungen der Quellengeometrien. Ein asymptotischer Charakter und somit ein stetig abnehmender Einfluss des Terms zur Beschreibung der Tiefenausdehnung einer Quelle zum einen wie auch dem der Beschreibung oberflächennaher Quellen zum anderen, führen eben zur Dominanz des mit F_T beschriebenen Energieteils über andere mögliche Einflussfaktoren.

Daraus folgt eine Einschätzung der Messpunktabstände, wie sie in Tabelle 6-1 aufgelistet sind.

Tab. 6-1 Fehler durch Aliasing nach Reid

Ø h	Messpunktabstand Δx	Ø h / Δx	FT
0,5 m	2,00 m	0,25	$2,079 \cdot 10^{-1} \approx 20,79 \%$
1,0 m	2,00 m	0,50	$4,321 \cdot 10^{-2} \approx 4,32 \%$
2,0 m	2,00 m	1,00	$1,867 \cdot 10^{-3} \approx 0,19 \%$
4,0 m	2,00 m	2,00	$3,487 \cdot 10^{-6} \approx 0,003 \text{ ‰}$
0,5 m	1,75 m	0,29	$1,661 \cdot 10^{-1} \approx 16,61 \%$
1,0 m	1,75 m	0,57	$2,759 \cdot 10^{-2} \approx 2,76 \%$
2,0 m	1,75 m	1,14	$7,611 \cdot 10^{-4} \approx 0,08 \%$
4,0 m	1,75 m	2,29	$5,792 \cdot 10^{-7} \approx 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ ‰}$
0,5 m	1,50 m	0,33	$1,231 \cdot 10^{-1} \approx 12,31 \%$
1,0 m	1,50 m	0,67	$1,516 \cdot 10^{-2} \approx 1,52 \%$
2,0 m	1,50 m	1,33	$2,300 \cdot 10^{-4} \approx 0,02 \%$
4,0 m	1,50 m	2,67	$5,288 \cdot 10^{-8} \approx 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ ‰}$
0,5 m	1,25 m	0,40	$8,100 \cdot 10^{-2} \approx 8,10 \%$
1,0 m	1,25 m	0,80	$6,561 \cdot 10^{-3} \approx 0,66 \%$
2,0 m	1,25 m	1,60	$4,305 \cdot 10^{-5} \approx 0,043 \text{ ‰}$
4,0 m	1,25 m	3,20	$1,853 \cdot 10^{-9} \approx 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ ‰}$
0,5 m	1,00 m	0,50	$4,321 \cdot 10^{-2} \approx 4,32 \%$
1,0 m	1,00 m	1,00	$1,867 \cdot 10^{-3} \approx 0,19 \%$
2,0 m	1,00 m	2,00	$3,487 \cdot 10^{-6} \approx 0,003 \text{ ‰}$
4,0 m	1,00 m	4,00	$1,216 \cdot 10^{-11} \approx 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ ‰}$
0,5 m	0,50 m	1,00	$1,867 \cdot 10^{-3} \approx 0,19 \%$
1,0 m	0,50 m	2,00	$3,487 \cdot 10^{-6} \approx 0,003 \text{ ‰}$
2,0 m	0,50 m	4,00	$1,216 \cdot 10^{-11} \approx 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ ‰}$
4,0 m	0,50 m	8,00	$1,479 \cdot 10^{-22} \approx 0,1 \cdot 10^{-20} \text{ ‰}$
0,5 m	0,25 m	2,00	$3,487 \cdot 10^{-6} \approx 0,003 \text{ ‰}$
1,0 m	0,25 m	4,00	$1,216 \cdot 10^{-11} \approx 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ ‰}$
2,0 m	0,25 m	8,00	$1,479 \cdot 10^{-22} \approx 0,1 \cdot 10^{-20} \text{ ‰}$
4,0 m	0,25 m	16,00	$2,188 \cdot 10^{-44} \approx 0,2 \cdot 10^{-42} \text{ ‰}$

Nach dem Erhalt der offiziellen Genehmigung zur Messdurchführung durch „via donau“ beinhaltete die Organisation im Besonderen die Zusammenstellung aller der für einen reibungslosen Ablauf der Messung benötigten Materialien – hier ohne Messgeräte.

Im Fall der vorliegenden Diplomarbeit handelte es sich hierbei neben dem in der Konstruktion verarbeiteten Holz um:

- Absperrband,
- Gurte und Eimer,
- 220 m Seil,
- Schlauchboot und Luftpumpe,
- breites Klettband,
- Holzpflocke und Säge,
- Gummihammer,
- rotes Band zur Markierung der Messabstände,
- große Plastiksäcke,
- Papierhefte ohne Metallklammern,
- Bleistifte ohne Radiergummi sowie
- Decken und Verpflegung.

Zusätzlich hatte sich bei der Testmessung im August 2009 gezeigt, dass sich der mehrfache Ausdruck einer Informationsmappe zur Auslage an der Messstelle sehr empfiehlt, um Störungen durch interessierte Passanten zu vermeiden.

Bei den auszuleihenden (Mess-)Geräten handelte es sich um:

- 2 Protonenpräzessionsmagnetometer,
- 2 vollständige Maßbänder à 50 m,
- 1 GPS und
- 1 Fahrzeug zum Transport.

6.4 Konstruktion einer Messplattform im Detail

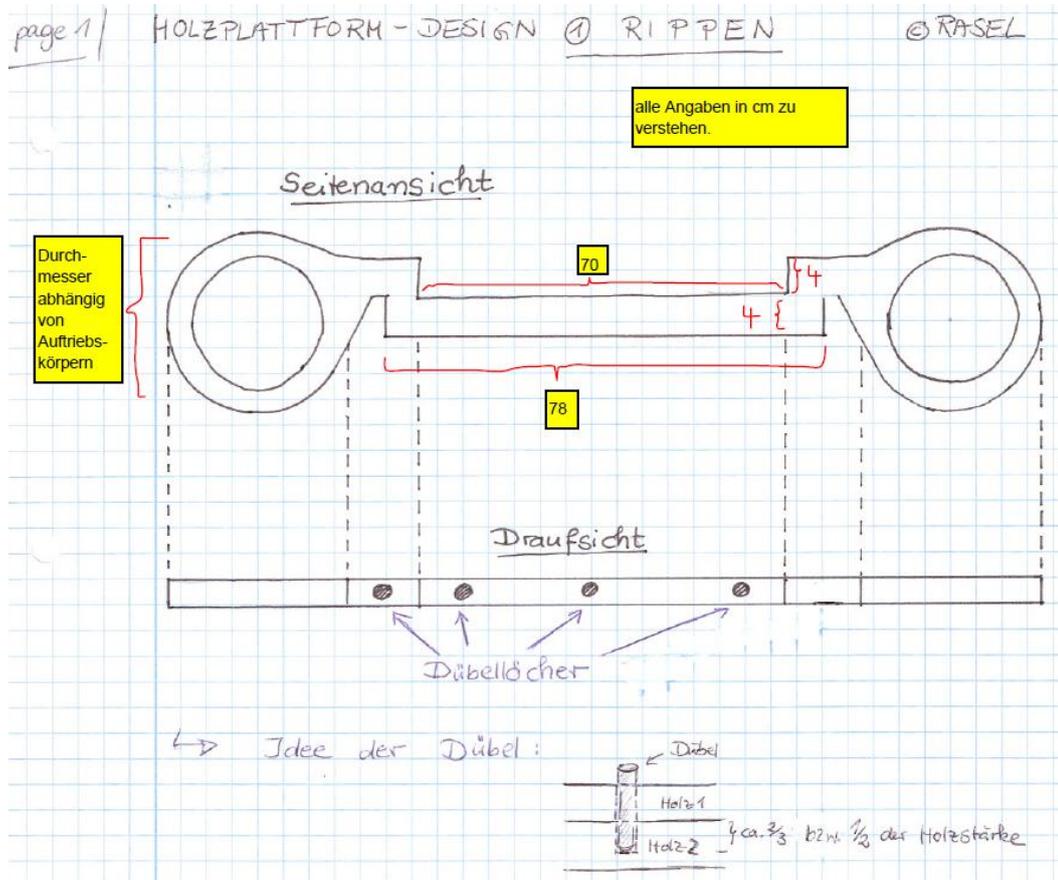


Abb. 6-4a Skizze des Bauteiles „Auftriebskörper“

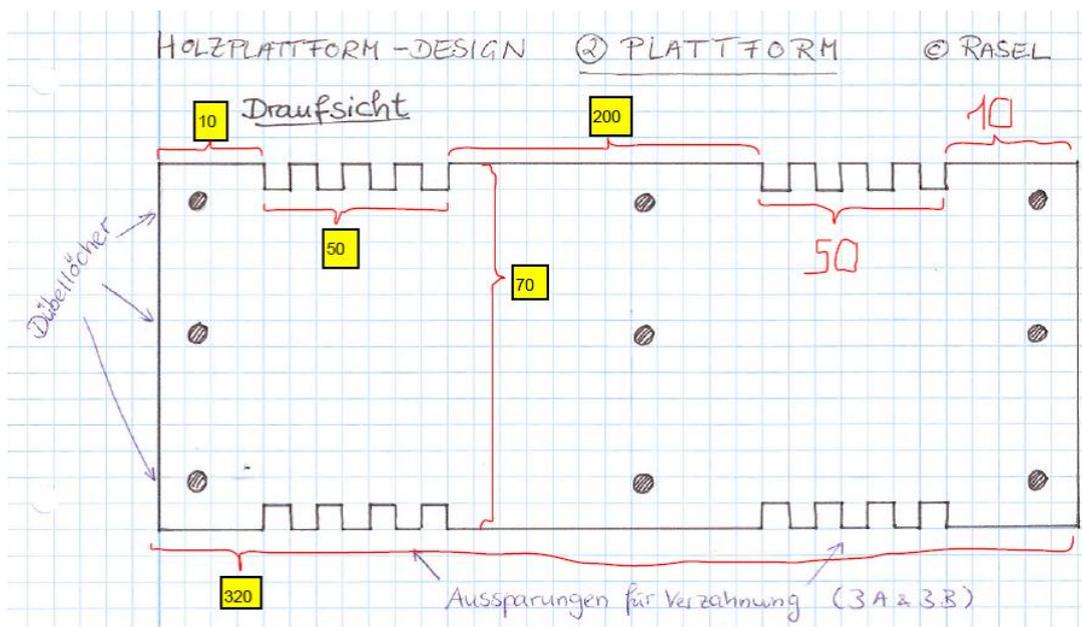


Abb. 6-4b Skizze des Bauteiles „Basisplattform“

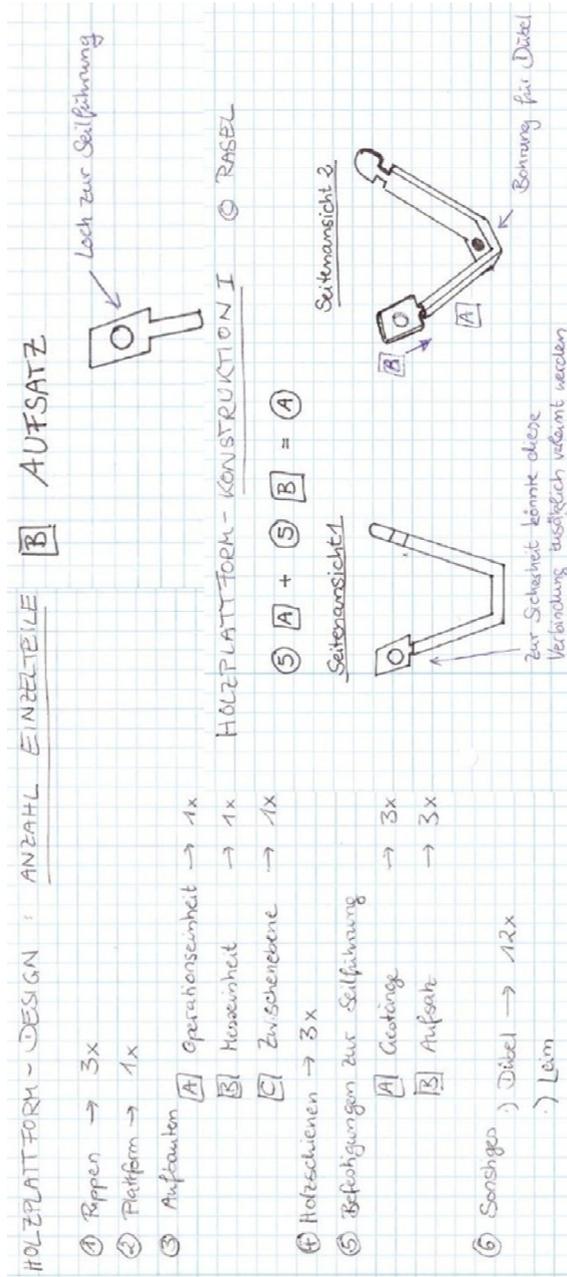


Abb. 6-5 Skizze der Bauteilliste und Konstruktion „Aufsatz“

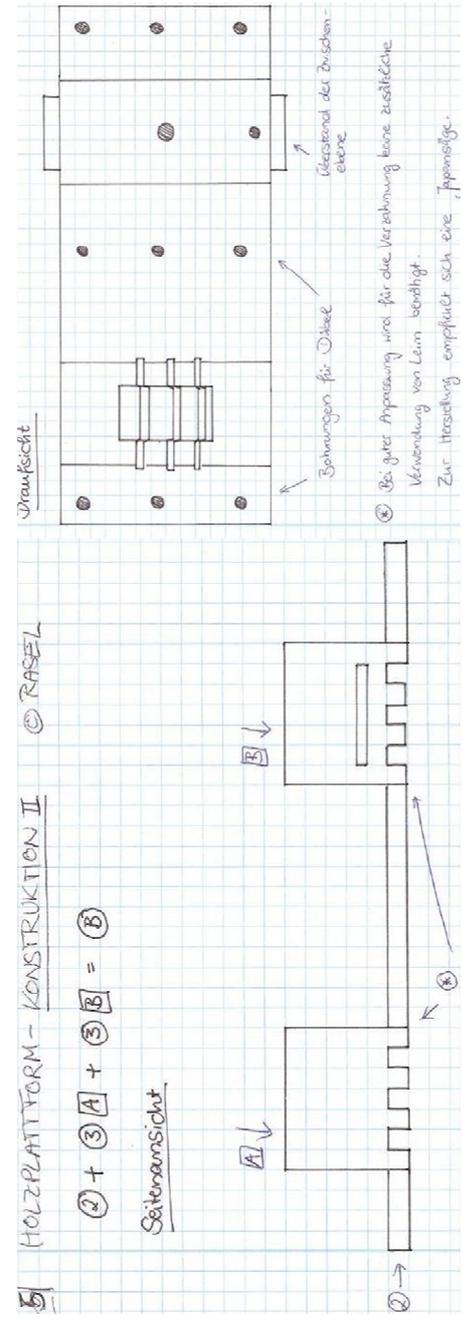


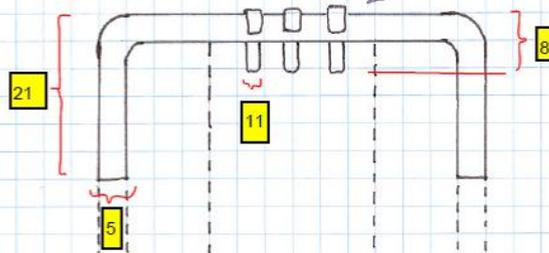
Abb. 6-6 Konstruktion Mittelteil

page 2 / HOLZPLATTFORM-DESIGN ③ AUFBAUTEN © RASEL

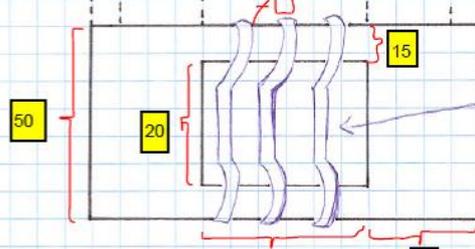
A OPERATIONSEINHEIT

Seitenansicht 1

Befestigung für Gerät Ⓢ



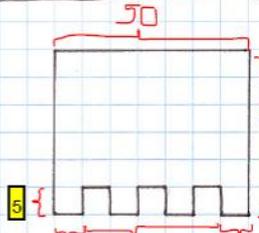
Draufsicht



Ⓢ Holzschienen, alternativ auch Verwendung von Seilen möglich (siehe 4)

mit Plastik auslegen gegen Feuchtigkeit wäre vll. gut

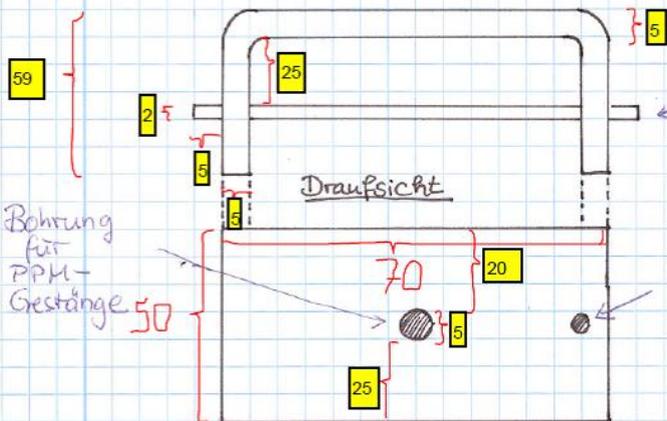
Seitenansicht 2 (= Seitenansicht 1 * 90° Drehung)



← Aussparung für Verzahnung

B MESSEINTEIL

Seitenansicht 1



← Zwischenebene zur Stabilisierung (siehe 3C)

Draufsicht

Bohrung für Reflektor

Bohrung für PPM-Gestänge 50

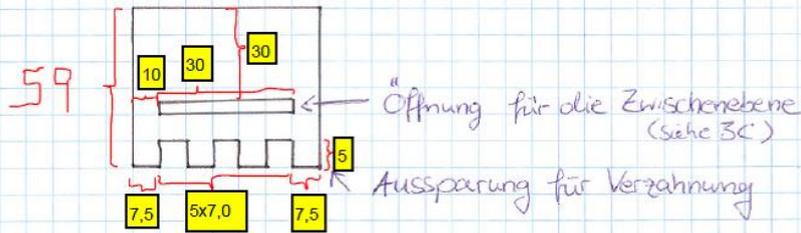
siehe Fortsetzung

Abb. 6-7a Skizze des Bauteiles „Operationseinheit“

page 3

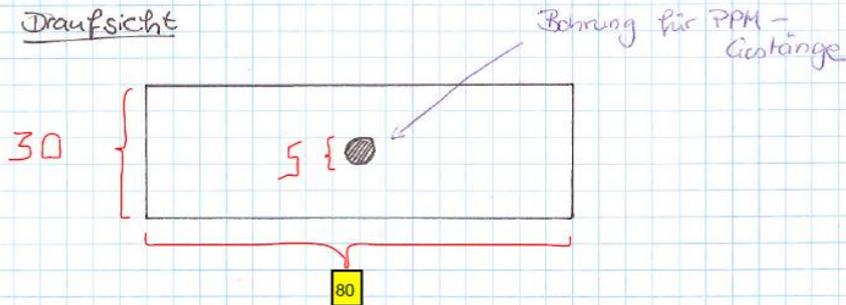
Fortsetzung 3B:

Seitenansicht 2 (= Seitenansicht 1 + 90°-Drehung)



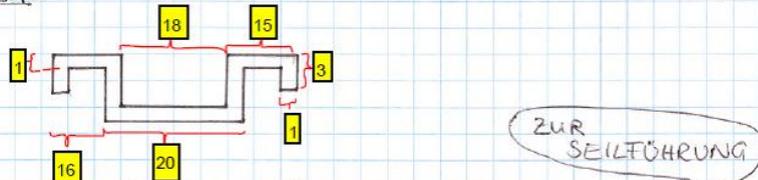
E ZWISCHENEBENE

Draufsicht



HOLZPLATTFORM-DESIGN ④ HOLZSCHIENEN ©RASEL

Seitenansicht

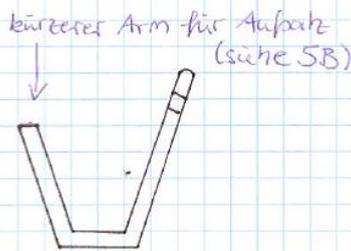


©RASEL; HOLZPLATTFORM-DESIGN ⑤ BEFESTIGUNGEN

A GESTÄNGE

Seitenansicht 2

(- Drehung um ca. 45°)



Seitenansicht 1

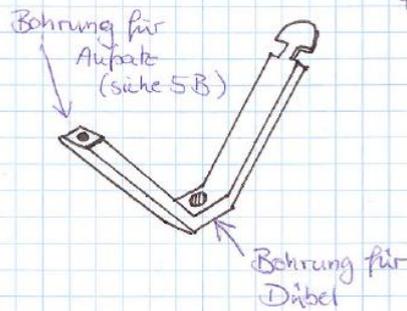


Abb. 6-7b Skizze der Bauteile „Aufsätze“

6.5 Geräteinformation GEM-Systems

■ **Overhauser GSM-19 (mobile Einheit):**

Resolution: 0.01nT (gamma), magnetic field and gradient.

Accuracy: +/- 0.1nT over operating range.

Range: 15,000 to 120,000nT.

Gradient Tolerance: Over 10, 000nT/m

Operating Interval: 3 seconds minimum, faster optional. Readings initiated from keyboard, external trigger, or carriage return via RS-232C.

Input/Output: 6 pin weatherproof connect or, RS-232C, and (optional) analog output.

Power Requirements: 12V, 200mA peak (during polarization), 30mA standby. 300mA peak in gradiometer mode.

Power Source: Internal 12V, 2.6Ah sealed lead-acid battery standard, others optional.

An External 12V power source can also be used.

Battery Charger: Input: 110 VAC, 60Hz. Optional 110 / 220 VAC, 50 / 60Hz.

Output: dual level charging.

Operating Ranges: Temperature: -40 °C to +50 °C.

Battery Voltage: 10.0 V minimum to 15 V maximum.

Humidity: up to 90 % relative, non condensing.

■ **PPM GSM-8 (Basis):**

Sensitivity 1 gamma standard or 0.5 gamma optional

Accuracy: +/- 1 gamma over operation range

Dynamic Range: 20,000 to 100,000 gamma in 23 overlapping steps

Gradient Tolerance: Up to 5,000 gamma / meter

Operating Interval:

Manual: push-button, new reading every 1.85 sec., display active between readings

Cycling: push-button, 1.85 sec. period

Self-test: cycle, push-button, 7 sec. period

Output:

Visual: 5- digit 1 cm (0.4") high Liquid Crystal Display, visible in any ambient light

Digital: Multiplied precession frequency and dating pulse

External Trigger: Enables externally triggered cycling with periods longer than 1.85 sec. (cycling faster than 1 per sec. optional)

Power Requirements: 10 to 18 V DC, 8 Ws per reading

Power Source:

Internal: 12V, 0.75 Ah NiCad rechargeable battery, 300 readings from fully charged battery l.

External: 12 to 18 V

Battery Charger:

Input: 120 / 220 V, 50 / 60 Hz

Output: 75mA DC constant current

Operating Temperature: -40 °C to +50 °C

Battery Voltage: 10.0V minimum to 15V maximum.

Humidity: up to 90% relative, non condensing.

(Quelle: appendix manual GEM Systems)

6.6 Ergänzung Messergebnisse Testmessung 2009

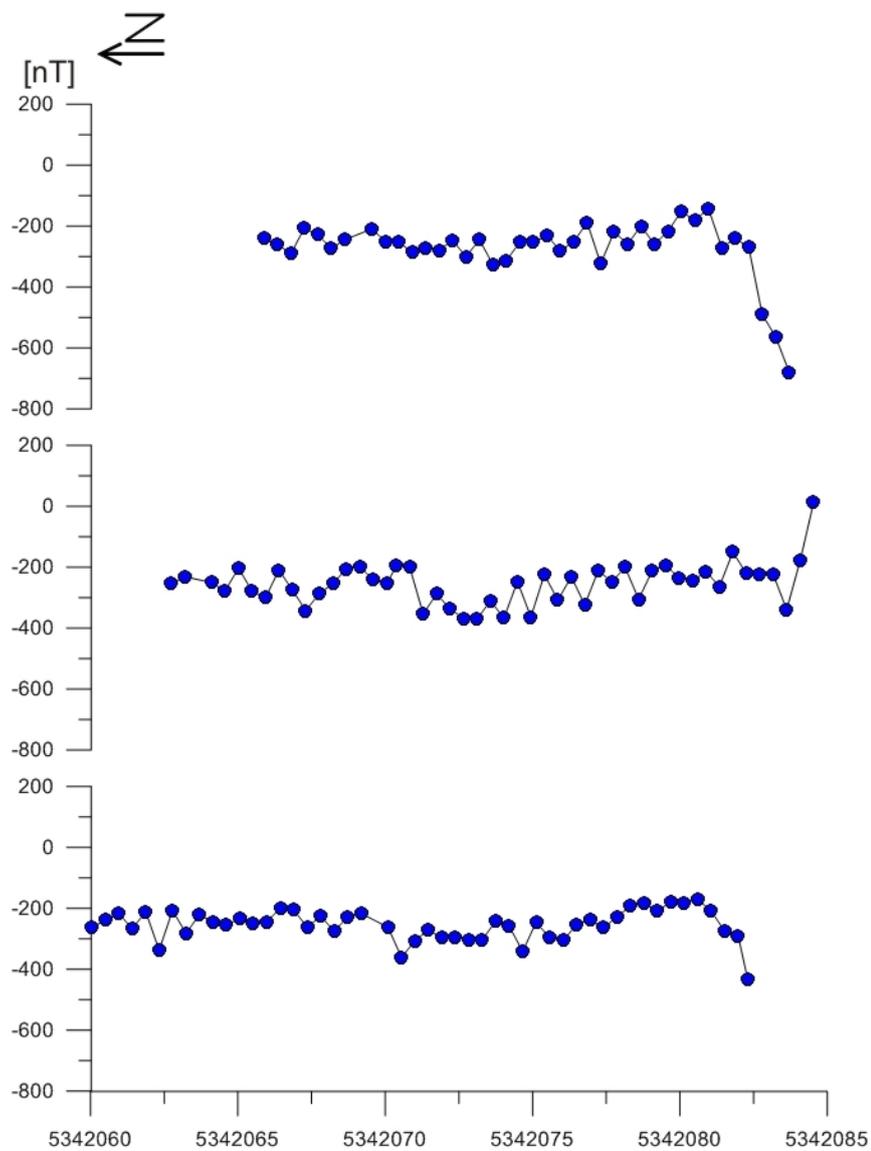


Abb. 6-8 Relative, sortierte, basiskorrigierte Darstellung der Profilmessergebnisse 2009 in Nord-Süd-Richtung

6.7 Fortran-Programm zur Basiskorrektur von Profildaten mittels am Cobenzl registrierten ZAMG-Daten

```

program BasiskorrekturZAMG
c
c  dies ist ein Programm zur Korrektur von Profil-
c  magnetikdaten mittels ZAMG-Magnetfelddaten
c
c  autor: Jutta Rasel
c
c
c  =====
c  Definition der Variablen
c  =====
c
character*1 sign1,blank1,title1
character*80 zamgfile,magfile,correctfile
c
integer nn1,nn2
integer timediff
integer hhz(1000000)
integer hhp(1000000),mmp(1000000),ssp(1000000)
integer hhb(1000000),mmb(1000000)
c
real fielddiff
real X(100000),Y(100000),Z(100000)
real diff1(1000000),diff2(1000000)
real newmag1(1000000)
real datap(1000000)
real datab(1000000)
c
c  =====
c  Filehandling
c  =====
c
write(*,*)' '
write(*,*)'This is a program to correct the raw magnetic data'
write(*,*)' '
write(*,*)'with the ZAMG earthmagnetic-field-data'
write(*,*)' '
write(*,*)'by Jutta Rasel, 2012'
write(*,*)' '
write(*,*)' '
c
c  A) Basics
c  -----
write(*,*)'leave program with EXIT'
write(*,*)' '
write(*,*)'or'

```

```
write(*,*)'  
write(*,*)'enter filename of ZAMG-data'  
write(*,*)'  
read(*,'(A80)') zamgfile  
c  
if(zamgfile.eq.'exit') then  
goto 99  
else  
open(unit=10,file=zamgfile,status='old')  
continue  
end if  
c  
write(*,*)'  
write(*,*)'ZAMG-data successfully gained'  
write(*,*)'  
c open(unit=88,file='Kontrollfile.txt',status='new')  
c write(88,*)'ZAMGdatafile opened'  
continue  
c  
write(*,*)'ZAMG-data is recorded in UTC-time'  
write(*,*)'  
write(*,*)'please add the time-difference to your data'  
write(*,*)'  
write(*,*)'in hrs'  
write(*,*)'  
write(*,*)'consider summer- and winter-time'  
write(*,*)'  
read(*,*) timediff  
c write(88,*)'time-difference to UTC ='  
c write(88,*)'  
c write(88,*) timediff  
c write(88,*)'  
continue  
c  
write(*,*)'  
write(*,*)'add the level-difference between ZAMG-data'  
write(*,*)'  
write(*,*)'and your measurement-area'  
write(*,*)'  
write(*,*)'in nT'  
write(*,*)'  
read(*,*) fielddiff  
c write(88,*)'field-difference to ZAMG='  
c write(88,*)'  
c write(88,*) fielddiff  
c write(88,*)'  
continue  
c
```

```

write(*,*)'
write(*,*)'enter filename of RAW PROFILE-data'
write(*,*)'
read(*,'(A80)') magfile
open(unit=20,file=magfile,status='old')
continue
c
write(*,*)'
write(*,*)'raw data successfully gained'
write(*,*)'
c  write(88,*)'Profildatenfile opened'
continue
c
c  B) Outputfile
c  -----
write(*,*)'enter output-filename'
write(*,*)'
read(*,'(A80)') correctfile
open(unit=11,file=correctfile,status='new')
c
c
c  =====
c  Hauptprogramm
c  =====
nn1=0
DO 100 i=1,1000000
nn1=nn1+1
read(20,1000,end=101) hhp(i),sign1,mmp(i),sign1,ssp(i),blank1,
*  datap(i)
1000 format(I2,A1,I2,A1,I2,A1,F8.2)
100 continue
101 continue
nn1=nn1-1
c
nn2=0
DO 200 j=1,1000000
nn2=nn2+1
read(10,2000,end=201) hhz(j),blank1,mmb(j),blank1,X(j),blank1,
*  Y(j),blank1,Z(j),blank1,datab(j)
2000 format(I2,A1,I2,A1,F8.2,A1,F8.2,A1,F8.2,A1,F8.2)
200 continue
201 continue
nn2=nn2-1
c
DO 300 m=1,nn1
DO 301 n=1,nn2
c
hhb(n)=hhz(n)+timediff
c

```

```
    if(hhb(n).eq.hhp(m)) then
c   write(88,*)'Stunden verglichen'
c   write(88,*)hhz(n),hhb(n),hhp(m)
c
    if(mmb(n).eq.mmp(m)) then
        diff1(n)=((datab(n+1)-datab(n))/60)*ssp(m)
c   write(88,*)hhp(m),mmp(m),ssp(m),diff1(n)
        diff2(n)=(diff1(n)+datab(n))+fielddiff
c   write(88,*)hhp(m),mmp(m),ssp(m),datab(n),diff1(n),diff2(n)
        newmag1(m)=datap(m)-diff2(n)
        write(11,*)hhp(m),mmp(m),ssp(m),blank1,newmag1(m)
c
        goto 301
    else
        continue
    end if
end if
301 continue
300 continue
c
c
c
c =====
c Output
c =====
c
c
c   write(*,*) '
c   write(*,*)'End program with return'
c   write(*,*) '
c   read(*,'(A1)') title1
c
c
c   close(10)
c   close(20)
c   close(11)
c
c   close(88)
c
c   99 continue
c   end
```

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1	„Plan of the Danube regulation“ 1871 (Hinkel 1994).....	1
Abb. 3-1	„Angewandte Geologische Karte der Stadt Wien“ (WGM 2011) mit Hervorhebung des Messgebietes.....	18
Abb. 3-2	Planungsskizze aufgrund mündlicher Darstellungen und Vor-Ort-Begehung.....	19
Abb. 3-3a	Darstellung der Sonarmessergebnisse in two-way-travel-time, inklusive der Lokalität der beiden Querprofile L2B und L5 von N. Jones, © TRITON	19
Abb. 3-3b	Darstellung der beiden, die Grabenstruktur kreuzenden Querprofile L2B und L5 entsprechend Abb. 3-3 von N. Jones, © TRITON.....	19
Abb. 3-4	Benennungserläuterung der Simulationsauswertungen in Tab. 3-5 bis 3-9	29
Abb. 3-5	Simulation einer Demo 500-lb M43 in Ost-West-Richtung ent- sprechend Tab. 3-4 mit $r = 0,18$ m, $k = 300$, $dx = 0,25$ m.....	29
Abb. 3-6	Simulation einer Demo 500-lb M43 in Nord-Süd-Richtung ent- sprechend Tab. 3-4 mit $r = 0,18$ m, $k = 300$, $dx = 0,25$ m.....	30
Abb. 3-7	Skizze der fertigen Plattformkonstruktion	37
Abb. 3-8a	Planungsskizze der Tragekonstruktion 2009.....	38
Abb. 3-8b	Umsetzung der Tragekonstruktion 2009	38
Abb. 3-9	Holzkonstruktion in Verwendung mit einem Schlauchboot	40
Abb. 3-10	Skizze Profileanordnung, Seilführung (blau) und Bewegungs- richtung (rot).....	40
Abb. 3-11	Trageversion der Holzkonstruktion in der Messsituation (VIII. 2009)....	44
Abb. 3-12	Profilmessrichtung (durch weiße Pfeile angezeigt).....	44
Abb. 3-13	Übersicht des Messaufbaus (VI. 2011)	45
Abb. 4-1a	Vergleich von ZAMG-Daten und Basisregistrierungen 13.06.2011 nach Korrektur des Offsets.....	48
Abb. 4-1b	Vergleich von ZAMG-Daten und Basisregistrierungen 14.06.2011 nach Korrektur des Offsets.....	48
Abb. 4-2	Vergleichende Amplitudendarstellungen – Berechnung mittels Parzen-window, ohne zero padding vom 13.06.2011 (<i>blau</i>) und 14.06.2011 (<i>rot</i>).....	49
Abb. 4-3a	Zeitliche Darstellung der Profilregistrierungen von Profil 1 und 2 mit zugehörigen Basiswerten	50
Abb. 4-3b	Zeitliche Darstellung der Profilregistrierungen von Profil 3 und 4 mit zugehörigen Basiswerten	50
Abb. 4-3c	Zeitliche Darstellung der Profilregistrierungen von Profil 5 und 6 mit zugehörigen Basiswerten	51
Abb. 4-4a	Vergleich der Basiskorrekturen auf Profil 1 und Profil 2	51
Abb. 4-4b	Vergleich der Basiskorrekturen auf Profil 3 und Profil 4	52
Abb. 4-4c	Vergleich der Basiskorrekturen auf Profil 5 und Profil 6	52
Abb. 4-5	Verlauf der basiskorrigierten Profilmessungen vom 13.06.2011 nach der Zeit. Die rote Umrahmung kennzeichnet mögliche Ausreißer. .	53

Abb. 4-6	Verlauf der basiskorrigierten Profilmessungen vom 14.06.2011 nach der Zeit. Die rote Umrahmung kennzeichnet mögliche Ausreißer. 53
Abb. 4-7	Verlauf der basiskorrigierten Profilmessungen vom 13.06.2011 nach der Zeit. Die rote Umrahmung und die Ziffern ① bis ③ kennzeichnen mögliche Ausreißer.....54
Abb. 4-8	Profilanordnungen 2009 (blau) und 2011 (rot) im KOS 33U entsprechend Google Earth [©]55
Abb. 4-9a	Tiefenausschnitt aus Sonardaten inklusive der Profilmesspunkte in Rot – 2D57
Abb. 4-9b	Tiefendarstellung aus Sonardaten inklusive der Profilmesspunkte in Rot – 3D57
Abb. 4-10	Basiskorrigierte Daten von Profil 2 – in relativer Distanz aufgetragen....58
Abb. 4-11a	Graphisches Ergebnis aus 2009 im Ausschnitt mit eigener Dynamik zur detaillierteren Darstellung59
Abb. 4-11b	Graphisches Ergebnis aus 2009 im Ausschnitt mit der Dynamik entsprechend Abb. 4-14 und 4-15.....59
Abb. 4-12a	Simulationen einer Eisenkugelquelle in 0,5 m Tiefe mit einer Breite von ca. 2 m, Variablen entsprechend den Simulationen aus Kapitel 3.4..60
Abb. 4-12b	Simulationen einer Eisenkugelquelle in 0,5 m Tiefe mit einer Breite von ca. 6 m, Variablen entsprechend den Simulationen aus Kapitel 3.4..60
Abb. 4-13	Relative, sortierte, basiskorrigierte Darstellung der Profilmessergebnisse 2011 in West-Ost-Richtung62
Abb. 4-14	Messergebnis 2011 mit Bathymetrie, idp-Suchradius = 0,5 m.....63
Abb. 4-15	Messergebnis 2011 mit Bathymetrie, idp-Suchradius = 5 m – flächenhafte Darstellung mit Messpunkten63
Abb. 4-16	Simulation Eisenkugel, $t = 3$ m, $r = 0,08$ m, $k = 300$64
Abb. 4-17	Lokalisierung des aus den Messdaten erkennbaren möglichen Störkörpers.....64
Abb. 6-1	Ungefähre Lage der zur Ergebnisdarstellung Sonar herangezogenen Profile Alte Donau © N. Jones69
Abb. 6-2	„Anweisung zum praktischen Mühlenbau“ (Ernst 1805).....70
Abb. 6-3	Strandkabinen im Gänsehäufel, 1910er Jahre © Wien Museum.....70
Abb. 6-4a	Skizze des Bauteiles „Auftriebskörper“73
Abb. 6-4b	Skizze des Bauteiles „Basisplattform“73
Abb. 6-7a	Skizze des Bauteiles „Operationseinheit“75
Abb. 6-7b	Skizze der Bauteile „Aufsätze“76
Abb. 6-8	Relative, sortierte, basiskorrigierte Darstellung der Profilmessergebnisse 2009 in Nord-Süd-Richtung78

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1	Übersicht und Bewertung traditioneller Messmethoden und deren, in der Archäo- und Sprengkörperprospektion üblichen Anwendungen.....	9
Tab. 2-2	Übersicht und Bewertung der in Archäologie und Sprengkörperexploration verwendeten Magnetometer.....	15
Tab. 3-1	Potentielle archäologische Münz-Fundstücke im Hafengebiete	22
Tab. 3-2	Potentielle, sprengkörperbezogene Fundstücke im Hafengebiete	23
Tab. 3-3	Übersicht Materialeigenschaften	26
Tab. 3-4	Eingabeparameter zur Simulation magnetischer Anomalien mittels Gl. 3.4.1.5	28
Tab. 3-5	Übersicht Simulationsergebnisse Demo 500-lb M43	31
Tab. 3-6	Übersicht Simulationsergebnisse GP 500-lb AN M43	31
Tab. 3-7	Übersicht Simulationsergebnisse Demo 100-lb M30	32
Tab. 3-8	Übersicht Simulationsergebnisse Frag 20-lb AN M41	33
Tab. 3-9	Übersicht Simulationsergebnisse Münzen	33
Tab. 6-1	Fehler durch Aliasing nach Reid	71

Literaturverzeichnis

- Bevan, B. W., 1994: The Magnetic Anomaly of a Brick Foundation, *Archaeological Prospection*, 1, 93-104
- Billings, S., Youmans, C., 2007: Experiences with unexploded ordnance discrimination using magnetometry at a live-site in Montana, *Journal of Applied Geophysics* 61(3-4); 194-205
- Clark, A., 1990: *Seeing Beneath the Soil, prospecting methods in archaeology*. Oxon: Routledge
- Clark, A., 1996: *Seeing Beneath the Soil, prospecting methods in archaeology – New Edition*. Oxon: Routledge
- Donabaum, K., Nagel, G., Riedler, P., 2005: Die Alte Donau. Beispiel für ein erfolgreiches Gewässermanagement der Stadt Wien, *Perspektiven Nr. 2*; 46-51
- Ernst, H., 1805: Anweisung zum praktischen Mühlenbau für Müller und Zimmerleute. Band 3. Leipzig: *Verlag G. Fleischer*.
- Fassbinder, J. W. E., 1990: Occurrence of magnetic bacteria in soil, *Nature* 343; 161-163
- Fassbinder, J. W. E., Stanjek 1993: Occurrence of bacterial magnetite in soils from archaeological sites, *Archaeologia Polona* 31: 117-128
- Faupl, P., 2003: *Historische Geologie*. 2. Auflage. Wien: *facultas wuv*
- Hall, E. T., 1970: Survey Techniques in Underwater Archaeology. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London Series A*, 269: 121-124
- Hinkel, R., 1994: Plan of the Danube regulation 1871, *Wien XXI. Floridsdorf. Das Heimatbuch*. Wien
- Kromp, T. et al., 1999: *Praxis des Tauchens*. 3. Auflage. Bielefeld: Delius Klasing Verlag
- Lawrence, M. et al. 2003. Geophysical techniques for maritime archaeological surveys. 9th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Prague, Czech Republic – (Download: www.st-andrews.ac.uk/~crb/web/confabs.htm)
- Linford, N. T., 2004: Magnetic Ghosts: Mineral Magnetic Measurements on Roman and Anglo-Saxon Graves. *Archaeological Prospection* 11; 167-180
- Linford, N. T., 2006: The application of geophysical methods to archaeological prospection. *Reports on Progress in Physics* 69; 2205-2257
- Lucas, A., 1948: *Ancient Egyptian Materials and Industries*. 3rd ed. Kessinger Publishing
- Militzer, H., Weber, F. 1984: *Angewandte Geophysik, Band 1 – Gravimetrie und Magnetik*. Wien – New York: Springer
- Milsom, J., 2003: *Field Geophysics*. 3rd ed. Chichester: Wiley & Sons Ltd.
- Pfleiderer, S., 2007: *Geologische Übersichtskarte von Wien, GBA Präsentation zur Geologie der Wiener Weinrieden*
- Pitzius, P., Hartmann, U., 2000: Supraleitung, Gravitationswellen und Tumore – Magnetfelder an der Grenze des Messbaren, *Magazin Forschung Nr. 2*; 3-12
- Reid, A. B., 1979: Short Note on Aeromagnetic survey design. *Geophysics* 45(5); 973-976
- Schmidt, A., 2007: *Archaeological, magnetic methods*. In: Gubbins, D. & Herrero-Bervera, E. (eds.) *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*. Heidelberg – New York: Springer; 23-31
- Schnedlitz, P., 2011: Die Wiederentdeckung der Kaufhauskultur, Zeitungsinterview. *Die Presse* – Printausgabe vom 03.09.2011

- SERDP 2010: Introduction to “Partners in Environmental Technology – Technical Symposium and Workshop” Nov. 30th – Dec. 2nd 2010, Washington DC by Strategic Environmental Research and Development Program (SERDP)
- Simms, J. E., Albertson, P.E., 2000: Multidisciplined Investigation to Locate the Kentucky Shipwreck, *Geoarchaeology* 15(5); 441–468
- Stadtchronik 1986: *Stadtchronik Wien*. 2. Auflage. Wien – München: Brandstätter
- Subba Raju, L. V., 1991: Application of Acoustic, Magnetic and Electromagnetic Systems in Marine Archaeology, *Recent Advances in Marine Archaeology*. S. R. Rao (ed.): NIO, Goa; 101–105
- Telford, W. M., et al., 1990: *Applied Geophysics*. 2nd ed.. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- The Interstate & Regulatory Council Unexploded Ordinance Team (ITRC), 2004: Geophysical Prove-Outs for Munition Response Projects, Technical/Regulatory Guideline November 2004
- Weymouth, J. W., Huggins, R., 1985: Geophysical surveying of archaeological sites. In: Rapp, G, Gifford, J. A. (eds.): *Archaeological Geology*. New Haven: Yale University Press: 191–236
- White Paper 2010: Munitions in the Underwater Environment: State of the Science and Knowledge Gaps, June 2010 by SERDP (*Strategic Environmental Research and Development Program*) & ESTCP (*Environmental Security Technology Certification Program*)

Anmerkung: „Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.“

Lebenslauf

Jutta Rasel

geboren am 06. November 1986 in Limburg/Lahn, Deutschland

Adresse: Alserbachstraße 13/Stiege 1/Tür 10, 1090 Wien

E-Mail: jutta.rasel@t-online.de

Ausbildung

1993–1997: Grundschule Niederhadamar, Deutschland

1997–2003: Gymnasialzweig der Fürst-Johann-Ludwig-Schule, Hadamar, Deutschland

2003–2006: Gymnasiale Oberstufe der Fürst-Johann-Ludwig-Schule, Hadamar, Deutschland

2006–2007: Diplomstudium Meteorologie und Geophysik, 1. Studienabschnitt, Universität Wien

seit 2007: Diplomstudium Geophysik, 2. Studienabschnitt, Universität Wien

Berufserfahrung

2007: Feldpraktikum bei eastern atlas, Magnetik und Bodenradar in Luxembourg

2008: Ferialpraktikum bei BLM – Gesellschaft für Bohrlochmessungen mbH, Poing bei München, Deutschland

2009: Teilnahme am 1st INQUA – IGCP 567, International Workshop and Field Course on Earthquake Archaeology and Paleoseismology, Baelo Claudia, Cádiz, Spanien

2010: Feldpraktikum bei LBI ArchPro, geophysikalischen Prospektion (Bodenradar) in Stonehenge, England

2010: Ferialpraktikum bei Univ. Prof. Dr. Peter Steinhauser, ZT

2010–2011: Festanstellung bei Univ. Prof. Dr. Peter Steinhauser, ZT

seit 2011: Festanstellung bei Steinhauser Consulting Engineers ZT-GmbH (STCE)

Kenntnisse

Fremdsprachen: Englisch, Spanisch, Französisch

EDV-Kenntnisse: Betriebssystem Microsoft Windows

Programmierkenntnisse in Matlab, Fortran 77

Anwenderkenntnisse in GoldenSoftware Grapher und Surfer

Anwenderkenntnisse in Promax, VibraGraph, View2002, MEDA

Sonstiges: Sprengbefugnis, Führerschein Klasse B

