

ELISABETH IDA FAULSTICH, ANDREA HAHN-WEISHAUP (HG.)

DOKUMENTATION UND INNOVATION BEI DER ERFASSUNG VON KULTURGÜTERN

Schriften des Bundesverbands freiberuflicher Kulturwissenschaftler, Band 2



NETZpublikation

ELISABETH IDA FAULSTICH, ANDREA HAHN-WEISHAAPT (HG.)

**Dokumentation und Innovation bei der
Erfassung von Kulturgütern**

Schriften des Bundesverbands freiberuflicher Kulturwissenschaftler

Band 2

Diese Netzpublikation enthält Beiträge, die von den Autorinnen und Autoren im Verlauf einer zweitägigen BfK-Tagung in Lübben am 16. und 17. November 2006 als Referat vorgetragen und für diese Veröffentlichung in Schriftform zur Verfügung gestellt wurden.

Ein Tagungsprotokoll ist abrufbar unter www.b-f-k.de

Im Vorbereitungsteam wirkten mit:

Elisabeth Ida Faulstich (FIAK Cottbus)

Andrea Hahn-Weishaupt (WHP-Archäologiebüro GbR, Neulöwenberg)

**(C) 2009 Bundesverband freiberuflicher Kulturwissenschaftler e.V.
und die Autorinnen und Autoren**

Die Rechte für die Texte liegen beim Bundesverband freiberuflicher Kulturwissenschaftler e.V. und den jeweiligen Autorinnen und Autoren.

Die Rechte für die Bilder liegen bei den jeweiligen Autorinnen und Autoren, soweit nicht anders angegeben.

Die Verwertung der Texte und Bilder ist ohne schriftliche Zustimmung des Bundesverbands freiberuflicher Kulturwissenschaftler e.V. und der Autorinnen und Autoren urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt auch für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und für die Verarbeitung mit elektronischen Systemen.

Redaktion:

Elisabeth Ida Faulstich, Andrea Hahn-Weishaupt, Stefan Nies, Heinz Schröder

Gestaltung und Satz:

Heinz Schröder

Die Titelbild-Collage verwendet mit freundlicher Genehmigung der Autoren Ausschnitte aus Fotos von Martin Schaich/ArcTron 3D GmbH (Laserscanner) und Dr. Thomas Schatz (Grabung)

URN der Deutschen Nationalbibliothek

urn:nbn:de:0258-200900010

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0258-200900010>

LMER – Langzeitarchivierungsmetadaten für elektronische Ressourcen

Der Uniform Resource Name (URN) ist einer ISBN vergleichbar, mit seiner Hilfe lässt sich diese Online-Ressource dauerhaft adressieren und zuverlässig zitieren.

Besuchen Sie uns im Internet unter www.b-f-k.de

Inhalt

Elisabeth Ida Faulstich

Vorwort 6

1. DOKUMENTATION

Tilman Wanke

Ein Vergleich verschiedener Aufnahmemethoden für die Archäologische Dokumentation 7

Frank Richter

Auf dem Weg zum digitalen Grabungsbericht 18

Matthias Kokschi, Dorena Barchfeld

Digitale Grabungsdokumentation in einer CAD Umgebung 24

Olaf Prümm, Mustapha Doghaili, Michael Pospíš

3D-Laserscanning für die Bestandsaufnahme in Archäologie und Denkmalpflege 30

Martin Schaich

3D-Scanning-Technologien in der Bau- und Kunstdenkmalpflege und der archäologischen Feld- und Objektdokumentation 35

Dirk Fichtmüller, Henry Kießling

Hightech in der Archäologie - Laserscanning archäologischer Mauerbefunde und Fundstücke 47

Ronald Heynowski

Fern und nah: digitale Orthophotos - CIR-Bilder - Airborne Laserscanning - maschinelle Fundbeschriftung 57

Manfred Winking

Einsatz und Möglichkeiten geophysikalischer Messverfahren in der Archäologie 67

2. FORSCHUNG

Thomas Schatz

Geoarchäologische Beiträge zur Landschafts- und Siedlungsforschung 81

Mara Weinelt

Klimakurven des letzten Eiszeitzyklus 89

3. MUSEUM

Wolfgang Fritzsche

Invent für Hessen - ein Datenbanktool zur Inventarisierung an Museen 99

Werner Preininger

Einführung von IMDAS-Pro am Beispiel von Augusta Raurica in Augst (Schweiz) 105

ANHANG

Der Bundesverband freiberuflicher Kulturwissenschaftler e.V. (BfK) 111

Der "Geschäftsbereich Archäologie" des Bundesverbands freiberuflicher Kulturwissenschaftler 112

Vorwort

Der Bundesverband freiberuflicher Kulturwissenschaftler (BfK) veranstaltete am 16. und 17. November 2006 in Lübben eine zweitägige Tagung zu Methoden der Dokumentation bei Ausgrabungen und der Inventarisierung von Exponaten. Wir freuen uns Ihnen nun die Netzpublikation auf unserer Website vorstellen zu können und möchten den Referentinnen und Referenten und allen Beteiligten an dieser Stelle herzlich danken.

Bei Ausgrabungen war in der Vergangenheit die Handzeichnung Grundlage aller Dokumentationen. Die Vermessung, wie beispielsweise das Anlegen eines Rasters, wurde von einem Geodäten durchgeführt, der Archäologe fügte seine Befunde mit Zollstock, Maßband und Nivelliergerät in das vorgegebene Raster.

Mittlerweile hat hier die digitale Technik Einzug gehalten. Die Bearbeitung und Aufbereitung der gewonnenen Daten bedürfen eines hohen Zeitaufwandes und entsprechender Software. Wie im Bereich des Museums stellt sich auch hier die Frage, ob die neuen Verfahren den zu dokumentierenden Objekten gerecht werden. Ersetzt die digitale Erfassung von archäologischen Befunden die Handzeichnung und die damit einhergehende intensive Beschäftigung mit den Befunden vor Ort? Besteht die Gefahr, dass man den Befund der Technik unterordnet? Wie steht es mit dem Umgang mit Software? Verliert der Wissenschaftler am Ende gar den Überblick durch die zusätzliche Belastung mit dem Erlernen, Verstehen und Anwenden von neuen Methoden? Was geschieht beim Ausfall der Technik? Welche Technik und Software ist für Archäologie und Bauforschung sinnvoll?

Der erste und umfassendste Teil der Tagung beschäftigte sich mit der digitalen Technik und deren Nutzung bei Dokumentationen in der Archäologie und der Bauaufnahme.

Der zweite Teil beschäftigte sich mit neuen Forschungen aus dem Bereich der Naturwissenschaften. Geowissenschaftliche Erkenntnisse werden in der Archäologie zu weiter reichenden Deutungen von Grabungsbefunden und Funden genutzt.

Der dritte Teil war dem Museum gewidmet. Anforderungen und Methoden sind keineswegs einheitlich. Während in einigen Häusern in traditioneller Weise mit Karteikartensystemen gearbeitet wird, greifen andere auf Angebote nationaler und internationaler Datenbankanbieter zurück. Dazwischen findet sich eine Vielzahl von individuell entwickelten und spezifisch angepassten Systemen.

Ein Vergleich verschiedener Aufnahmemethoden für die Archäologische Dokumentation

Hier soll kurz ein Methodenvergleich zwischen verschiedenen auf archäologischen Ausgrabungen üblichen Vermessungsverfahren vorgestellt werden, den der Autor im Rahmen seiner Diplomarbeit an der FHTW-Berlin durchführte. ⁽¹⁾ Ziel der Untersuchung war, die praktische Eignung verschiedener Verfahren für die Feldarbeit festzustellen. Dabei ging es speziell um die Dokumentation verstürzter und en bloc umgekippter Mauern sowie von in situ erhaltenen Mauerstümpfen. Die Vermessung und Darstellung solcher Befunde stellt den Ausgräber vor besondere Probleme: Neben hohen Genauigkeitsanforderungen erfordert deren komplizierte Geometrie eine hohe Anzahl an Einzelmessungen. Der daraus resultierende extrem erhöhte Zeitaufwand kann die herkömmlichen Aufnahmeverfahren an ihre Grenzen stoßen lassen.

1. Konzept und Durchführung

Für die Untersuchung wurden sieben auf Ausgrabungen gängige Verfahren ausgewählt (mit Ausnahme des 3D-Laserscans) und diese auf einer Testfläche angewendet:

- Zeichenrahmen (Handzeichnung im Maßstab 1:20)
- Feldpantograf (Aufnahmemaßstab 1:20)
- Trigomatsystem mit drei Wegaufnehmern
- tachymetrische Aufnahme
- Fotogrammetrische Einbildauswertung und Darstellung als Bildplan (verschiedene Programme und Aufnahmekonfigurationen)
- Fotogrammetrische Mehrbildauswertung
- 3D-Laserscan

1 Dokumentation von Mauerverstürzen und Mauerstümpfen. Unveröffentlichte Diplomarbeit, vorgelegt an der FHTW-Berlin 2003;
Zeichnerische Dokumentation von verstürzten Mauern. Vergleich verschiedener Vermessungsmethoden an einem speziellen archäologischen Befund, VDR-Beiträge 2005/2, Regensburg 2005

Die Testfläche befand sich auf der Ausgrabung der villa rustica von Nasenfels, Landkreis Eichstätt. In dem 8 x 9,5 m großen Bereich lag die Südwestecke eines steinernen Nebengebäudes der villa, umgeben von ungeordnetem Versturzsutt. Der Zustand der Befunde entsprach dem ersten Planum der Grabung.

Für die Beurteilung der Verfahren wurden folgende Parameter untersucht:

- Arbeitsaufwand
- Messgenauigkeit
- Darstellungsweise

Die Arbeitszeit wurde für die einzelnen Arbeitsschritte jeweils getrennt protokolliert, so dass sich neben Feldarbeit und Nachbearbeitung auch der zeitliche Arbeitsaufwand für zwei verschiedene Detaillierungsstufen eines fertigen Planes unterscheiden ließ:

- Stufe 1: Weitgehend steingerechte Aufnahme der Mauer ohne Versturzsutt.
- Stufe 2: Steingerechte Aufnahme der gesamten Testfläche: Eine solche Dokumentation enthält das Optimum an Information, wobei bei den meisten Verfahren der Arbeitsaufwand extrem groß wird.

Zur Beurteilung der Messgenauigkeit wurden die Abweichungen in der Ebene zwischen der jeweiligen Prüfungsmessung und einer Verifikationsmessung verglichen. Als Verifikationsmessung dienten 166 tachymetrisch eingemessene Referenzpunkte, die in der Fläche mit kleinen Plastiketiketten vermarktet wurden. Aus den grafisch ermittelten einzelnen Abweichungen wurde eine Standardabweichung ermittelt, die speziell die Genauigkeit des getesteten Verfahrens an der Testfläche beschreibt und bewusst alle systematischen und zufälligen Fehler beinhaltet. ⁽²⁾

Die Darstellungsweise, also die mit einem spezifischen Verfahren erzielbare Darstellung der Messergebnisse, ist nicht quantitativ zu fassen. Für deren Beurteilung sind neben der - nur subjektiv zu beurteilenden - Qualität vor allem die Kombinations- und Modellierungsmöglichkeiten von Bedeutung, mit denen weitere Informationen in der Dokumentation festgehalten werden können.

2 Zum Betrag der Standardabweichung: Jede einzelne Messung liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 70% unter dem berechneten Wert.

2. Ergebnisse

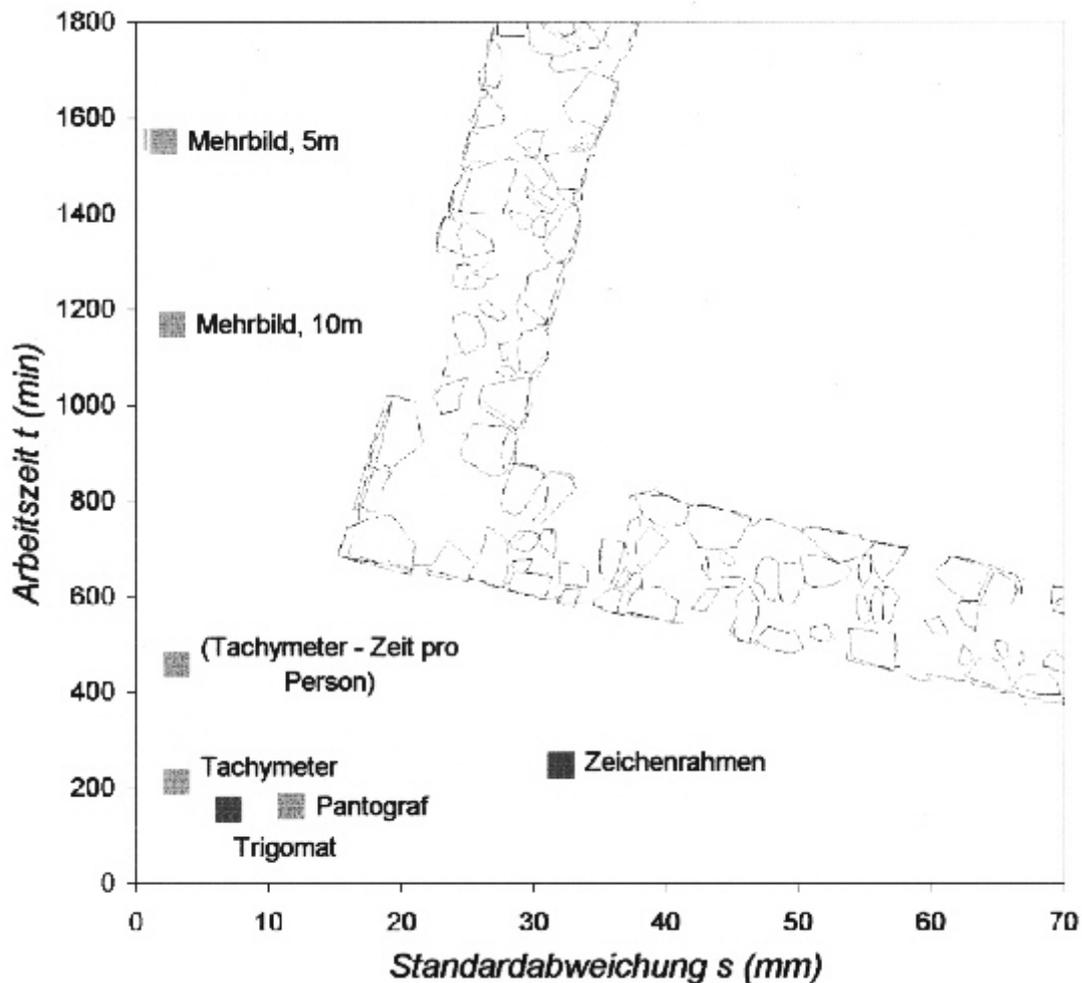


Abb. 1
Diagramm Genauigkeit - Arbeitszeit. Steingerechte Maueraufnahme ohne Versturzsutt (Stufe 1)

Das ermittelte Verhältnis von Arbeitszeit zu Messgenauigkeit wird in den folgenden Punktdiagrammen dargestellt (Abb. 1 und 2). In diesen sind die Standardabweichungen auf der x-Achse und die benötigten Arbeitszeiten auf der y-Achse eingetragen. Ein Verfahren eignet sich besonders gut, wenn sie dem Ursprung des Diagramms möglichst nahe liegt. Die Standardabweichung einiger Verfahren ließ sich im Feldversuch nicht überprüfen und musste anderweitig ermittelt werden: Solche Datenpunkte sind in hellerem grau wiedergegeben. ⁽³⁾

3 Die einzelnen Messergebnisse und Berechnungen finden sich als separater Anhang als PDF-Datei (273 kb) im Internet:
<http://home.arcor.de/tilman.wanke/Anhang.pdf>

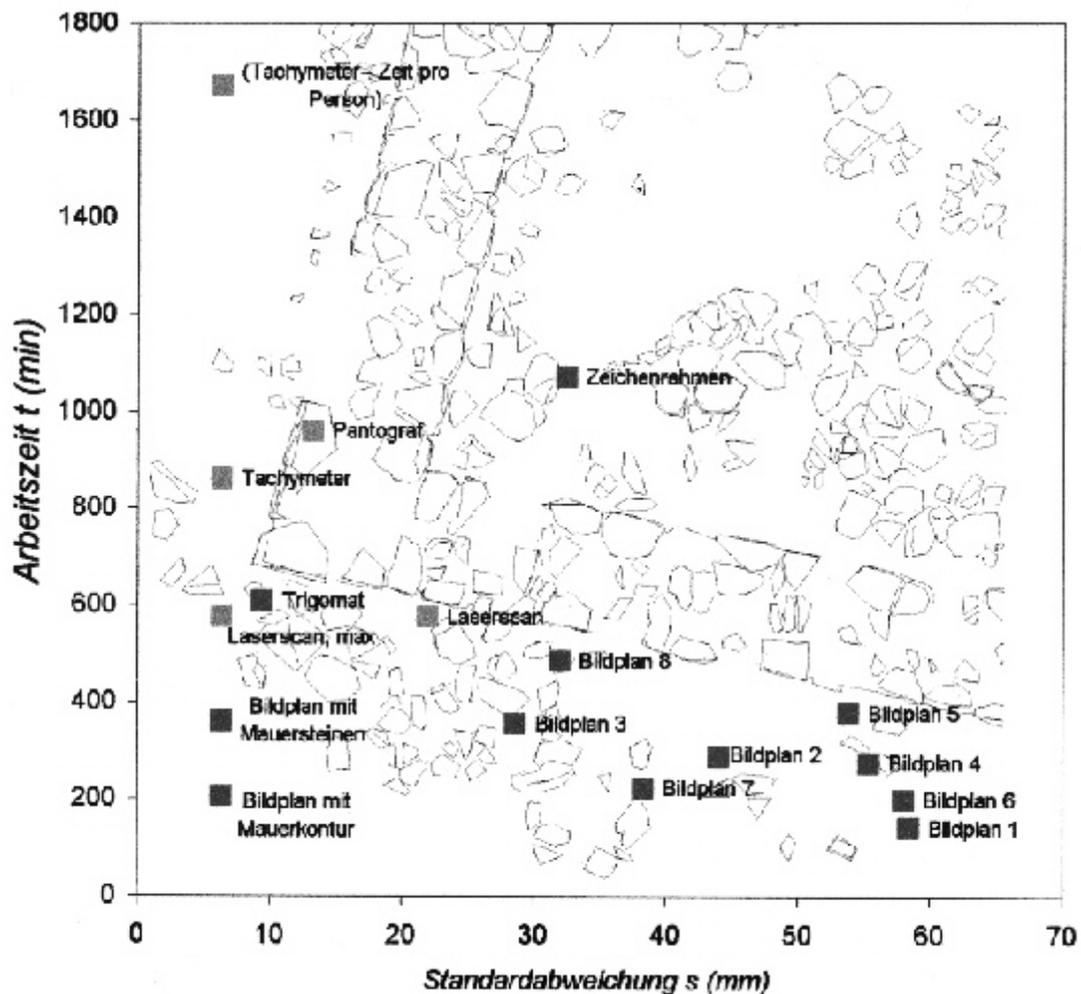


Abb. 2
Diagramm Genauigkeit - Arbeitszeit. Steingerechte Aufnahme mit Versturzschnitt (Stufe 2)

Die mit den getesteten Verfahren erzielbaren Darstellungsweisen und deren Ergänzungs- und Modellierungsmöglichkeiten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Mit Ausnahme des digitalen 3D-Modells beim Laserscan und den bei der Einbildfotogrammetrie angefertigten Bildplänen lassen sich mit allen anderen getesteten Verfahren direkt Konturlinienpläne erstellen. Diese unterscheiden sich allerdings je nach Verfahren zum Teil beträchtlich voneinander:

Für die Wiedergabe der komplexen Geometrie von Bruchsteinmauerwerk liefern handgezeichnete Pläne wesentlich bessere Ergebnisse als digitale Vektorzeichnungen. Mit dem Bleistift lassen sich detaillierte Formen besser wiedergeben als durch gerade Verbindungslinien zwischen digital gemessenen Koordinatenpunkten (Abb. 3a und b). Allerdings spielt dieser Umstand nur bei höchsten Genauigkeitsanforderungen mit einer detaillierten, steingerechten Darstellung der Befunde eine Rolle. Für ungeordneten Versturzschnitt ist eine solche detaillierte Aufnahme in der Regel zu arbeitsaufwändig.

Methode	Darstellungsmodell	Modellierungsmöglichkeiten
Zeichenrahmen	analoger Punkt- und Konturenplan (2D)	händische Signatur und Kolorierung, Nivellement
Pantograf (1:20)	analoger Punkt- und Konturenplan (2D)	händische Signatur und Kolorierung, Nivellement
Trigomat, Maßbandsystem	digitaler Punkt- und Konturenplan (3D)	digitale Signatur (durch Kodierung)
	Planausdruck: analoger Punkt- und Konturenplan (2D)	händische Signatur und Kolorierung, Nivellement (durch Kodierung)
Tachymeter, mit autom. Planzeichnung	digitaler Punkt- und Konturenplan (3D)	digitale Signatur (durch Kodierung)
	Planausdruck: analoger Punkt- und Konturenplan (2D)	händische Signatur und Kolorierung, Nivellement
Bildplan	digitaler fotografischer Bildplan (2D)	kombinierbar mit digitalen Punkt- und Konturenplänen: (digitale Signaturen und Nivellement durch Kodierung)
	Planausdruck: analoger fotografischer Bildplan (2D)	händische Signatur und Kolorierung, Nivellement
Mehrbildauswertung	digitaler Punkt- und Konturenplan (3D)	digitale Signatur (durch Layersteuerung) und kombinierbar mit digitalen Punkt- und Konturenplänen: (Nivellement durch Kodierung)
	Planausdruck: analoger Punkt- und Konturenplan (2D)	händische Signatur und Kolorierung, Nivellement
3D-Laserscan	verschiedene digitale Darstellungsmodelle (3D) mit und ohne Textur - abhängig von verwendeter Software	nachträgliche Signatur und Vektorisierung, Ausgabe in Ansichten und Schnitten - abhängig von verwendeter Software
	verschiedene Planausdrucke von Orthoansichten oder Schnitten - abhängig von verwendeter Software	(händische Nachbearbeitung auf Planausdruck allenfalls als Zwischenschritt denkbar)

Tabelle 1: Darstellungsweisen und Modellierbarkeit einzelner Verfahren

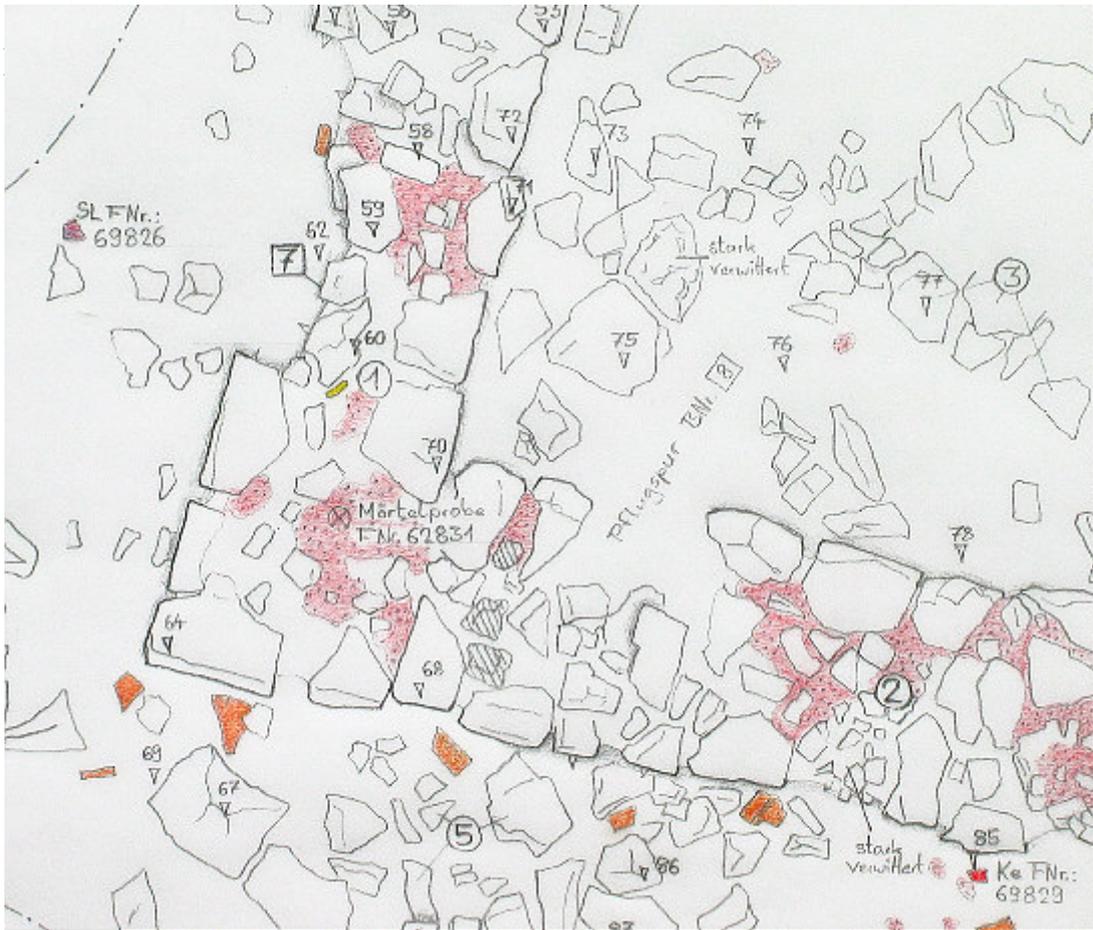
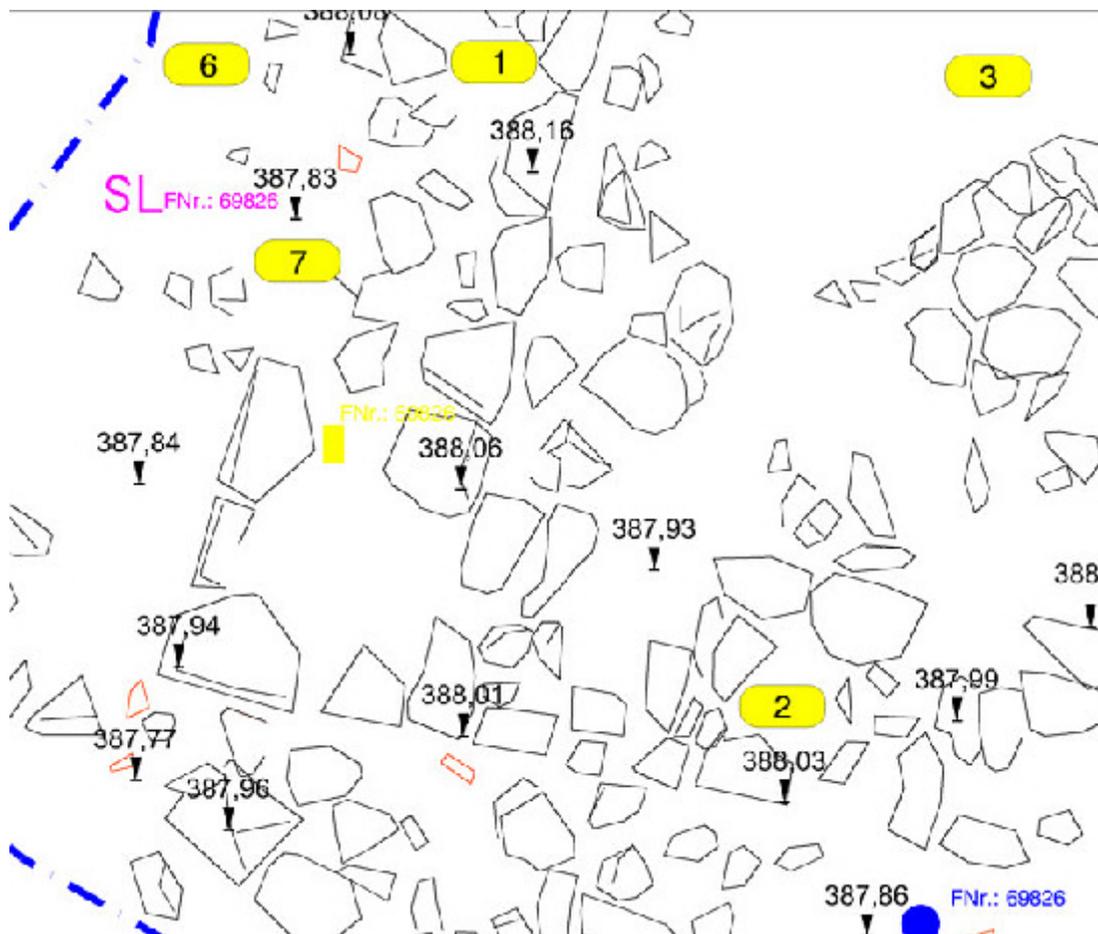


Abb. 3a (oben) Analoger Konturlinienplan (originale Handzeichnung im Maßstab 1:20)
 Abb. 3b (unten) Digitaler Konturlinienplan (CAD-Zeichnung für den Ausgabemaßstab 1:20)



Bildpläne eignen sich sehr gut für die Wiedergabe der Befunde: Sind die Aufnahmen optisch genügend kontrastreich, werden auch die messbaren Konturen indirekt wiedergegeben. Dabei enthält ein farbiges, fotorealistisches Messbild viel mehr Information als eine auf Konturlinien reduzierte Kartierung. Des Weiteren lassen sich Rasterdaten von Bildplänen problemlos mit anderen Verfahren kombinieren oder ergänzen.

Von 3D-Laserscannern erzeugte farbige 3D-Modelle in Form einer Punktwolke bis hin zu einem "wasserdichten" Volumenmodell sind eine eigene Form der Darstellung, die sich erst in den letzten Jahren entwickelt hat. Der große Vorteil liegt in der Dreidimensionalität der Darstellung bei einer gleichzeitig hohen möglichen Auflösung. Zum Zeitpunkt des Methodenvergleichs im Sommer 2003 bestand noch das Problem der sehr aufwändigen unmöglichen Modellierbarkeit eines solchen Modells. Mittlerweile sind aber mehrere Softwareprodukte auf dem Markt, die einem Bearbeiter beispielsweise das Eintragen von Befundgrenzen und Befundnummern auf einfache Weise ermöglichen.

3. Diskussion der einzelnen Verfahren

Der Zeichenrahmen (auch "Messrahmen") ist eher eine Zeichenhilfe als ein eigenes Verfahren. Bei der Untersuchung zeigte sich, dass zwar der Zeitaufwand bei der Aufnahme der in situ erhaltenen Mauer (Stufe 1) vergleichbar mit den anderen Verfahren ist, die festgestellten Messfehler jedoch recht hoch sind. Dieser Fehler beruht im Wesentlichen in der optischen Verschiebung zwischen dem Befund und dem höher liegenden Messgitter bei einer schrägen Betrachterposition (Schrägpeilung). Für die flächenhafte, steingerechte Aufnahme des Schuttes (Stufe 2) wäre zudem die Arbeitszeit unverhältnismäßig hoch. Bei den stärker reliefierten Befunden auf der Testfläche war der Zeichenrahmen daher insgesamt eher ungeeignet. Allerdings muss dieses Ergebnis etwas relativiert werden: Der getestete Rahmen war lediglich einfach bespannt und mit 2 m x 1 m recht unhandlich. Ein doppelt bespannter Rahmen mit höhenverstellbaren Standbeinen hätte besser abgeschnitten.

Die Beurteilung dreidimensional messender Fotogrammetriesysteme erwies sich als problematisch: Zumindest das hier getestete System zur Mehrbildauswertung war ungeeignet. Von der theoretisch erreichbaren Genauigkeit ausgehend genügt die Mehrbildauswertung zwar den höchsten Ansprüchen, bei der Auswertung zeigte sich jedoch ein großer Nachteil der Methode: Die eigentliche Messung findet nach Abschluss der Feldarbeit am Rechner statt. Dabei kann es zu Problemen bei der Signalisierung eines Messpunktes in den verschiedenen Messbildern kommen. Die Konturkante eines Bruchsteines kann auf einem Messbild eindeutig erscheinen und auf dem nächsten nicht wieder auffindbar sein, wodurch die Messung unmöglich wird. Außerdem mag zwar die Arbeitszeit auf der Fläche gering sein, diese Zeitersparnis wird jedoch durch eine vielfach längere Arbeitszeit bei der Auswertung zunichte gemacht.

Die mit einem 3D-Laserscanner erzielbare Messdatendarstellung im farbigen 3D-Modell und die erreichbare Genauigkeit sind beeindruckend. Allerdings steht dem eine verhältnismäßig hohe Arbeitszeit bei der Messdatenprozessierung bis zum fertigen virtuellen Modell gegenüber. Danach müsste dieses - am besten mit dem Befund vor Augen - noch wei-

ter modelliert werden (materialspezifische Signaturen, verdeutlichende Konturlinien, Befund- und Fundnummern, etc.), was zum Zeitpunkt des Methodenvergleichs technisch noch nicht möglich war. Für die Befundaufnahme bei dieser Untersuchung war das Verfahren daher eher ungeeignet. 3D-Scanverfahren bieten sich als Sonderform der Dokumentation für entsprechende Befunde und nicht als ausschließliche Dokumentationsmethode auf archäologischen Grabungen an. Wenn die reine Geometriedarstellung genügt, sind Scanverfahren optimal geeignet. Zudem ergeben sich mit einer Scanaufnahme vielseitige Möglichkeiten der Visualisierung und Präsentation für die Öffentlichkeitsarbeit.

Für die steingerechte Aufmessung der Mauerkrone (Stufe 1) haben sich bei der Untersuchung vor allem der Tachymeter, der Pantograf und der Trigomat bewährt. Den mit diesen Verfahren erstellten Konturlinienplänen lassen sich zudem gut zusätzliche Informationen wie Kodierungen oder Signaturen hinzufügen, indem diese entweder direkt bei der Messung aufgenommen werden oder anschließend auf einem Arbeitsplan manuell eingetragen werden.

Bei der tachymetrischen Aufnahme muss für eine ausreichende Genauigkeit ein Miniprisma auf einem möglichst kurzen Halter (Empfehlung: unter 20 cm) mit Dosenlibelle verwendet werden, da sonst der Lotungsfehler zu groß werden kann. Die Arbeitszeit mit dem Tachymeter steigt im Vergleich zu den anderen Methoden bei einer höheren Anzahl von Messpunkten beträchtlich an: Nach den Ergebnissen auf der Testfläche wird der Tachymeter schon bei Messungen ab 1.000 Punkten im Verhältnis zu Trigomat und Pantograf unökonomisch. Für die steingerechte Aufnahme der gesamten Testfläche (Stufe 2) ist das Verfahren aufgrund der hohen Arbeitszeit sogar ungeeignet. Unerlässlich für die Aufnahme detaillierter Befunde ist eine Software, die eine automatisierte Planerstellung unterstützt. Ein Nachteil der herkömmlichen tachymetrischen Aufnahme besteht in der Unsichtbarkeit der Messung während des Messvorganges: Fehlstellen und Doppelmessungen fallen erst bei der Auswertung am Rechner auf. Abhilfe bieten hier Online-CAD-Programme, bei denen die Messungen direkt vom Tachymeter auf ein angeschlossenes Notebook gespielt und in CAD dargestellt werden, sowie die neueren Geräte mit grafischer Anzeige. Trotz dieser Einschränkungen eignet sich der Tachymeter noch für die steingerechte Aufnahme der Mauer entsprechend der Stufe 1.

Der Pantograf lieferte sowohl für die Aufnahme der Mauer als auch der gesamten Testfläche brauchbare Ergebnisse: Die Arbeitszeit lag unter der des Tachymeters, allerdings auch die Genauigkeit. Bei einem gut justierten Gerät kann der mechanische Messfehler vernachlässigt werden: Nach Herstellerabgabe liegt dieser unter 0,2 mm. Allerdings ist eine Dejustierung häufig kaum feststellbar: Trotz korrekt eingestelltem Eichstrich können sich beispielsweise durch Änderungen der Schnurlängen schnell und unerkannt Fehler einstellen, wie sich leider auch bei diesem Feldversuch zeigte. Ebenso können beim Abfahren der Objektkonturen (Lotungsfehler) und durch Abweichungen von der Zeichenebene (Fehlerdreieck) Fehler entstehen. Eine stumpfe Bleistiftmine mit entsprechend breitem Strich verursacht weitere Ungenauigkeiten. Die Überarbeitung der Rohzeichnungen muss am Befund stattfinden, da diese sonst stark verfremdet werden. Mit einem gut justierten Gerät und einer sehr sorg-

fältigen Aufnahme und Überarbeitung lassen sich auch mit einem Gerät im Maßstab 1:20 ausreichend genaue, weitgehend steingerechte Aufnahmen in angemessener Zeit anfertigen.

Ein sehr gutes Ergebnis bei der steingerechten Maueraufnahme lieferte das Trigomatsystem: Bei der geringsten Arbeitszeit lag die Genauigkeit nur knapp hinter der des Tachymeters. Allerdings ist die erzielbare Darstellung als digitaler Vektorplan nicht so detailliert wie eine überarbeitete Pantografaufnahme. Die systemeigenen Messfehler sind bei diesem Gerät minimal. Die größten Abweichungen dürften auch hier durch Lotungsfehler und unsauberer Abgreifen der Messpunkte entstehen. Leider wurde das DOS-basierte Trigomatprogramm zu einem Opfer der Softwareentwicklung: Ab Windows XP läuft es aufgrund von Problemen mit der seriellen Schnittstelle nicht mehr. Eine marktfähige Windowsversion ist nicht in Aussicht. Gegen die Verwendung auf älteren Betriebssystemen spricht jedoch nichts, solange die Geräte noch vorhanden sind. Die Ausgabe der kodierten Messdaten in DXF-Format für eine Weiterverarbeitung und Speicherung in CAD ist problemlos möglich.

Praxistipps für die Aufnahme von Bildplänen:

1. Planung der Einstellungen:

Die erzielbare Auflösung und Größe des fotografierten Bereiches am Objekt (Bildmessgenauigkeit) muss entsprechend der angestrebten Darstellung geplant werden. Soll beispielsweise ein druckfähiger Plan (300dpi Auflösung) im Maßstab 1:50 publiziert werden, darf mit einer Kameraauflösung von 5 MB (entspricht 2592 x 1944 Pixel) maximal ein Objektbereich von 11,0 x 8,2 m abgedeckt werden.

2. Wahl des Aufnahmestandpunktes:

Jede Messbildaufnahme sollte senkrecht auf die Abbildungsebene und aus durch die Bildmessgenauigkeit begrenzter maximaler Höhe aufgenommen werden. Das Hauptproblem der Einbildauswertung ist der Lageversatz nicht ebener Punkte. Bei einer Senkrechtaufnahme ist dieser minimal und tritt lediglich im Abbildungswinkel radial zu den Bildrändern hin auf (ähnlich der Schrägpeilung).

3. Wahl des Objektivs:

Die Verwendung eines Objektivs mit hoher Brennweite (Telebereich) verringert nicht nur den Linsenfehler (kissen- oder tonnenförmige Verzeichnung) sondern auch den Abbildungswinkel (und damit den Lageversatz nicht ebener Punkte). Bei einer angenommenen maximalen Höhenabweichung der Befunde von der Entzerrungsebene von ± 20 cm lässt sich die Standardabweichung bei einer Senkrechtaufnahme mit einem 100 mm Teleobjektiv auf ≤ 25 mm reduzieren.

Für die steingerechte Darstellung der gesamten Testfläche (Stufe 2) ist die fotogrammetrische Einbildauswertung und deren Darstellung als Bildplan mit Abstand am besten geeignet. Dies liegt an der geringen Gesamtarbeitszeit und dem Detaillierungsgrad der erzielbaren Darstellung. Die Arbeitszeit hängt primär von der Anzahl der angefertigten Messaufnahmen ab, da bei der Auswertung für jedes Bild die Entzerrung und Referenzierung separat durchgeführt werden muss. Der Aufwand für Aufnahmen aus größerer Höhe (Hubwagen, Feuerwehrleiter) und damit einer größeren Aufnahmefläche pro Bild lohnt sich aufgrund der wesentlich geringeren Arbeitszeit bei der Computerauswertung. Bei der Untersuchung erzielten einige Messbilder innerhalb der aus mehreren Aufnahmen zusammengesetzten Bildpläne sehr hohe Genauigkeiten. Da die Abweichungen von der Aufnahmeconfiguration und dem Höhenversatz der Befunde abhängig sind, lässt sich diese einschätzen und durch geeignete Maßnahmen regulieren (siehe Kasten S. 15). Zudem lässt sich durch die Kombination mit anderen Messungen die Genauigkeit eines Bildplanes verbessern: Einzelmessungen relevanter Objektbereiche, wie zum Beispiel eine steingerechte Maueraufnahme oder nur die genaue Messung der Mauerkontur, lassen sich in einem hybriden Plan einfach über den ungenaueren Bildplan legen. Auf einem solchen Plan sind alle Befunde fotografisch genau wiedergegeben und zusätzlich relevantere Bereiche durch präzise Konturmessungen erfasst (Abb. 4).

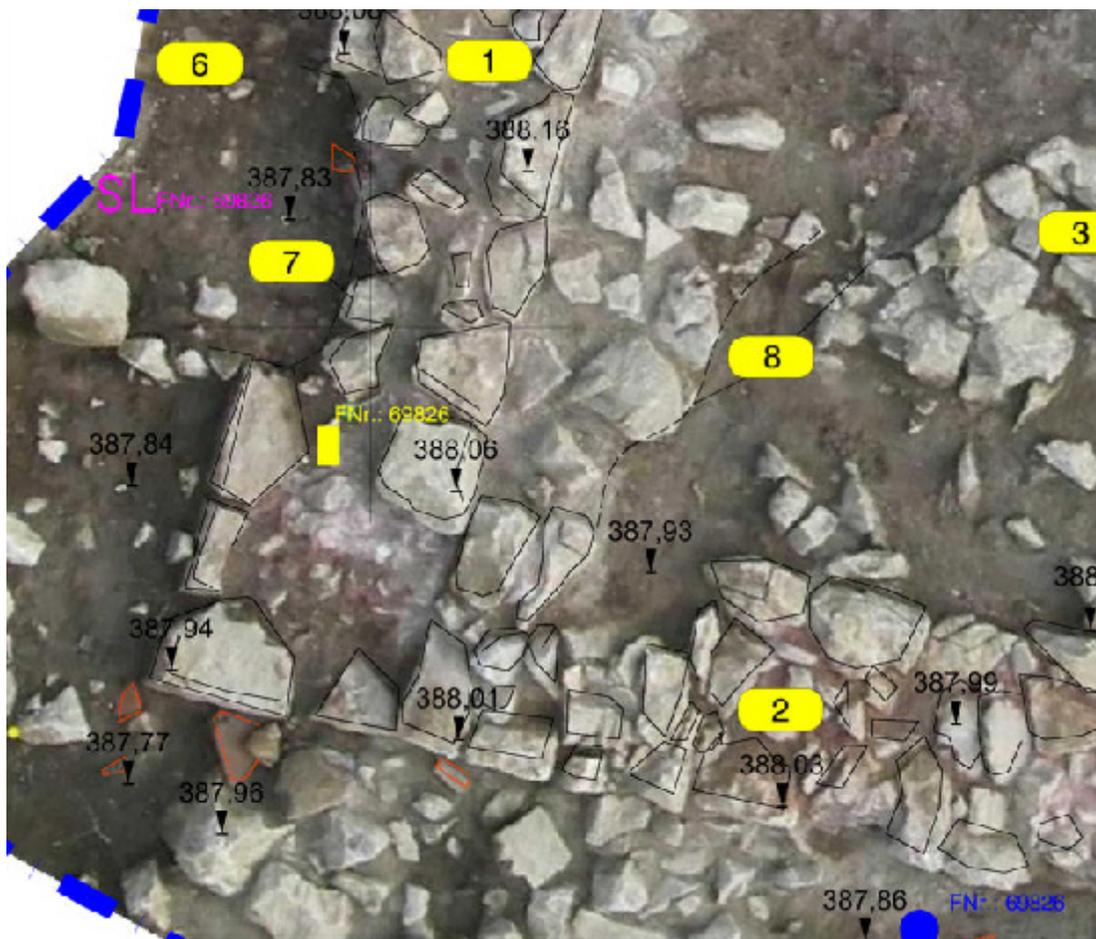


Abb. 4
Hybrider Plan. Kombination aus Bildplan und Vektordaten (im Maßstab 1:20)

Neben der möglichen Zeitersparnis liegt der große Vorteil der Einbildauswertung in der fotografischen und damit flächenhaften und steingerechten Darstellung der Befunde auf Bildplänen, in der zugleich wesentlich mehr Information als in einem Konturenplan enthalten ist. Anders als mit den nachzeichnenden Methoden lassen sich auf diesen in kürzester Zeit sehr komplexe Befunde dokumentieren.

4. Schluss

Die vorgestellte Wertung der verschiedenen Verfahren gilt natürlich primär für die Befundsituation auf der Testfläche und lässt sich allenfalls auf vergleichbare, nur flächenhafte, aber komplexe Baubefunde übertragen. Andere Situationen, beispielsweise stark räumliche Baubefunde wie komplett erhaltene ausgeräumte Keller, erfordern andere Verfahren. Und auf großflächigen Siedlungsgrabungen mit Erdbefunden wird es weiterhin kaum eine Alternative zur tachymetrischen Aufnahme geben. Grundsätzlich gilt, dass vor jeder Dokumentationsaufgabe überlegt werden muss, welche relevanten Informationen mit welchem Verfahren am besten aufgenommen und dargestellt werden können. Für eine solche Beurteilung liefert der hier vorgestellte Vergleich anhand eines ausführlichen Beispiels eine methodische Grundlage.

Auf dem Weg zum digitalen Grabungsbericht

Fotogrammetrische Dokumentation auf archäologischen Ausgrabungen in Potsdam

Seit 1995 betreut die Archäologie Manufaktur GmbH, eine brandenburgische Grabungsfirma mit Sitz in Wustermark, Ausgrabungsprojekte in Potsdam. Dabei werden seit 2001 auch fotogrammetrische Dokumentationsmethoden eingesetzt. Über die Erfahrungen, die dabei gewonnen werden konnten, soll hier berichtet werden.

Im genannten Zeitraum wurden in Potsdam etwa ein Dutzend Ausgrabungen durchgeführt. Dabei reichte das Spektrum von der kleinen Baubegleitung bis zur umfassenden Flächengrabung, hauptsächlich im Bereich des Stadtschlusses und des Alten Marktes, wobei vor allem jungsteinzeitliche, bronzezeitliche sowie mittelalterliche und neuzeitliche Befunde (bis hinein ins 20. Jahrhundert) angetroffen wurden. In der Regel handelte es sich um Rettungsgrabungen, die bekanntlich stets unter einem gewissen sowohl finanziellen als auch zeitlichen Druck stehen. Vor diesem Hintergrund stellte sich die Aufgabe, die Dokumentationsgeschwindigkeit zu erhöhen, und zwar bei gleichzeitiger Erhaltung bzw. - wenn möglich - Verbesserung der Dokumentationsqualität.

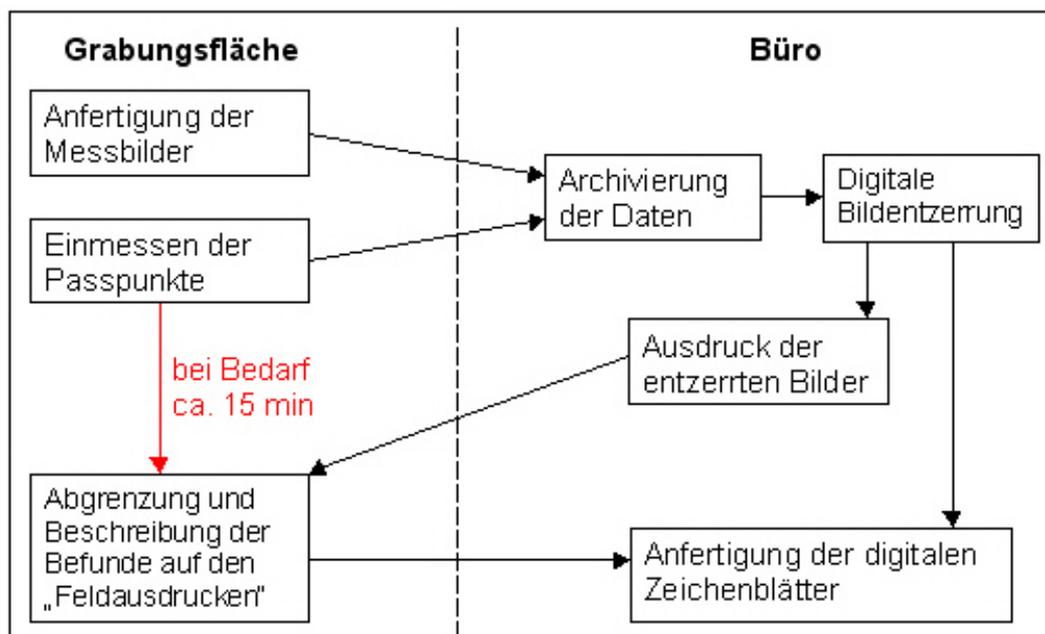


Abb. 1

Ziel war es, die "klassischen" Handzeichnungen durch "digitale Zeichenblätter" zu ersetzen. Dabei wird das Verfahren der digitalen Einzelbildentzerrung eingesetzt. Es werden also digitale Messbilder angefertigt und anschließend die auf diesen sichtbaren Passpunkte dreidimensional eingemessen. Im Büro (das unter Umständen auch aus einem engen Bauwagen bestehen kann) erfolgt nach der Archivierung der Bild- und Koordinatendateien die digitale Bildentzerrung und -montage, wobei die Programme ELSP (PMS AG, Schweiz) und PhoToPlan (kubit GmbH, Dresden) in Verbindung mit AutoCAD zum Einsatz gelangen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nur diejenigen Objekte, welche sich in der durch die Passpunkte definierten Entzerrungsebene befinden, korrekt entzerrt werden, während ansonsten eine mit dem Abstand von der Entzerrungsebene und mit dem Aufnahmewinkel zunehmende Verzeichnung in Kauf genommen werden muss. Die so entstandenen maßstabsgerechten Digitalbilder (Orthofotos) werden nun ausgedruckt. Erfahrene CAD-Bearbeiter und eine räumliche Nähe des Büros zur Grabung vorausgesetzt, kann der Archäologe vor Ort die fertigen "Feldausdrucke" im Bedarfsfall bereits ca. 15 Minuten nach der Aufnahme in den Händen halten.

Ziemlich schnell zeigte sich, dass eine gute Strukturierung der Dokumentation unumgänglich ist. Es erwies sich als vorteilhaft, die Stelle als zentrale Dokumentationskategorie zu verwenden: Alle dokumentierten Plana, Profile und Ansichten erhalten eine fortlaufende Stellennummer, und alle Fotos, Zeichnungen sowie auch die eingemessenen Punkte werden mithilfe der entsprechenden Stellennummern archiviert. Digitale Bilder und Zeichenblätter enthalten die Stellennummer bereits im Dateinamen, so dass der Zugriff auch bei sehr umfangreichen, mehrere tausend Dateien umfassenden Dokumentationen unkompliziert und schnell möglich ist. Die Arbeit mit den Daten wird weiterhin dadurch erleichtert, dass der Name aller Dateien und Verzeichnisse mit einem dreibuchstabigen Grabungskürzel (z.B. PSS = Potsdam Stadtschloss) beginnt, das kürzer und prägnanter und damit auch benutzerfreundlicher als die "offizielle" Dokumentationsnummer ist.

Nach der Abgrenzung und Beschreibung der Befunde, die per Hand direkt auf dem Feldausdruck erfolgt, werden digitale Zeichenblätter angefertigt. Wir hatten von Anfang an den Anspruch, nicht nur die Befundgrenzen fotogrammetrisch zu erfassen, sondern auch die innere Struktur der Befunde deutlich werden zu lassen. Dies wird realisiert, indem in der CAD-Zeichnung die "objektive" Dokumentationsebene (das entzerrte Foto als Rasterbild) und die "subjektive" Interpretationsebene (Befundgrenzen und weitere Informationen als Linien und Texte) gleichzeitig dargestellt werden. Damit erfolgt eine - im Gegensatz zur Handzeichnung - deutliche Unterscheidung zwischen Dokumentations- und Interpretationsebene. Im Ergebnis entstehen digitale Zeichenblätter, vorzugsweise im Format A3 (vgl. exemplarisch Abb. 2).

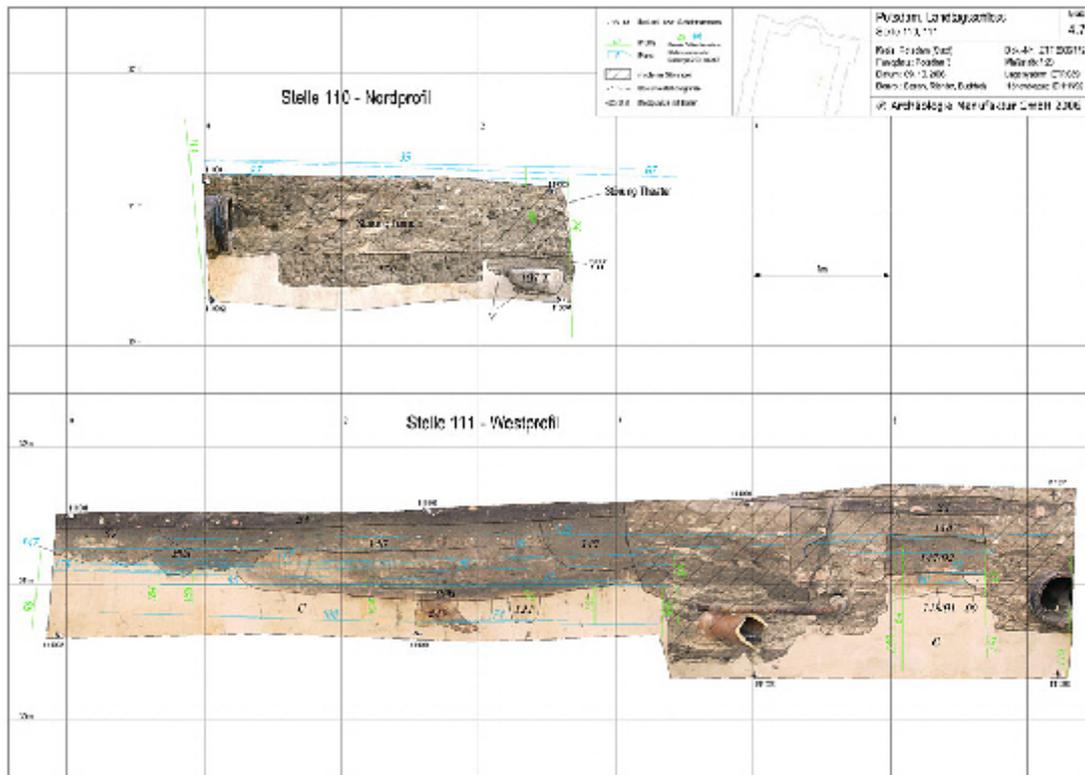


Abb. 2
Beispiel für ein digitales Zeichenblatt: Ausgrabung Potsdam Alter Markt, Stellen 110 und 111

Nach mehreren Jahren Erfahrung mit der hier kurz dargestellten Dokumentationsmethode lässt sich sagen, dass diese erhebliche Vorteile mit sich bringt, wenngleich einige Probleme nicht verschwiegen werden dürfen. Man mache sich zunächst klar, welche Vorzüge der Computer etwa beim Schreiben eines Grabungsberichtes gegenüber der Benutzung von Papier und Feder besitzt: Das Redigieren, Reproduzieren, Transferieren, Publizieren und Archivieren wird erheblich vereinfacht, hinzu kommt im Allgemeinen eine bessere Lesbarkeit. Dies alles gilt ebenso beim Vergleich der digitalen mit den Handzeichnungen.

Hinzu kommen aber weitere Vorteile. Bereits angesprochen wurde die strikte Trennung von Dokumentations- und Interpretationsebene, die die nachträgliche Kontrolle der Befundansprache und -abgrenzung erheblich erleichtert bzw. überhaupt erst möglich macht. Als Beispiel mag die nicht selten auftauchende Frage dienen, ob ein im Planum sichtbares Pfostenloch nicht doch schon bereits im darüberliegenden Planum identifiziert werden kann; dies könnte etwa für die Datierung des Pfostens von Interesse sein. Auch können bei unklarer Befundlage Fehlinterpretationen nachträglich ohne große Umstände korrigiert werden.

Gegenüber konventionellen Handzeichnungen bieten die digitalen Zeichenblätter einen erheblichen Mehrwert. Die Darstellung der Plana erfolgt direkt im Landeskoordinatensystem (42/83 bzw. ETRS89), die der Profile im absoluten Höhensystem (vorzugsweise DHHN92), so dass die entsprechenden Werte sofort in der Zeichnung ablesbar sind. Da die Anfertigung der Zeichenblätter nachträglich erfolgt, besteht die Möglichkeit, zusammengehörige Stellen auch dann gemeinsam darzustellen, wenn sie zu unterschiedlichen Zeitpunkten dokumentiert wurden. Eine nachträgliche

che Änderung des Maßstabs der Zeichnungen bereitet ebensowenig Schwierigkeiten, und schließlich ist es unproblematisch möglich, angrenzende Stellen in die Stellenzeichnungen einzutragen (in Abb. 2 sind die Plana blau, die Profile grün dargestellt), was die Aufarbeitung gerade bei komplexer Befundlage erheblich erleichtert.

Als ein wesentlicher Vorzug der fotogrammetrischen Dokumentationsmethode ist - gerade unter den Bedingungen einer Rettungsgrabung - die größere Unabhängigkeit von den Witterungsbedingungen zu betrachten. Frost, leichter Regen und Wind bereiten kaum Schwierigkeiten, und selbst bei Schneefall und einsetzender Dunkelheit gelangen uns (in letzterem Falle unter Einsatz des Blitzlichtes) zufriedenstellende Aufnahmen. Problematisch ist hauptsächlich direkte Sonneneinstrahlung, einerseits wegen des oftmals resultierenden Schlagschattens, andererseits wegen des schnellen Austrocknens der zu dokumentierenden Flächen; doch sind dies Probleme, mit denen der Ausgräber ja bei der Anfertigung der konventionellen Dokumentationsfotos ohnehin zu kämpfen hat.

Bei der Einschätzung der Dokumentationsgeschwindigkeit ist eine Eigentümlichkeit der fotogrammetrischen Dokumentationsmethode zu berücksichtigen, die darin besteht, dass der Dokumentationsaufwand hauptsächlich von der Zahl der dokumentierten Stellen, weniger jedoch von der Größe der dokumentierten Flächen und kaum von der Komplexität und Strukturierung der Befunde abhängig ist: Ein kleines Pfostenloch verursacht bei der Dokumentation nahezu denselben Aufwand wie mehrere Quadratmeter Mauerwerk. Daraus ergibt sich, dass der Vorteil der Fotogrammetrie umso stärker hervortritt, je komplexer und strukturierter die Befundlage ist. Umgekehrt ist bei sehr einfacher Befundlage die konventionelle Dokumentationsmethode (zumindest hinsichtlich des Dokumentationsaufwandes) vorzuziehen.

Obwohl der Einsatz der Fotogrammetrie in der Regel mit einer z.T. erheblichen Zeitersparnis verbunden ist, ist der Nutzen durch die größere Flexibilität als mindestens genauso wichtig einzuschätzen. Diese resultiert aus der Tatsache, dass ja die digitalen Zeichenblätter keineswegs fertiggestellt sein müssen, bevor etwa eine Fläche nach der Dokumentation des Planums weiter abgetieft werden kann. Damit gestaltet sich das Arbeiten unter Zeitdruck erheblich entspannter, wobei freilich die nachträgliche Anfertigung der eigentlichen digitalen Zeichenblätter bei großen Grabungen erhebliche Zeit in Anspruch nimmt, was bei der zeitlichen und finanziellen Gesamtkalkulation angesichts der oft allzu knapp bemessenen Aufarbeitungszeit berücksichtigt werden muss. Bei einfacher Befundlage ist es sogar möglich, die Ansprache und Beschreibung der Befunde nachträglich mit Hilfe der Feldausdrucke vorzunehmen, doch sollte die hierbei auftretende Gefahr der "Archäologie am Grünen Tisch" nicht unterschätzt werden.

Ein ähnliches Problem tritt zumal bei kleineren Grabungen auf, wenn die erforderliche Technik oder ein entsprechend qualifizierter CAD-Bearbeiter vor Ort nicht zur Verfügung steht. Hier können entweder vor Ort unmaßstäbliche Handskizzen angefertigt werden, oder - wenn zumindest ein Drucker vorhanden ist - die Abgrenzung der Befunde erfolgt auf unentzerrten Ausdrucken.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass sich der Einsatz der Fotogrammetrie sicherlich nicht bei jeder Grabung rentiert, da nicht unerhebliche Investitionen sowohl in Hardware und Software als auch in Humankapital erforderlich sind. Hinzu kommt, dass in der Regel ein Büro mit Stromanschluss gemietet werden muss.

Das größte Problem ist in der Praxis die beschränkte Einsatzmöglichkeit der Fotogrammetrie, wenn die zu dokumentierenden Objekte nicht in einer Ebene liegen und es nicht möglich ist, hinreichend senkrecht zur Dokumentationsebene zu fotografieren, da in diesem Falle starke Verzerrungen auftreten können. Schwierigkeiten dieser Art treten vor allem dann auf, wenn es um die Dokumentation von Baubefunden geht, wenn Profile in Leitungsgräben dokumentiert werden sollen, oder wenn bei der Dokumentation großer Plana keine ausreichend große Leiter o.ä. zur Verfügung steht. Die entstehenden Verzerrungen lassen sich nur mit großem Aufwand minimieren; will man dies nicht in Kauf nehmen, bleibt nur der Rückgriff auf die Handzeichnung. Die Aufnahme der Befunde mittels 3D-Scanner hat sich dagegen derzeit aus Kostengründen nur in Ausnahmefällen als sinnvoll erwiesen; doch ist damit zu rechnen, dass sich diese Dokumentationsmethode in Zukunft weiter verbreiten wird.

Kurz verwiesen sei noch auf das mit dem digitalen Arbeiten immer verbundene Problem der Datensicherung und Langzeitarchivierung, das freilich einer umfassenden Lösung auf der Ebene des verantwortlichen Landesamtes bedarf. Immerhin kann gesagt werden, dass die hierfür zur Verfügung stehenden Techniken mittlerweile so ausgereift sind, dass die Sicherheit der digitalen Daten auf einem Niveau gewährleistet werden kann, das mindestens so groß ist wie im Falle konventionellen Archivgutes.

Die Fotogrammetrie, die zunächst als Hilfsmittel bei der Erstellung digitaler Zeichenblätter Anwendung findet, kann ihr Potential nur dann voll entfalten, wenn sie als Bestandteil einer digitalen Grabungsdokumentation verstanden wird. Ein wesentliches Element ist hierbei die simultane Georeferenzierung (d.h. die Zuweisung von Realweltkoordinaten): Die dokumentierten Stellen werden nicht nachträglich eingemessen, sondern die Einmessung der Passpunkte erfolgt - wenn möglich - im Landeskoordinatensystem, sodass die entzerrten Plana bereits georeferenziert sind und ohne großen Aufwand weiter benutzt werden können, sei es zum Abgleich mit benachbarten Stellen, sei es zur Erstellung von Übersichtsplänen. Damit wird es möglich, bereits während der Grabung Stellen- und Befundpläne anzufertigen und laufend fortzuschreiben. Die permanente Verfügbarkeit aktueller Pläne ist gerade bei großen und unübersichtlichen Ausgrabungen, wie sie im Potsdamer Stadtzentrum die Regel sind, von erheblichem Nutzen.

Der nächste Schritt wäre die Integration der räumlichen Informationen (also der Zeichnungen und Koordinaten) und der Sachinformationen (die in der Hauptsache die Beschreibung, Deutung und Datierung der Befunde und Funde umfassen) in einem Archäologischen Informationssystem. Ein solches Informationssystem wird derzeit für die Ausgrabungen am Potsdamer Stadtschloss von der Archäologie Manufaktur GmbH zusammen mit der ObjektScan GmbH, Potsdam entwickelt, wobei die Erfassung

der Stellen, Befunde und Funde in einer relationalen Datenbank als wesentliche Grundlage für die künftige Verknüpfung der Sachdaten mit den Plänen und Zeichnungen zu betrachten ist.

Obwohl also eine erhebliche Wegstrecke noch vor uns liegt, sind wir unserem Ziel, dem digitalen Grabungsbericht, inzwischen schon ein gutes Stück nähergekommen.

Digitale Grabungsdokumentation in einer CAD Umgebung

1. kubit GmbH in Dresden

Seit 1999 entwickelt die kubit GmbH Software für die digitale Grabungsdokumentation. Die Lösungen integrieren die verschiedenen Messtechniken ins CAD. Dadurch vereinfacht sich die Nutzung moderner Vermesstechniken. Entsprechend können die Programme problemlos durch den entsprechenden Fachanwender genutzt werden. Für die digitale Grabungsdokumentation gibt es aktuell die folgenden Programme:

- Tachymetrie --> **TachyCAD**
- Photogrammetrie --> **PhoToPlan**
- Laserscannen --> **PointCloud**
- Kartierung --> **MonuMap**



Standard-CAD
(AutoCAD, AutoCAD LT,
AutoCAD Map 3D /)

2. Die Aufmaß-Software TachyCAD

TachyCAD dient zum digitalen Dokumentieren von Befunden und Geometrien vor Ort. Das Tachymeter wird hierbei zur 3D-Maus und jeder originäre AutoCAD-Befehl kann die Fähigkeit der 3D-Maus nutzen. Die Standpunktbestimmung mit verschiedenen Stationierungsmethoden und das Passpunktmanagement sind in AutoCAD integriert. So wird eine Stationierung vor Ort übersichtlich gelöst.

Es gibt spezielle Erweiterungen in TachyCAD, die das Aufmaß vereinfachen.

2.1 Systemkomponenten des TachyCAD

Zur Erfassung und Messung der Geometrien vor Ort ist ein **Tachymeter** nötig. Einfache Bau-Tachymeter reichen oftmals aus. Günstig ist ein Modell mit der Möglichkeit zum **reflektorlosen Messen**. Um eine Arbeit im Freien flexibel gestalten zu können, wird meist ein entsprechend robustes Outdoor-Notebook verwendet. Normale Notebooks sind ebenso im Einsatz. Beide Komponenten, Tachymeter und Notebook, werden mit der Aufmaßsoftware **TachyCAD** (Plugin zu AutoCAD/AutoCAD LT) zur digitalen Grabungsdokumentation eingesetzt.



2.2 Vorteile von TachyCAD

Die wesentlichen Vorteile der Software TachyCAD sind die ständige visuelle Kontrolle vor Ort. Durch das Messen, Zeichnen und Strukturieren in einem Schritt lässt sich wertvolle Zeit gewinnen, die zur weiteren Befundinterpretation genutzt werden kann. Falls spätere Ergänzungen oder Änderungen vor Ort nötig sind, lassen sich diese durch die flexible Konstruktionsmöglichkeit einfach ausführen. Trotz eines komplexen Ergebnisses ist die Handhabung einfach. Die einheitliche Bedienung bei unterschiedlicher Vermessungshardware unterstützt die einfache Handhabung.

3. Entzerrungs-Software PhoToPlan

Mit PhoToPlan lässt sich eine maßstabsgerechte Entzerrung digitaler Bilder von ebenen Objekten durchführen. Bei der Auswertung dieser entzerrten Bilder werden photogrammetrische Informationen mit exakten Geometrien verbunden.

3.1 Das Verfahren zur Entzerrung



Fotos sind perspektivisch verzerrt



Um in Fotos messen zu können, werden sie entzerrt

Als Ergebnis der Entzerrung entsteht ein Orthophoto aus einem perspektivisch verzerrten Bild.

3.2 Die Voraussetzungen zur Arbeit mit PhoToPlan

Zur Entzerrung mit PhoToPlan direkt im CAD benötigt man das Bild in digitaler Form. Es gibt verschiedene Möglichkeiten das Bild in dieser Form zu erhalten.

a) **Digitales Bild** durch:

- analoge Kamera und nachträgliche Digitalisierung des Bildes
- Digitalkamera → digitales Bild

Wichtig: Die Qualität des Ausgangsbildes bestimmt die Qualität des entzerrten Bildes!



Um das digitale Bild im CAD maßstabsgerecht entzerrn zu können, sind Referenzinformationen nötig.

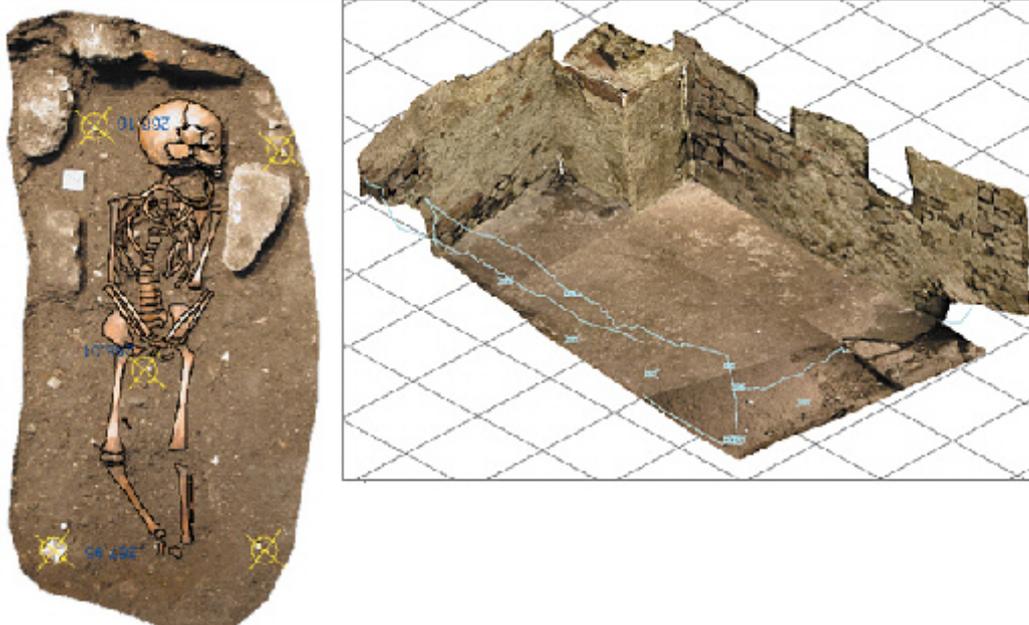
b) **Referenzinformation** vom Objekt:

- Passpunkte → Tachymeter
- Passstrecken → Messband / Laserdisto

Wichtig: Die Genauigkeit der Referenzinformation bestimmt die Genauigkeit der Entzerrung!

3.3 Anwendungen von PhoToPlan

Mit PhoToPlan lassen sich die entzerrten Bilder auf die gewünschte Form direkt im CAD zuschneiden. Eine Nachbearbeitung in externen Programmen entfällt somit.

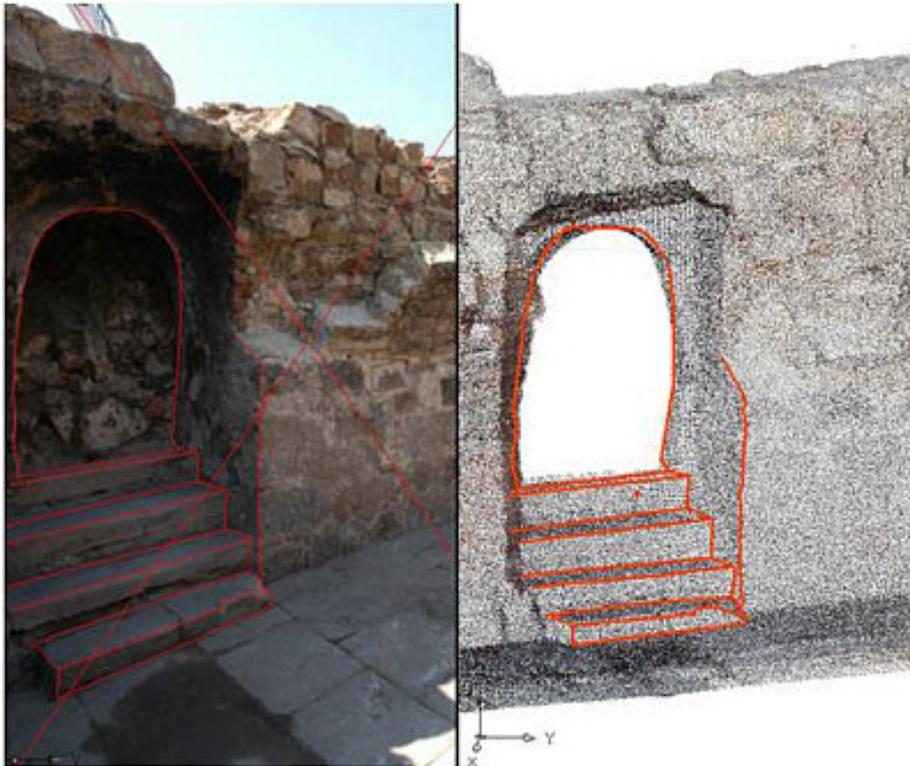


- Zuschritt → Zuschritt des Bildes in die gewünschte Form
- Montage → Zusammenhang der Bilder herstellen (Bildverband)
- Bildverband im 3D-Raum des CAD
- Export nach VRML

4. PointCloud

PointCloud ist eine Anwendung zum Arbeiten mit Millionen von Punkten im AutoCAD. Die Punktwolke wird angezeigt und kann mit allen AutoCAD Befehlen bearbeitet werden. Jeder Punkt (X,Y,Z) der Punktwolke kann mit dem Objektfang gefangen werden. Weiterhin können orientierte Bilder im CAD geladen werden und im Zusammenhang mit der Punktwolke zur Auswertung verwendet werden.

4.1 Anwendungen von PointCloud



- Zeichnen im hochaufgelösten Foto (linkes Bild)
- Simultane Projektion der Liniengrafik auf die (geringer aufgelöste) Punktwolke
- Es entsteht ein 3D-Kantenmodell wie im rechten Bild zu sehen ist
- eine Auswertung im 3D ist somit möglich



5. MonuMap

MonuMap ist eine Software zum Erfassen und Visualisieren von Befunden. Es werden strukturierte Sach- und Befundinformationen erfasst und abgelegt. Die Befundinfos (nicht grafisch) haben nach der Erfassung in MonuMap einen grafischen Bezug.

Alle aufgezeichneten Sachdaten können in eine Datenbank oder Tabelle exportiert werden. Die AutoCAD Zeichnung wird wiederum aktualisiert indem die geänderten Daten aus der Datenbank importiert werden können.

Die Informationen werden benutzt:

- um die Zeichnung zu kolorieren
- die Sachinformationen zu exportieren (Tabelle und Datenbank)
- für die Weiterverarbeitung in anderen Informationssystemen (GIS)

6. Zusammenfassung

In der digitalen Grabungsdokumentation lassen sich die jeweiligen Plug-Ins TachyCAD, PhoToPlan, PointCloud und MonuMap in Kombination oder einzeln in einer CAD Umgebung anwenden. Das Zusammenarbeiten der einzelnen Programme in einem CAD unterstützt das übersichtliche Arbeiten, ohne zwischen verschiedenen Softwareprodukten hin und her wechseln zu müssen. Die Dokumentation kann in einem kompletten Zusammenhang erfolgen.

Durch die zügige Erfassung der Geometrien und Befunde können hierbei sowohl finanzielle als auch personelle Ressourcen besser eingesetzt werden, um die Befunde vor Ort genauer untersuchen zu können.

3D-Laserscanning für die Bestandsaufnahme in Archäologie und Denkmalpflege

1. Zusammenfassung

Die Hauptanforderungen an eine Bestandsaufnahme in den Bereichen Archäologie und Denkmalpflege liegen in der Vollständigkeit, Genauigkeit, Schnelligkeit und Wirtschaftlichkeit. In diesem Aufsatz soll beschrieben werden, inwieweit sich durch das noch relativ junge Aufnahmeverfahren des 3D-Laserscannings neue Möglichkeiten zur effektiven Bestandsdokumentation ergeben.

2. Einleitung

Zu den klassischen Methoden der Bestandsaufnahme zählen das Handaufmaß, die Tachymetrie und die Photogrammetrie.

Das Handaufmaß beruht in der Regel auf einfachen Distanzmessungen, welche mittels Zollstock und/oder Laserentfernungsmesser durchgeführt werden. Das benötigte Equipment ist günstig zu erwerben, die Erstellung eines verformungsgerechten Plans erfordert jedoch einen immensen Zeitaufwand. Beim Handaufmaß ist die Genauigkeit einer Einzelmessung relativ hoch, die absolute Genauigkeit ist hingegen (aufgrund der Verkettung einfacher Distanzmessungen) niedrig. Unter wirtschaftlichen Aspekten ist ein Handaufmaß insbesondere dann sinnvoll, wenn beispielsweise einfache, rechteckige Räume aufzunehmen sind. Ein Nachteil ist, dass das Handaufmaß im Gegensatz zu den nachfolgenden Verfahren kein berührungsloses Messverfahren ist.

Mit Hilfe der Tachymetrie ist es möglich, sehr genaue Daten zu erhalten. Das Aufmaß basiert auf polaren Einzelpunktmessungen. Der Bearbeiter muss, wie auch beim Handaufmaß, vor Ort entscheiden, welche Punkte für die Auswertung relevant und somit aufzunehmen sind.

Bei beiden eben genannten Verfahren wird das Objekt auf wenige Einzelpunkte reduziert. Diese genügen zwar, das Objekt schematisch darzustellen, Aussagen über Verformungen und Freiformflächen können aber in der Regel nicht gemacht werden.

Durch den Einsatz der Photogrammetrie können Objekte schnell und vollflächig erfasst werden. Pläne von ebenen Oberflächen können so verhältnismäßig schnell mit akzeptabler Genauigkeit erstellt werden. Die Gewinnung dreidimensionaler Informationen aus zwei oder mehreren Aufnahmen ist ebenfalls möglich aber zeitaufwändig und somit in großer Menge unrentabel.

Das 3D-Laserscanning vereint die Vorteile der Photogrammetrie (flächenhaft und schnell) und der Tachymetrie (3D und präzise).

Komplizierte Oberflächen und Verformungen können mit einem geringen zeitlichen Aufwand berührungslos dreidimensional erfasst werden. Die Daten bilden die Grundlage umfangreicher Auswertemöglichkeiten, welche nicht zwingend im Voraus festgelegt werden müssen.

3. Überblick 3D-Laserscanner

Auf dem Markt gibt es mittlerweile eine relativ große Auswahl von 3D-Laserscannern mit unterschiedlichen Spezifikationen und Anwendungsgebieten. Je größer der Messbereich eines Gerätes ist, desto geringer ist die zu erwartende Messgenauigkeit (siehe Abb. 1).

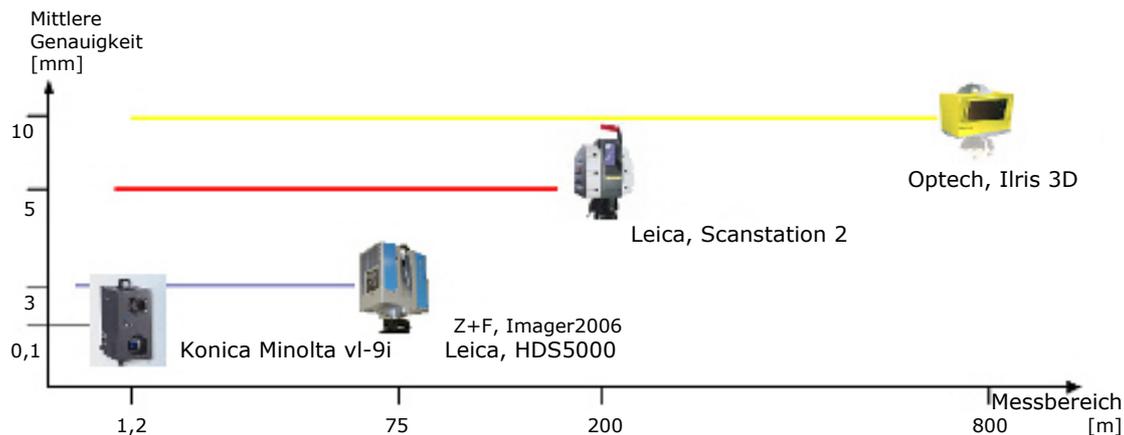


Abb. 1
Unterschiedliche Scansysteme und deren Reichweiten

Einen guten Überblick bezüglich der Genauigkeit geben beispielsweise MECHELKE et al. (2007). Ein Hauptkriterium bei der Wahl ist daher sicherlich der Zielmaßstab des zu erstellenden Plans oder Modells. Für kleine aber detailreiche Fundstücke kann eine Aufnahme mit einer Genauigkeit von deutlich unter einem Millimeter gefordert sein, wohingegen bei Flächen größeren Ausmaßes einige Zentimeter ausreichend sind. Ein weiteres nicht unwesentliches Kriterium ist die Dauer einer Aufnahme. Im mittleren Messbereich (0,5 - 50m) sind hierbei Geräte, die mit dem Phasenvergleich arbeiten (z.B. Z+F, Faro), denen, die mit Impulsmessverfahren arbeiten (z.B. Leica-Scanstation2, Optech, Riegl...), um den Faktor 10 überlegen. Sie stehen daher auch im Mittelpunkt der folgenden Betrachtungen. Die zu erwartende Genauigkeit einer Einzelpunktmessung dieser Geräte liegt im Bereich weniger Millimeter.

4. Aufnahme

Der Laserstrahl des Scanners wird über einen beweglichen Spiegel in den Raum abgelenkt. Durch eine schnelle vertikale Rotation des Spiegels und einer simultanen horizontalen Rotation des Scanners wird so nach und nach die gesamte Umgebung erfasst. Neben den dreidimensionalen Messwerten (zwei Winkel und eine Distanzmessung) wird pro Messpunkt ein Reflektivitätswert gemessen. In dem daraus resultierenden Kugelpanorama (siehe Abb. 2) kann übersichtlich navigiert und digitalisiert werden. Aufgrund der hohen Aufnahmegeschwindigkeit der Systeme (durchschnittlich 6 Minuten pro Standpunkt) und der hohen Auflösung ist es

nun möglich Gebäude und Grabungen in kürzester Zeit nahezu vollständig zu erfassen. Das Verfahren ist unabhängig vom Umgebungslicht, somit sind selbst Aufnahmen bei absoluter Dunkelheit durchführbar. Die Geräte können laut Herstellerangaben bei Temperaturen zwischen 0°C und 40°C uneingeschränkt eingesetzt werden.



Abb. 2
Resultat einer zweiminütigen Aufnahme während des Vortrages in Lübben in Form des Reflektivitätsbildes

5. Datenverarbeitung

Der Vorteil einer vollständigen, dreidimensionalen Bestandserfassung geht einher mit sehr großen Datenmengen. Die Anforderungen an eine Software zur Weiterverarbeitung dieser Daten sind daher wie folgt zusammenzufassen:

- leichte Bedienbarkeit
- übersichtliche Darstellung der Daten
- sinnvolle Reduzierung der Daten
- Bereitstellen von Austauschformaten

Für den Bereich der Archäologie und Denkmalpflege bietet die Software LupoScan vielseitige Möglichkeiten die umfassenden Daten übersichtlich und effektiv auszuwerten. Verschiedene 3D-Formate können in ein eigenes strukturiertes Datenformat zur Weiterverarbeitung importiert werden. In den 2D-Darstellungen der einzelnen Aufnahmen (siehe Abb. 2) ist auch ein ungeübter Bearbeiter in der Lage dreidimensionale Informationen zu bestimmen. Mittels des Orientierungsmoduls können einzelne Scans über Passpunkte in einem übergeordneten Koordinatensystem referenziert werden.

Die somit in der räumlichen Lage bestimmten Aufnahmen können direkt zur interaktiven Digitalisierung benutzt werden. Durch die fotorealistische Darstellungsform können Objekte so gezielt bestimmt und gemessen werden, als stünde der Bearbeiter mit einer Totalstation in der jeweiligen Umgebung.

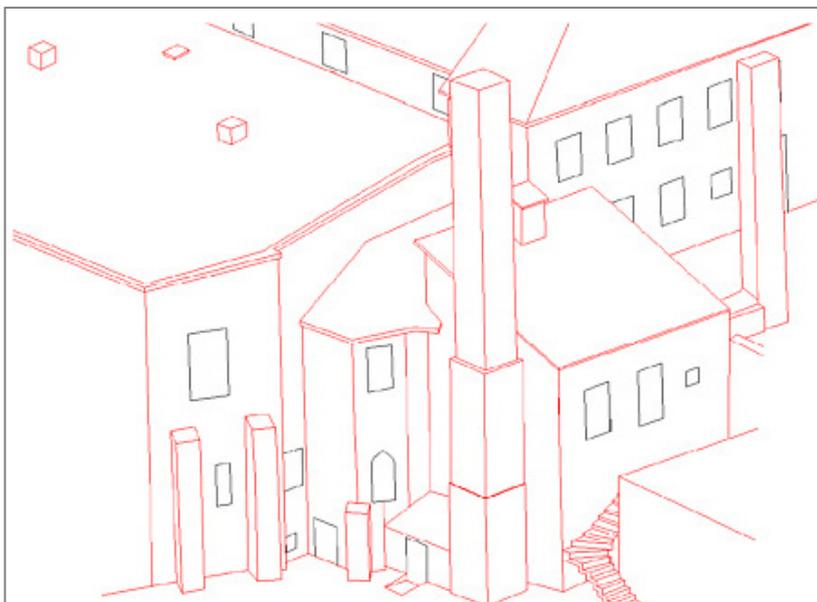


Abb. 3
Beispiel einer drei-
dimensionalen inter-
aktiven Auswertung
(Potsdam, Weinberg-
terrassen)

Mit der Schnittfunktion können durch die Eingabe weniger Parameter Höhenlinien oder Profile erstellt werden. Hierbei werden alle Aufnahmen in einem bestimmten vorgegebenen Bereich untersucht, so dass Verformungen schnell sichtbar gemacht werden können und die Vorteile der hohen Auflösung des 3D-Laserscannings sehr gezielt ausgenutzt werden.

Neben der punktuellen und linienhaften Auswertung besteht die Möglichkeit einer flächenhaften, objektbezogenen Auswertung.

Neben der Projektion auf ebene Flächen besteht auch die Möglichkeit der Abwicklung von Zylindern, elliptischen Zylindern und Kegeln in die Ebene. Somit wird auch für nicht ebene Objekte, wie beispielsweise Rundtürme, die höchstmögliche Maßstäblichkeit im Plan gewahrt.



Abb. 4
Orthophoto und Tiefenbild (Hamburg, Kontorhaus)

Zur dreidimensionalen Weiterverarbeitung der Scandaten besteht die Möglichkeit, ausgewählte Bereiche zu triangulieren. Das Ergebnis (Vermaschung) kann in verschiedenen Austauschformaten ausgegeben und dann mit Programmen wie Geomagic, Rapidform, Rhino oder Polyworks weiterverarbeitet werden.

Sollte eine farbige Dokumentation gefordert sein, so können die Laserscandaten mit Hilfe photogrammetrischer Aufnahmen entsprechend ergänzt werden.

6. Fazit / Ausblick

3D-Laserscanning, gepaart mit einer guten Auswertesoftware, ist mehr als eine sinnvolle Ergänzung zu den herkömmlichen Messmethoden. Insbesondere sehr komplexe Formen können mit diesen Geräten erstmalig flächenhaft dreidimensional in kurzer Zeit präzise erfasst werden. Somit kann der Bestand zumindest erst einmal virtuell gesichert werden. Die Auswertung kann, zeitlich unabhängig, zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Durch die vielseitigen Auswertemöglichkeiten der einmal erhobenen Daten besteht nicht der zwingende Bedarf sich vor Beginn der Messkampagne auf ein Produkt festzulegen.

Unter wirtschaftlichen Aspekten sind die herkömmlichen Verfahren zur Zeit noch dann im Vorteil, wenn geringere Genauigkeitsanforderungen bestehen und/oder nur wenige Informationen erfasst werden müssen. So ist es oft sinnvoll, eine Kombination aus den verschiedenen Verfahren zur Bestandsaufnahme zu wählen.

Im Zuge der immer günstigeren Anschaffungspreise der Laserscanner und der Weiterentwicklung fachspezifischer Auswertesoftware wird das 3D-Laserscanning im Bereich der Archäologie und Denkmalpflege einen immer größeren Stellenwert einnehmen.

7. Literatur

Mechelke, K., Kersten, Th., Lindstaedt, M., (2007): Comparative Investigations into the Accuracy Behaviour of the New Generation of Terrestrial Laser Scanning Systems. 8th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, (Eds. Gruen/Kahmen), Zurich, July 9-12, Vol. I, pp. 319-327

MARTIN SCHAICH M.A.

3D-Scanning-Technologien in der Bau- und Kunstdenkmalpflege und der archäologischen Feld- und Objektdokumentation

Einführung

Durch den Einsatz innovativer 3D-Scanning- Technologien haben sich in den letzten Jahren bei der Dokumentation von archäologischen, architektonischen und historischen Kulturgütern vielfältige neue Arbeitsfelder eröffnet.

Neben dem vermessungstechnischen Know-How müssen die in diesem Nischenbereich spezialisierten Anbieter ein umfassendes fachspezifisches Wissen aufweisen, um die – in der Regel mit herkömmlichen Vermessungsaufgaben oder Industrieanwendungen nicht vergleichbaren - Aufgabenstellungen zu lösen.



Abb. 1

Verschiedene 3D-Scanner, die sich vor allem durch die Kombination mit hochauflösenden digitalen Spiegelreflexkameras für den Einsatz im Denkmalpflegebereich besonders bewährt haben.

(1) Laserscanner Riegl LMS-Z420i (2) Laserscanner LPM 25-HA (3) Hochauflösender Streifenlicht-scanner PT-M1024.

Ganz links: Arbeitsbild mit Laserscanner bei der Vermessung der monumentalen Statue der Bavaria (München).

Grafik: © 2007, ArcTron 3D GmbH

Die Perspektiven, die diese sich zunehmend wirtschaftlicher entwickelnden 3D-Scanning-Technologien (Abb. 1) für eine objektive und ganzheitliche Dokumentation kulturhistorischer Objekte bieten, sind allerdings so überzeugend, dass man mittelfristig einen weitgehenden Umstieg auf dreidimensionale Dokumentationstechnologien in der Denkmalpflege und Archäologie prognostizieren darf.

Brauchen Archäologen und Denkmalpfleger 3D?

Objekte in der Archäologie und Denkmalpflege weisen fast ausnahmslos ausgeprägte und oft auch sehr kompliziert angeordnete Oberflächen und 3D-Strukturen auf. Nur die oberflächengetreue, formgerechte dreidimensionale Dokumentation ermöglicht dabei eine vollständige und reproduzierbare Objektbeschreibung.

Derartige komplexe 3D-Strukturen lassen sich heute am effektivsten mit 3D-Scanning-Verfahren dokumentieren. Zur vollständigen Beschreibung gehört neben den Oberflächengeometrien auch die Phototextur, da die reinen Objektgeometrien in der Regel keine ausreichende denkmalpflegerische Beurteilungsgrundlage bieten.

Stark bewegte Oberflächen sind bei einem aufwendigen Architekturdenkmal oder bei Bauruinen genauso regelhaft anzutreffen wie bei Bauplastik, Statuen oder archäologischen Kleinfunden.

Das sogenannte "formgerechte" oder "verformungsgerechte" Bauaufmaß mit einer kombinierten fotorealistischen Darstellung (Abb. 2) wird durch diese neuen Technologien nun einfacher möglich und am Rechner schneller und detaillierter analysierbar.



Abb. 2

Burg Vianden, Luxemburg. In diesem aufwändigen Großprojekt konnten wir die komplette Burg (innen und außen) sowie die umgebende Landschaft (ca. 20 km²) mit einer Kombination von luftgestützten und terrestrischen 3D-Scannern sowie der 3D-Photogrammetrie photorealistisch erfassen und modellieren. Aus den Daten ließen sich neben fotorealistischen Filmen und Renderings beliebige Bild- und CAD-Pläne, Grundrisse, Schnitte und Orthofotos ableiten. Im Rahmen einer musealen Präsentation werden die Entwicklungsphasen der Burg von der kleinen spätantiken Kernburg bis zum heutigen Zustand in anschaulichen 3D-Animationen erklärt und erläutert.

Grafik: © 2007, ArcTron 3D GmbH

Für die Dokumentation und Analyse bieten sich den Fachwissenschaftlern neue Optionen. Dabei steht außer Frage, dass etwa dreidimensional und photorealistisch dokumentierte Statuen (Abb. 3) oder auch dreidimensional erfasste Bauteile eines klassischen Architekturdenkmals schon allein durch ihre komplette rundansichtige Beurteilbarkeit völlig neue rechnergestützte Analysemöglichkeiten eröffnen.

Archäologen und Bauforscher profitieren bei ihren Forschungen genauso von den 3D-Modellen wie Denkmalpfleger, die auch für die mögliche Beweissicherung und Reproduktion im Falle einer Zerstörung durch Naturgewalten, Umwelteinflüsse, Vandalismus oder Krieg Sorge tragen müssen.

Der real existierende Denkmal- und Fundbestand lässt sich mit 3D-Scanning-Technologien geometrisch genau und in fotorealistischer Qualität erfassen und in virtuellen 3D-Kulturarchiven für die Nachwelt pflegen und archivieren. Bedenkt man etwa die erst vor Kurzem durch Sprengung der monumentalen Buddhastatuen in Afghanistan oder durch Plünderungen in Bagdads archäologischem Nationalmuseum entstandenen immensen materiellen Verluste, so wird klar, dass digitale 3D-Dokumentationen dieser nun zerstörten oder unabsehbar verschollenen Objekte zumindest eine virtuelle dreidimensionale Erhaltung ermöglicht hätten. Der Verlust wäre sicher etwas weniger gravierend gewesen.

Für die Planung von Restaurierungs- und Sanierungsmaßnahmen wie auch für die ganze statische Berechnung bieten zumeist erst dreidimensionale Aufnahmen verlässliche Datengrundlagen. Durch 3D-Dokumentationstechniken werden Objekte auch für die Wissenschaft und Öffentlichkeit zugänglich, die diese Denkmäler nicht persönlich besuchen können und deshalb auf einen virtuellen rechnergestützten Zugang angewiesen sind.

Zielsetzung unserer Arbeiten ist es heute, eine möglichst schnelle, effiziente, komplette und hochauflösende 3D-Bestandsaufnahme entsprechender Objekte zu ermöglichen und auf die Anforderungen der Denkmalpflege zugeschnittene, standardisierte Verfahrensweisen zu erarbeiten.



Abb. 3
3D-Modell des monumentalen, über drei Meter hohen Marmorkopfes des römischen Kaisers Konstantin. Die 3D-Dokumentation der insgesamt zehn monumentalen Fragmente der Kaiserstatue in den Kapitulinischen Museen in Rom erfolgte mit einem hochauflösenden Streifenlichtscanner. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind in der aktuellen Landesausstellung in Trier zu sehen.
Grafik: © 2007, ArcTron 3D GmbH.

Welche Dokumentationsmethode für welchen Zweck?

Bei Dokumentationen in der Archäologie genau wie in der Bauforschung oder der Dokumentation von Kunstobjekten und Restaurierungsmaßnahmen werden verschiedene konventionelle und/oder elektronische Verfahren eingesetzt. In der täglichen Praxis werden diese verschiedenen Verfahren in unterschiedlichen Kombinationen eingesetzt und ergänzen sich sehr effizient (Abb. 4).

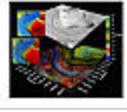
Vermessungs- und Dokumentationsverfahren in Archäologie und Denkmalpflege	
1. 2D-Handvermessung & Zeichnerische Dokumentation	  
2. Abtastende Verfahren 2D-/3D-Koordinatenmessmaschinen	    
3. Tachymeter & GPS	    
4. Photogrammetrische Verfahren 4.1 2D-Bildentzerrung 4.2 3D-Photogrammetrie 4.2.1 Konvergente Aufnahmen 4.2.2 Stereo-Aufnahmen	   
5. 3D-Scanning 5.1 Laser-Scanner 5.2 Triangulations-Scanner	     

Abb. 4

Zusammenstellung verschiedener in der Archäologie und Denkmalpflege eingesetzter Messverfahren. Grafik: © 2007, ArcTron 3D GmbH.

Neben der einfachen Fotografie, der 2D-Handvermessung und zeichnerischen Dokumentation, gibt es verschiedene Verfahren, um mit Maschinen manuell 3D-Koordinaten abzugreifen und in Zeichnungen umzusetzen.

Die tachymetrische Vermessung sowie die Geländevermessung mittels GPS sind seit geraumer Zeit bei größeren Objektdokumentationen zum Standard für die Erstellung von Übersichts- und Detailplänen geworden.

Außerdem wird in der Archäologie und Baudokumentation die zweidimensionale Photogrammetrie und Bildentzerrung als eine schnelle und effiziente Form der Objektdokumentation bei mehr oder weniger ebenen Oberflächen eingesetzt. Die 3D-Photogrammetrie mit hochauflösenden 3D-Orthofotos kommt hauptsächlich bei der Dokumentation von Baubefunden sowie in der Fassadendokumentation zum Einsatz. Dabei kann generell gesagt werden, dass photogrammetrische Verfahren dann eher effizient einzusetzen sind, wenn die Objekte deutliche Texturen aufweisen und überwiegend Kanten auszuwerten sind.

Bei den gerade in der Archäologie und Kunstdenkmalpflege zumeist sehr unregelmäßigen Oberflächen kann hingegen das 3D-Scanning als Messverfahren erster Wahl gelten. Bei Einsatz dieser Technologie können komplexe Körper mit einem eklatanten Geschwindigkeitsvorteil gegen-

über allen anderen Verfahren aufgenommen werden. Ein komplexes korinthisches Kapitell etwa ist nach etwa einem Tag komplett dreidimensional in einer Submillimetrauflösung vermessen und kann nach ca. einem weiteren Tag der Datenverarbeitung als komplettes 3D-Modell oder in beliebigen Orthofotoansichten studiert werden.

Eine händische Zeichnung ist hier nur im Ausnahmefall konkurrenzfähig. Sie mag ästhetisch ansprechender sein, aber die reduzierte Beurteilbarkeit und die lange Zeit, die bis zur Vorlage des Ergebnisses benötigt wird sowie die fehlende Reproduzierbarkeit sprechen fraglos für die umfassenderen, schnelleren und genaueren 3D-Technologien.

3D-Scanning - eine umfassende Dokumentationsmethode

3D-Scanning-Technologien kommen heute zunehmend bei alltäglicheren Funden und Denkmalpflegeobjekten zum Einsatz, nachdem in einer ersten Phase vorwiegend die besonders repräsentativen, prestigeträchtigen und entsprechend gut vermarktbareren Denkmäler und Kulturgüter des Weltkulturerbes dreidimensional vermessen wurden und werden.

Kein 3D-Scanner-Hersteller kommt heute mehr ohne den Hinweis auf die Möglichkeiten dieser Technologie bei Dokumentationen in der Archäologie und Denkmalpflege aus.

Große topografische Geländedenkmäler wie etwa Schanz- und Wallanlagen oder ausgedehnte archäologische Stätten mit Mauerresten können heute mit terrestrischen oder luftgestützten Laserscannern in vergleichsweise kurzer Zeit mit relativ hoher Genauigkeit komplett dreidimensional vermessen werden.

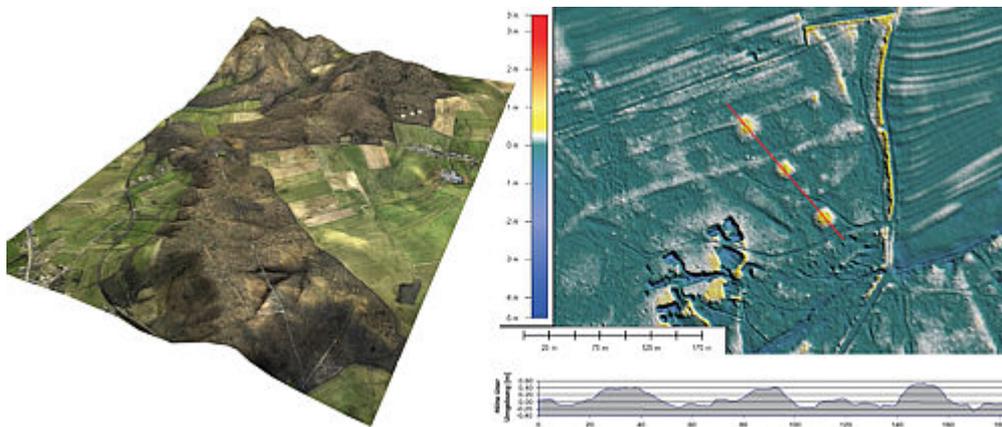


Abb. 5

Clemency, Luxemburg. Airborne Laserscan-Daten im Bereich einer bis dahin unbekanntenen eisenzeitlichen Grabhügelgruppe. Die stark verflachten Grabhügel liegen im 3D-Modell (links) im bewaldeten Gelände (als drei kleine weiße Punkte rechts oben) und sind auf Grund ihrer großen Durchmesser (> 20 Meter) und geringen Höhe (< 0,5 Meter) selbst vor Ort kaum zu erkennen. Erst im Airborne Laserscan wurde die Grabhügelgruppe neu entdeckt. Archäologische Kontrollgrabungen von Dr. Jeannot Metzler konnten dann ein früheisenzeitliches Grabhügelfeld nachweisen.

Grafiken: Texturiertes Geländemodell links © 2007, ArcTron 3D GmbH; texturiertes Geländemodell rechts © 2007, Dr. Andreas Schäfer, Universität Jena, Lehrstuhl für Ur- und Frühgeschichte.

Besonders die - unter dichter Vegetation im Wald liegenden - archäologischen Befunde wie Grabhügel (Abb. 5), Siedlungen, Hohlwege und andere in prähistorischer oder historischer Zeit durch den Menschen verursachte Geländeformationen lassen sich in den luftgestützten Laserscans entdecken, erkennen, zuverlässig verorten, filtern und wissenschaftlich auswerten. Den Archäologiespezialisten erschließt sich besonders in den Wäldern ein das bislang bekannte Quellenbild revolutionierendes neues Forschungspotential.

Für die terrestrische Kulturgut-Dokumentation ist es in der Regel nötig, für den jeweiligen Einsatz den jeweils passenden terrestrischen 3D-Scanner (Abb. 1) vorzuhalten. Hier gilt, dass beim Stand der heutigen Technologie in der Regel mehrere 3D-Scanner unterschiedlicher Auflösung bei einem Denkmal zum Einsatz kommen müssen, um beispielsweise neben den historischen Mauern auch die wesentlich diffizileren Bauplastiken in akzeptabler Auflösung und Qualität aufnehmen zu können.

Ohne hier auf technische Details eingehen zu wollen bleibt festzuhalten, dass mit 3D-Laserscannern bekanntlich Objekte bei mehreren tausend Messungen pro Sekunde in einem sehr dichten Punkteraster von wenigen Millimetern Abstand abgetastet werden. Nach einem Scanvorgang von einigen Minuten werden auf diese Weise mehrere Millionen 3D-Punkte registriert, die die Oberfläche der vermessenen Objekte präzise beschreiben können.

Laserscanner erreichen üblicherweise Genauigkeiten von mehreren Millimetern. Sie können Strecken bis zu mehreren hundert Metern messen und sind in der Denkmalpflege deshalb besonders für die Aufnahme von Objekten in den Bereichen Topografie und Architektur geeignet.

Hybride Laserscanner mit kombinierter Photogrammetriekamera

Für Einsätze in der Denkmalpflege sind unseres Erachtens Scanner besonders geeignet, die eine maschinelle Kopplung mit einer auf dem Scannerkopf montierten externen hochauflösenden digitalen Spiegelreflexkamera bieten (Abb. 1,1-2). In dieser Konfiguration werden zwei sich ergänzende Technologien auf ideale Weise miteinander kombiniert: einerseits die Photogrammetrie und andererseits die aktive 3D-Laserscan-Vermessung mit unstrukturierten dreidimensionalen Punktwolken. Es ergeben sich vielfältige neue Möglichkeiten, die jeweiligen Stärken der beiden kombinierten Vermessungsverfahren für die Auswertung der 3D-Daten zu nutzen.

Hochpräzise Triangulationsscanner

Bei komplexen kleinteiligen Objekten, wie etwa Skeletten, kleineren Funden oder komplizierten Bauteilen etc. reichen allerdings die Messpräzision und die Auflösung eines Laserscanners nicht aus, um eine präzise Dokumentation der Objekte zu ermöglichen. Für diese Fälle werden zusätzlich hochpräzise Triangulations-Scanner benötigt, die Genauigkeiten im Submillimeterbereich bieten. Wir verwenden und vermarkten für diesen Zweck einen am Fraunhofer Institut für grafische Datenverarbeitung (Darmstadt) entwickelten Streifenlichtscanner (Abb. 1,3), der auf der Basis des Messprinzips mit strukturiertem Licht eine maximale Auflösung

von bis zu 0,05 Millimeter ermöglicht und damit auch für die Erfassung von Kleinfunden in Größe einer Münze geeignet ist.

Dreidimensionale Datenmodellierung

Das 3D-Scanning produziert enorme Datenmengen (Punktwolken), die aufwendig prozessiert werden müssen. Dieser Datenverarbeitungsprozess (Abb. 6) kann die relativ kurzen Messzeiten vor Ort um ein Vielfaches übersteigen, wobei der Aufwand natürlich sehr von dem zu liefernden Ergebnis abhängig ist. Ist nur eine registrierte und fotorealistic gefärbte Punktwolke als Bestandsaufnahme oder ein einfacher CAD-Grundrissplan gewünscht, so kann die Datenverarbeitung kurz gehalten werden.

In der Regel streben wir allerdings als Endprodukt ein hochauflösendes fotorealistic texturiertes 3D-Modell an, das dann für detaillierte weitere Auswertungen zur Verfügung steht. In diesem Fall ist der komplette entsprechend zeitaufwändige Verarbeitungsprozess zu durchlaufen.

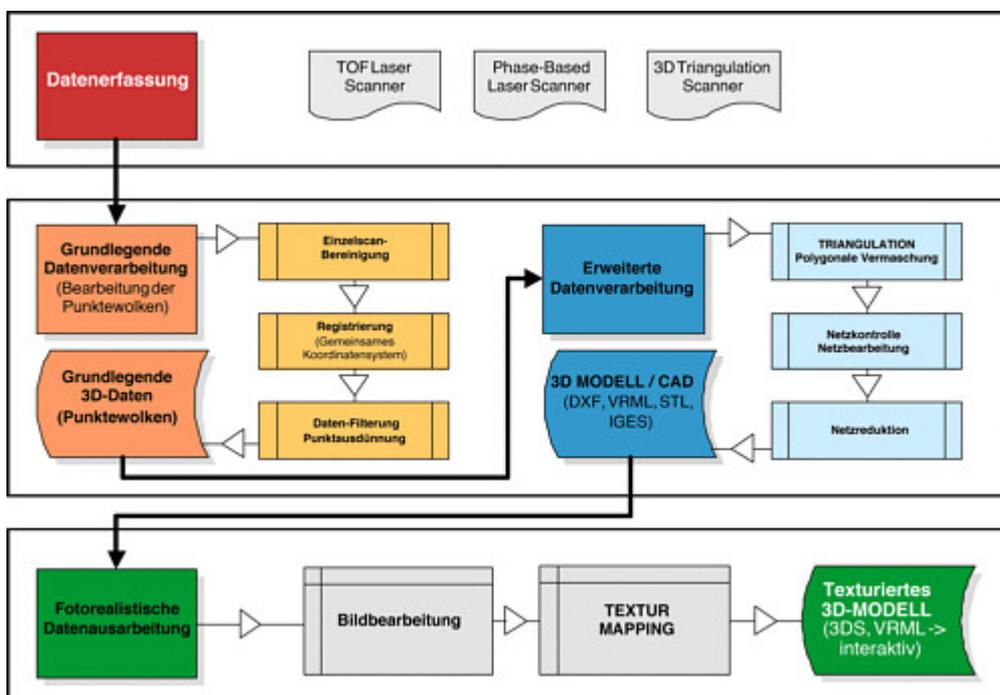


Abb. 6

Workflow-Diagramm des Arbeitsprozesses vom 3D-Scan zum fotorealistic 3D-Modell. Nach einer grundlegenden Bearbeitung der beim Scannen entstehenden, extrem dichten Punktwolken aus mehreren Millionen 3D-Punkten, werden die Daten zu 3D-Modellen verrechnet und schließlich fotorealistic texturiert.

Grafik: © 2007, ArcTron 3D GmbH.

Die Software muss dabei in der Lage sein auch komplexe Hinterschneidungen und Kanten präzise zu modellieren und ein sehr genaues und optimiertes 3D-Netz zu erstellen. Mit Hochleistungsrechnern und Spezialsoftware, die in der Lage sind diese gewaltigen Datenmengen von Aber-Millionen Punkten zu verarbeiten, erfolgt jetzt in verschiedenen Arbeitsschritten die Registrierung und Transformation der einzelnen Scans in ein gemeinsames Koordinatensystem, die Datenbereinigung und Säuberung in den Punktwolken z.B. durch das Entfernen nicht zum Befund gehörender Messwerte, die Datenfilterung und möglichst verlustfreie

Punktausdünnung mit kombinierten Kantenfindungsprozessen, die polygonale Vermaschung und schließlich die fotorealistische Visualisierung und Texturierung des 3D-Modells mit den Realfotos sowie die Analyse und Auswertung der gemessenen Daten mit Grundrissen, Querschnitten, Orthofotos etc.

Das texturierte 3D-Modell bildet nun das Endprodukt des Verarbeitungsprozesses und kann für das Einlesen in Spiele-Engines, Animationsprogramme oder sogar für die Verwendung in immersiven 3D-Virtual-Reality-Umgebungen verwendet werden.

3D-Informationssystem mit 3D-Schadenskartierung

Eine entscheidende Frage ist und bleibt aber, wie der Vermesser, Statiker, Bauforscher, Restaurator oder Archäologe selbst nun diese 3D-Daten nutzen kann?

Die ArcTron 3D GmbH entwickelt deshalb seit einigen Jahren das denkmalpflegerische 3D-Informationssystem aSPECT 3D, das es auch in der 3D-Datenverarbeitung nur bedingt erfahrenen Personen erlaubt, mit den vorliegenden 3D-Daten direkt weiterzuarbeiten.

Dieses 3D-Programm bietet eine Schnittstelle, mit der die fotorealistischen 3D-Modelle direkt strukturiert, zerschnitten und für Kartierungen etc. genutzt werden können. Dabei ist aSPECT 3D darauf spezialisiert auch mit sehr großen Punktwolken und Polygonzahlen sowie mit komplexen texturierten Oberflächennetzen zu arbeiten.

Es wurde besonders darauf geachtet, dass das Programm schnell und intuitiv erlernt und bedient werden kann. Gängige Standardformate werden beim Daten-Import und -Export unterstützt. Die Datenverarbeitung und Datenstrukturierung innerhalb der 3D-Modelle erfolgt mit eingebundener Layerstruktur, so dass der Bearbeiter seine Daten sehr einfach auf unterschiedlichen Ebenen gliedern und verwalten kann. Ein integrierter 3D-Viewer erlaubt es, die erarbeiteten 3D-Daten mit der gesamten Objekt- und Layerstruktur auch anderen Bearbeitern zugänglich zu machen.

Natürlich gibt es diverse Messwerkzeuge, um Strecken- und Flächenberechnungen auf den 3D-Modellen durchzuführen. Eine als zusätzliches Modul verfügbare Tachymeterschnittstelle erlaubt es, auch mit dem Tachymeter online Konturen oder Einzelpunkte mit 3D-Messsymbolen zu vermessen und diese Messergebnisse in dem 3D-Modell darzustellen.

Durch die 3D-Modelle können auf einfache Weise Schnitte in beliebigen Ebenen erstellt werden, so dass die Erarbeitung hochpräziser Grundriss- und Profilpläne in sehr kurzer Zeit realisiert werden kann. Außerdem können Orthofotos erstellt werden, die dann einzelne Maueransichten oder Grundrisse etc. für die Papierdokumentation ausgeben.

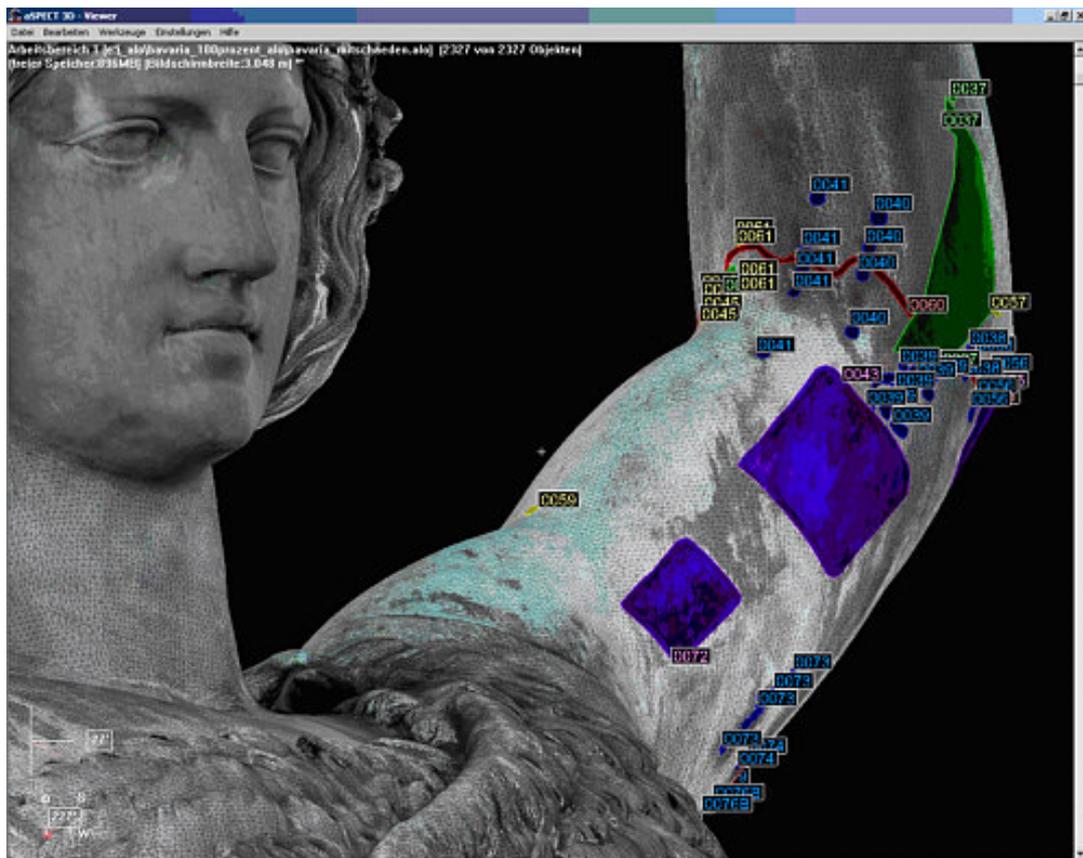


Abb. 7

Bavaria, München. 3D-Informationssystem aSPECT 3D für die Denkmalpflege. Bei diesem Projekt wurden in Datenbanken verwaltete 3D-Schadenssachdaten mit den einzelnen 3D-Schadensgeometrien verknüpft. Das ermöglicht beliebige dreidimensionale Schadenskartierungen als Ergebnis von Datenbankabfragen. Der Restaurator kann seine Beobachtungen direkt am Rechner auf den 3D-Oberflächen eintragen und so z.B. alle Schäden eines Typs oder einer Zeitstellung mit korrekten Flächenangaben auf dem 3D-Körper darstellen.

Grafik: © 2007, ArcTron 3D GmbH.

Über Attribute lassen sich die verschiedenen im 3D-Modell getrennten Objekte, wie z.B. Mauern, Pflaster, Pilaster, Säulen etc., mit entsprechenden Metadaten und Attributen versehen. Auf einer archäologischen Ausgrabung entsteht so direkt eine Metadaten-Datenbank aus der z.B. alle Säulen einer bestimmten Bauphase im 3D-Modell ausgefiltert und in der dreidimensionalen Fundlage dargestellt werden können. Eine Datenbankschnittstelle erlaubt die Verknüpfung der einzelnen 3D-Elemente mit einer externen Datenbank und die Kartierung der 3D-Objekte nach entsprechenden Datenbankabfragen. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit auch sehr komplexe Kartierungen zu realisieren, wie sie z.B. bei der 3D-Schadenskartierung der monumentalen gut 18 Meter hohen Großbronze der Bavaria in München erarbeitet wurden (Abb. 7).

Natürlich kann man diese Software auf einem mobilen Computer, z.B. auf einem Tablet-PC, betreiben und damit vor Ort direkt vor dem Original dreidimensionale Schadenskartierungen realisieren.

Gerade bei komplexen 3D-Objekten ergibt sich hier nun eine neue Möglichkeit zuverlässige 3D-Kartierungen zu erstellen. Bereits 2002 konnten wir im Rahmen der Bavaria-Dokumentation beispielsweise ein umfangreiches 3D-Schadenskartierungssystem mit gekoppelter Datenbank entwickeln, das nun auch im Rahmen eines langfristigen 3D-Monitoring des

Objektes verwendet werden kann. Man kann hier entsprechende dreidimensionale Kartenbilder erstellen und z.B. nur alle Rissbildungen in einer 3D-Schadenskartierung darstellen. In systematischen Prüfungen wird nun in den nächsten Jahren bei diesem "Monitoring-Prozess" geprüft werden, inwieweit sich die festgestellten Schadensbilder verändert und weiterentwickelt haben und ob weitere Restaurierungsmaßnahmen notwendig werden.

Öffentlichkeitswirksame Präsentationen und Rapid Prototyping



Abb. 8

Konstantinstatue, Rom und Trier. In dem Projekt für die aktuelle Landesausstellung zum römischen Kaiser Konstantin in Trier wurden die Fragmente der Statue 3D-gescannt, um schließlich die 3D-Rekonstruktion der ehemals ca. 12 Meter hohen Sitzstatue zu realisieren. Links sind die vorhandenen Fragmente in den - ansonsten transparent - rekonstruierten Körper eingeblendet. Rechts ein Ausschnitt aus der Rekonstruktion der Sitzstatue in der Apsis der Maxentiusbasilika in Rom. Grafik: © 2007, ArcTron 3D GmbH

In der weiteren Verarbeitung dieser 3D-Modelle ergeben sich vielfältige Möglichkeiten bei der Publikation und Präsentation im Rahmen von Internet- und Multimedia-Lösungen bis hin zu Animationen und aufwändigen Computerfilmen. Für Marketingzwecke, Ausstellungen, Museen oder auch etwa für die Reproduktion, Weitergabe und Auswertung von nicht transportablen Objekten ergeben sich damit zusätzliche neue Optionen.

Besonders einprägsam ist dies z.B. in der Archäologie einzusetzen, wenn aus den gescannten 3D-Modellen eines Objektes das rekonstruierte ehemalige Erscheinungsbild dargestellt werden kann. Bei unserer Rekonstruktion der ehemals ca. 12 Meter hohen Monumentalstatue von Kaiser Konstantin (Abb. 8) konnten auf Basis der 3D-Scans in Rom die verschiedenen erhaltenen Fragmente positionsgerecht am Rechner zusammengefügt werden, so dass man diese antike Kaiserstatue nun quasi aus beliebigen Blickpunkten erleben kann. Dies ist sogar mit 3D-Brillen in stereoskopischen 3D-Virtual Reality-Umgebungen möglich, wo der Besucher verschiedene Positionen des antiken Betrachters im Innenraum der rekonstruierten Maxentius-Basilika einnehmen kann.

Auch für den Bau maßstabsgerechter 3D-Modelle mit CNC-Fräsen bzw. bei Reproduktionen im sogenannten Rapid-Prototyping-Verfahren erge-

ben sich hier vielfältige neue Möglichkeiten. Diverse Technologien erlauben es hier in verschiedensten Materialien präzise, maßstäbliche Kopien der mit den Scans aufgenommenen Objekte zu reproduzieren.

Ein einfaches Verfahren für kleine Modelle ist das sogenannte 3D-Drucken, das neben der präzisen Reproduktion des 3D-Modells auch in der Lage ist, die Fotoinformation auf den 3D-Körper aufzubringen. Damit lassen sich etwa auch komplexe, vielfarbige Befunde oder Schadenskartierungen dreidimensional und annähernd fotorealistisch reproduzieren.

Für große Reproduktionen z.B. in Stein kommen dann nur aufwändige Prozesse mit 5-Achs-CNC-Frästechnik in Frage. Aktuell lässt sich als technisches Meisterwerk hier die fast drei Meter große Marmorkopie des Konstantinkopfes in der Landesausstellung in Trier bewundern. Bei Einsatz dieser Technologien lassen sich fehlende Teile nun auch in realer Größe über CNC-Fräsen direkt aus den Computerdaten generieren, so dass der Prozess der Wiedererrichtung (Anastylose) archäologischer oder historischer Bauwerke mit der Ergänzung und Rekonstruktion der fehlenden Bauteile aus den Computerdaten realisiert werden kann.

Schlussbemerkung

Mit den beschriebenen 3D-Vermessungs- und Softwaretechnologien ergibt sich eine radikal veränderte Fund- und Befunddokumentation für denkmalpflegerische Projekte der verschiedensten Kategorien. Bei komplexen archäologischen Grabungen wird die vorgestellte Dokumentationsmethodik z.B. eine vollständige rechnergestützte 3D-Visualisierung der Entwicklung einer stratigraphischen (schichtenbezogenen) Untersuchung ermöglichen. Damit kann ein komplexer dreidimensionaler archäologischer Befund in einer völlig neuen Qualität und Objektivität dokumentiert werden.

Gerade in der alltäglich mit unwiederbringlichen Substanzverlusten kämpfenden Denkmalpflege scheint es sinnvoll, die besten zur Verfügung stehenden 3D-Dokumentationsmethoden anzuwenden und weiterzuentwickeln. Das 3D-Scanning mit der entsprechenden 3D-Datenverarbeitung bietet dafür einen hervorragenden neuen Ansatz.

Kurzfassung

In dem Artikel beschreibt der archäologische Vermessungsspezialist und Geschäftsführer der ArcTron 3D GmbH Martin Schaich die Möglichkeiten moderner 3D-Scanning-Technologien. In der Archäologie, Bau- und Kunstdenkmalpflege ergeben sich mit diesen Verfahren neue Optionen, um ganzheitliche Objektdokumentationen in kurzer Zeit zu realisieren. Vom Airborne Laserscanning über das terrestrische Laserscanning und das hochauflösende submillimetergenaue 3D-Scannen mit strukturierten Lichtschnittscannern wird eine breite Palette an Vermessungsanwendungen aufgezeigt. In der Datenprozessierung werden Wege bis zum photorealistischen 3D-Modell und der Analyse in denkmalpflegespezifischen 3D-Informationssystemen angesprochen. Schließlich eröffnen sich vielerlei Perspektiven im Bereich der Visualisierung, Rekonstruktion und Reproduktion.

Abstract

3D Scanning Technologies in Architectural Conservation, Art History and Archaeological Field and Object Documentation.

This article discusses the potential of modern 3D scanning technologies for use in the heritage field. These techniques provide new possibilities for generating exhaustive documentation and for long-term safeguarding in virtual archives. A range of 3D surveying applications will be introduced, from airborne laser scanning and terrestrial laser scanning to high-resolution sub-millimetre-range structured light scanning. Photo-realistic 3D modelling, specialist 3D information systems, visualisation, reconstruction and reproduction will also be presented.

Literaturhinweise

BÖHLER, W. (Hrsg.), Proceedings of the CIPA WG6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage. Corfu Greece (2002).

BÖHLER, W., Dreidimensionale Erfassung von Denkmälern. In: COORS / ZIPF 2005, 450-466.

COORS, V. / ZIPF, A. (Hrsg.), 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Heidelberg (2005).

DEQUAL, S. (Hrsg.), Proceedings of the XX. International Symposium CIPA 2005. International Cooperation to save the world's Cultural Heritage. Vol. 1+2 (Turin 2005).

IOANNIDES M. / GEORGOPOULOS, A. / SCHERER, M., Standards in Cultural Heritage: The missing grammar for the digital documentation of the past. In: DEQUAL 2005, 861-870.

LANGHEINRICH, L., Terrestrisches Laserscanning und Streifenprojektionsmethode am Beispiel des romanischen Schottenportals Regensburg. Diplomarbeit an der FH Dresden in Zusammenarbeit mit der ArcTron GmbH (2004). Eine Kurzfassung der Arbeit findet sich auf www.arctron.de.

RIEDEL, A. / HEINE, K. / HENZE, F. (Hrsg.), Vom Handaufmass bis HighTech II. Informationssysteme in der historischen Bauforschung (2006).

SCHAICH, M., 3D-Scanning for Archaeology and Cultural Heritage. Preserving History with Geospatial Technology. In: J. Thurston (Ed.), Geoinformatics. Magazine for Surveying, Mapping & GIS Professionals 6, Vol. 7 (2004) 18-21.

SCHAICH, M., Vom 3D-Scan zur strukturierten Denkmaldokumentation – Innovative Technologien bei der 3D-Bestandsaufnahme in der Archäologie, Bau- und Kunstdenkmalpflege. In: RIEDEL, A. / HEINE, K. / HENZE, F. 2006, 100-109.

SCHAICH, M., CaseStudy - Das "Konstantin-Projekt". 3D-HighTech-Verfahren in der Archäologie. 3D-Scanning, 3D-Modellierung, 3D-Rekonstruktion, 3D-Reproduktion. Online-Bericht (2007): <http://www.arctron.de/3D-Vermessung/3D-Laserscanning/Beispiele/Konstantin/PresseArcTron3D.pdf>

ULLRICH, A. / STUDNICKA, N. / RIEGL, J., Hybrid 3D laser sensor based on a high-performance long-range wide-field-of-view laser scanner and a calibrated high-resolution digital camera. Proceedings of SPIE - Defense and Security Symposium, Orlando, Florida (2005).

DIPL.-ING. (FH) DIRK FICHTMÜLLER
DIPL.-ING. (FH) HENRY KIEBLING

Hightech in der Archäologie – Laserscanning archäologischer Mauerbefunde und Fundstücke

Seit 2004 ist im Landesamt für Archäologie Sachsen ein Laserscanner zum Erfassen von Mauerbefunden im Einsatz. Aus den positiven Erkenntnissen dieser effektiven und detaillierten Dokumentationsmethode komplexer archäologischer Befunde ergab sich die folgerichtige Entscheidung, gleiches Verfahren auch für Fundobjekte, wie z.B. Scherben, Gefäße, Schmuck etc. einzusetzen. Daher wird seit Mitte 2005 ein weiterer Laserscanner speziell zur Funddokumentation eingesetzt. Aufgrund ihrer Art bieten beide Vermessungsinstrumente ein hohes Potenzial für die effektive und hochpräzise Datenerfassung. Damit können die verschiedenartigsten archäologischen Objekte, groß- als auch kleinteiliger Natur, qualitativ und quantitativ im Rahmen der zukunftsorientierten digitalen Dokumentation aufgenommen und ausgewertet werden.

Über deren Verwendung, Nutzen, Erfahrungen sowie integrierter Forschungsprojekte soll im Folgenden berichtet werden. Dabei wird der Bereich des 3D-Laserscannings archäologischer Mauerbefunde in Teil 1 und der Bereich der Funddokumentation in Teil 2 behandelt.

Teil 1

In der Archäologie werden hohe Forderungen an die Dokumentation von Mauerbefunden gestellt. Diese sollte nach Möglichkeit räumlich sowie zeitlich (vierdimensional) erfolgen. Dabei stehen Aspekte wie verformungsgerecht, steingegenau und fotorealistisch im Vordergrund. Folglich ergibt sich aus archäologischer Sicht der Anspruch "So vollständig wie möglich" an die Dokumentation. Der Geodät hingegen versucht dabei eine optimierte dreidimensionale Dokumentation mit den ihm zur Verfügung stehenden Technologien zu realisieren, mit dem Ziel, die Daten flexibel zu generieren und daraus Pläne und Modelle zu erzeugen. Dies wiederum realisiert er "So genau wie nötig". Die Devise des Investors lautet dagegen "So schnell wie möglich". Er erwartet, dass die archäologische Untersuchung und somit die Freigabe der Bauflächen ohne unnötige Bauverzögerung abläuft.

Hieraus lassen sich bereits die gegensätzlichen Interessenlagen der Beteiligten klar abgrenzen. Das Ziel besteht nun darin einen Kompromiss zwischen den einzelnen Parteien zu finden. Durch den Einsatz geeigneter Messverfahren kann diese Situation zweckmäßig gelöst werden.

Darüber hinaus ergeben sich unterschiedliche Zielsetzungen des archäologischen und vermessungstechnischen Bereiches an die dreidimensionale Dokumentation.

Archäologie

- Integration der archäologischen Befundgrenzen
- Schaffung einer optimalen Datenbasis für die archäologischen Auswertungen
- Bereitstellung der Grabungsergebnisse für die archäologische Forschung und Diskussion
- Wiedererleben der Ausgrabung im virtuellen Raum
- Integriertes Dokumentenmanagement in Geoinformationssystemen

Vermessung

- Optimierung des Arbeitsprozesses mit projektorientierter Technologieauswahl
- Verformungsgerechte, maßhaltige und fotorealistische 3D-Modellierung
- Visualisierung der archäologischen Ergebnisse in Form von Ansichten, Schnitte, Orthofotos, Animationen, etc.
- Aufbau archäologischer Geoinformationssysteme

Daher müssen auch hier die bestehenden unterschiedlichen Ziele zwischen der Archäologie und Vermessung durch eine Kompromissfindung gelöst werden. Insbesondere die Genauigkeit, der Detailreichtum sowie die anfallende Datenmenge stellen in diesem Zusammenhang die größten Problemfelder dar. Daher ist die Formulierung von Standards für die Anforderungen an die archäologische Datenverwaltung unerlässlich.

Tachymetrie/Fotogrammetrie

Im Anschluss an frühere, etablierte Vermessungs- und Dokumentationsverfahren finden nunmehr seit ca. 15 Jahren moderne vermessungstechnische Verfahren Einzug im Bereich der Archäologie. Insbesondere die Tachymetrie und Fotogrammetrie haben bei der Erfassung von archäologischen Objekten eine neue Qualität gebracht. Allerdings ergeben sich auch für diese Verfahren unter den heutigen wirtschaftlichen Gesichtspunkten Grenzen. So ist z.B. die tachymetrische Vermessung zur steingenaue Erfassung archäologischer Mauerbefunde besonders zeitaufwändig. Die Erfassung erfolgt ausschließlich über diskrete, ausgewählte Einzelpunkte. Dies führt daher zur geometrisch reduzierten und kantenorientierten Dokumentation der Objekte. Baukörper bzw. Baugruppen sowie deren Objektdurchdringungen sind im fertigen Drahtgittermodell geometrisch erkennbar (Abb. 1).

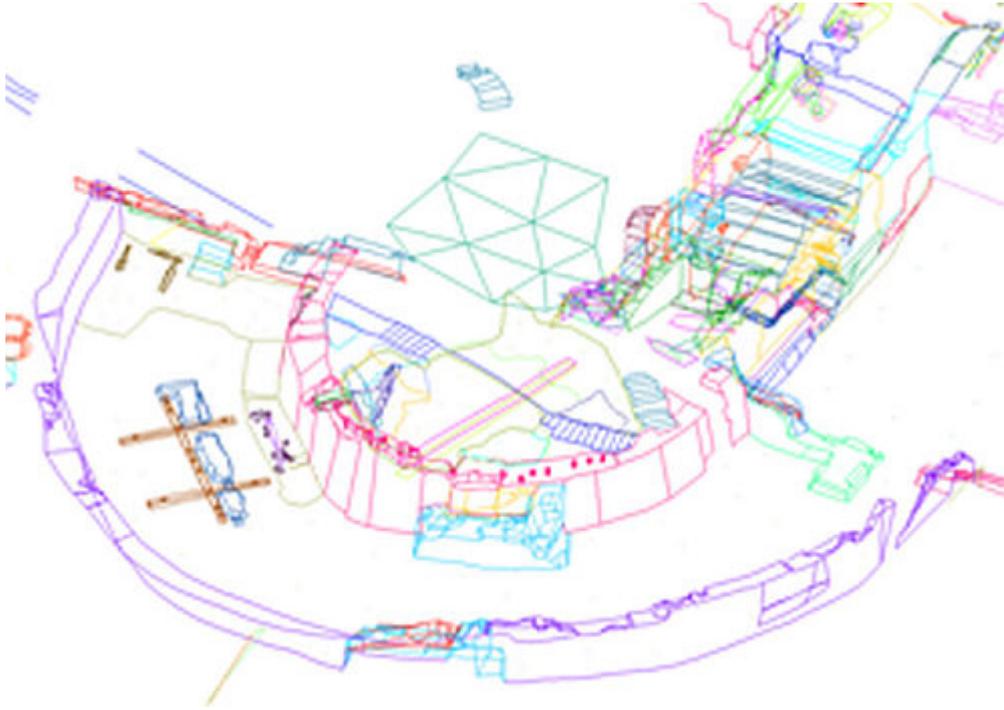


Abb. 1
Drahtgittermodell
© Landesamt für Archäologie Sachsen

Details gehen aufgrund der Generalisierung verloren, können jedoch durch Kombination mit fotogrammetrischen Verfahren zusätzlich dokumentiert werden, so dass dennoch begrenzt sehr detailliertere und fotorealistiche Modelle entstehen. Deshalb sind diese Verfahren heute mehr als etabliert und in weiten Bereichen der Archäologie auch nicht mehr wegzudenken. Denn der zeitliche und auch mittlerweile preisliche Vorteil, im Vergleich zur klassisch händischen Dokumentation, machen sich in Zeiten von "Zeit ist Geld" besonders bemerkbar.

Laserscanning

Ganz im Gegensatz zur Tachymetrie/Fotogrammetrie steht die High-end-Dokumentation mittels 3D-Laserscannern, welche seit einigen Jahren im Bereich der Archäologie mit Erfolg eingesetzt wird. Diese moderne Technologie ermöglicht die hochpräzise Erfassung komplexer/unregelmäßiger Objekte und kommt dann zum Einsatz, wenn die tachymetrisch generalisierte Aufnahme unwirtschaftlich wird und aus wissenschaftlicher Sicht zu Informationsverlusten führt.

Während des Scannens werden die Objektoberflächen zeilenweise mit einem Laserstrahl abgetastet, wobei Millionen von Messpunkten entstehen, die das Objekt repräsentieren. Zusätzlich werden die archäologischen Objekte mit einer hochauflösenden Digitalkamera erfasst. Dabei kommen unter Umständen spezielle tageslichtähnliche Beleuchtungseinheiten zum Einsatz, die bei korrekter Anwendung eine gleichmäßige und schattenfreie Ausleuchtung der Mauerbefunde gewährleisten. Dadurch erhöht sich zwar der Aufwand bei der Datenerfassung, aber die gesteigerte Qualität sowie die erheblich verkürzte Bearbeitung der Bilddaten im Innendienst, welche bislang sehr aufwendig war, rechtfertigen dies.

Grundlage hierfür ist allerdings eine objektbezogene Aufnahme vor Ort. Für die vollständige Erfassung komplexer Objekte sind somit in der Regel mehrere Standpunkte notwendig, wobei die einzelnen Positionen über sogenannte Passpunkte miteinander verknüpft werden. Diese können tachymetrisch exakt vermessen werden und dienen gleichzeitig als Übergang in übergeordnete Koordinatensysteme. Damit ist die Tachymetrie ein unerlässliches Werkzeug im Arbeitsablauf des Laserscanning.

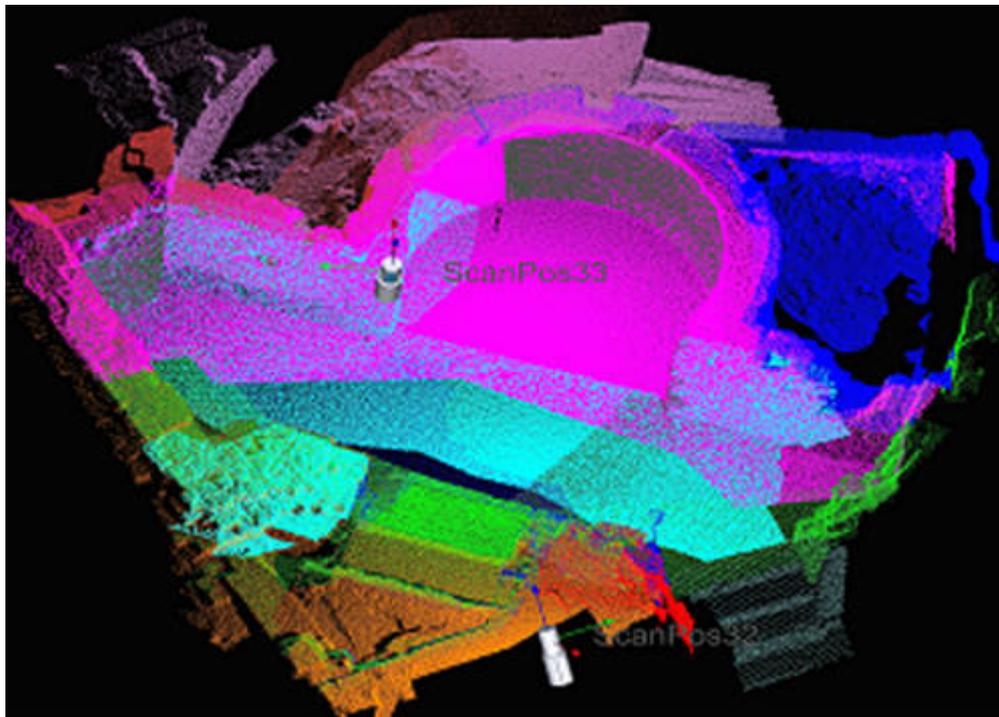


Abb. 2
Eingefärbte Punktwolke je Standpunkte
© Landesamt für Archäologie Sachsen

Abbildung 2 zeigt an einem Beispiel einer archäologischen Ausgrabung am Dresdner Neumarkt diese Art der Aufnahme durch die standpunktweise Einfärbung der Daten. Ein weiterer Vorteil der objektbezogenen Aufnahme ist, dass von vornherein die Standpunkte gezielt geplant werden können. Dadurch lässt sich wiederum eine übersichtliche Datenerhaltung für die Auswertung konzipieren. Unter Berücksichtigung all dieser Faktoren kann ein stein- und formgerechtes sowie detailgetreues Aufmaß erzielt werden.

Im Ergebnis der Datenaufbereitung entstehen durch die Kombination der erfassten Geometrie- und Bildinformationen maßhaltige und fotorealistische 3D-Modelle. In diese bzw. aus diesen können anschließend individuell erwünschte Informationen integriert bzw. abgeleitet werden. U.a. sind dies Grundrisse, Schnitte, Ansichten, Orthofotos, Befundkartierungen und CAD-Daten (Abb. 3). Weiterhin können Visualisierungen der ergrabenen Objekte nicht nur dem Fachmann und interessierten Laien als realistische Präsentationen dienen, sondern auch medienwirksam verwendet werden.



Abb. 3
Orthofoto
© Landesamt für Archäologie Sachsen

Betrachtet man nun abschließend die doch enormen Investitionskosten der Hard- und Software für ein solches Scannersystem, die im Allgemeinen um ein vielfaches höher liegen gegenüber einer Totalstation, müssen andere Faktoren den wirtschaftlichen Einsatz eines Laserscanners begründen. Qualität und Quantität sind die bestimmenden Faktoren. Bezieht man sich auf die oben bereits angesprochenen drei unterschiedlichen Ansprüche an die archäologische Dokumentation und der Maßgabe "Zeit ist Geld", so ergibt sich aus der objektbezogenen Aufnahme sowie den Möglichkeiten der detaillierten Auswertung ein hervorragender Kompromiss zwischen allen drei Ansprüchen.

Als Fazit aus den bisherig gesammelten Erfahrungen im Bereich der digitalen archäologischen Dokumentation kann abgeleitet werden, dass Laserscanning, digitale Fotografie und Tachymetrie moderne sowie sich ergänzende Technologien sind. Eine effektive Dokumentation ergibt sich aus der Kombination der einzelnen Verfahren, die sich wiederum aus den speziellen Anforderungen an die Dokumentation des einzelnen archäologischen Objektes ergibt.

Teil 2



Abb. 4
Manuelle Zeichnung
© Landesamt für Archäologie Sachsen

Allein in Sachsen werden jährlich rund 700.000 Fundobjekte auf archäologischen Grabungen gefunden und im Landesamt für Archäologie archiviert. Insgesamt ist der Depotbestand bis heute auf 16 Millionen Funde angestiegen. Für archäologische Untersuchungen werden vornehmlich ausgewählte Objekte mit großer wissenschaftlichen Aussagekraft bzw.

hohem ästhetischen Wert in die Funddokumentation aufgenommen. Grundlage dieser Dokumentationen sind die bis heute üblicherweise nach festen Konventionen von Hand angefertigten Zeichnungen (Abb. 4) und Fotos archäologischer Objekte.

Diese "klassischen" Produkte der 2D-Dokumentation bilden die Basis für wissenschaftliche Klassifikationen und Publikationen. Jedoch ist das manuelle Zeichnen archäologischer Fundobjekte sehr arbeits- und zeitaufwändig. Außerdem unterliegt es subjektiven Faktoren der Aufnahme und Wiedergabe von Merkmalen wie Verzierungen. Mit dem bereits umgesetzten Verfahren der 3D-Funddokumentation im Landesamt für Archäologie Sachsen können diese Einflüsse behoben und neue Darstellungsmöglichkeiten für Publikationen erbracht werden. Neben der Publikation auf Papier ergeben sich weitere Präsentationsmöglichkeiten der 3D-Modelle, wie z.B. internetbasierte oder museale Visualisierung der 3D-Modelle, die weltweit für jedermann zur Verfügung stehen.

Zunächst werden die einzelnen Fundobjekte dreidimensional erfasst. Hierzu wird ein Laserscanner Konica Minolta Vi-910 eingesetzt, der die Objektoberfläche im Submillimeterbereich abtastet. Die integrierte Kamera (640 x 480 Pixel) dient als Empfangseinheit zur Geometrieerfassung sowie zur Aufnahme von Farbfotos des Objektes. Weitere Utensilien, wie Drehteller und Beleuchtungseinheiten, dienen dazu, den Aufnahmeprozess zu verkürzen und zu optimieren (Abb. 5).

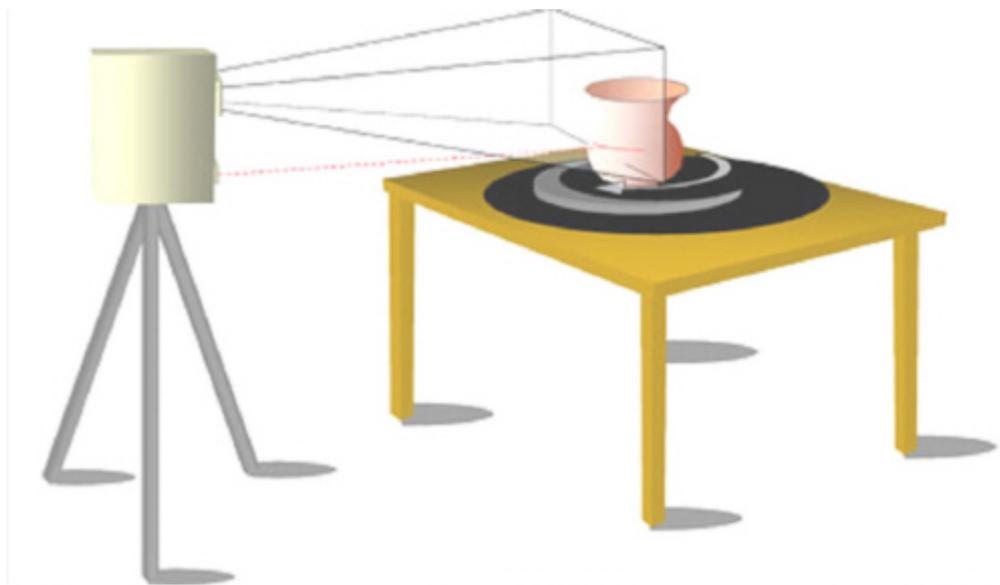


Abb. 5
Scanner und Drehteller im Einsatz
© Landesamt für Archäologie Sachsen

Im dafür eingerichteten 3D-Labor des Landesamtes für Archäologie Sachsen können optimale Bedingungen zur Ausleuchtung der Gefäße realisiert werden, da nicht nur die Gewinnung der Geometrie, sondern auch die Farbinformationen des Objektes für weitere Analysen und Interpretationen notwendig sind (Abb. 6).

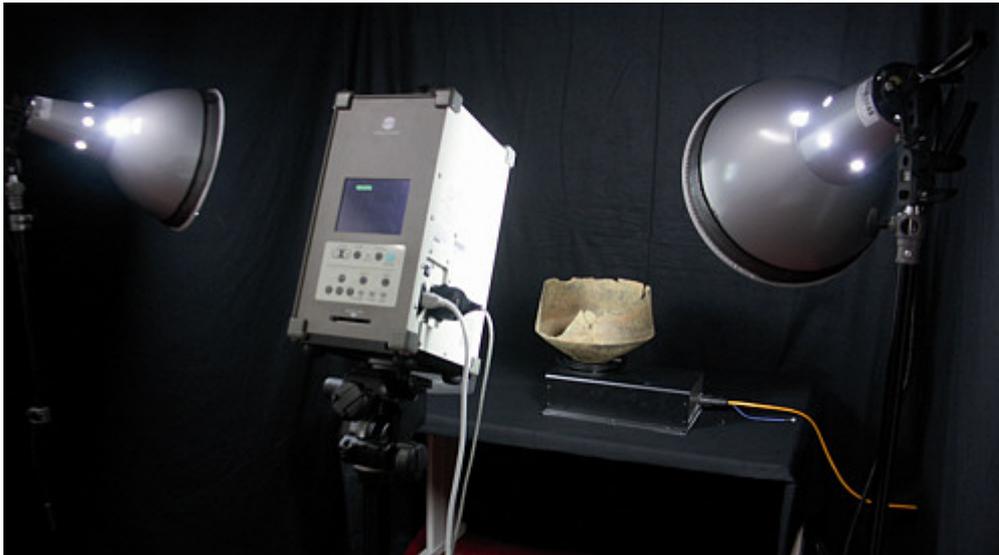


Abb. 6
3D-Labor im Landesamt für Archäologie Sachsen
© Landesamt für Archäologie Sachsen

Insgesamt wird das Objekt mit mehreren Aufnahmen aus verschiedenen Richtungen mithilfe des Drehtellers in einem Arbeitsschritt vollständig erfasst. Die Datenaufbereitung der einzelnen Aufnahmen bis zum 3D-Modell geschieht in dem Programm Raindrop Geomagic Studio9[®]. Wobei hierunter das Ausrichten der einzelnen Aufnahmen zueinander, das Vereinigen aller Aufnahmen zu einem Objekt, sowie die Bearbeitung einschließlich Fehlstellenkorrektur zu verstehen ist. Im Ergebnis entsteht das 3D-Modell des Fundobjektes mit guter Detailtreue und Maßhaltigkeit sowie Farbechtheit. Dieses wird anschließend als PLY-Datei gespeichert. Danach können im speziell für archäologische Nutzen entwickelten Programm TroveSketch (deutsch: Fundzeichner) anhand des virtuellen Modells automatisiert publikationsreife Abbildungen hergestellt werden. Bei der Mehrzahl an gefundenen Objekten handelt es sich jedoch um unvollständige oder zerscherbte Funde. Um diese abzubilden werden sie im Programm Vessel Reconstructor rekonstruiert.

TroveSketch

TroveSketch ist weltweit bisher das einzige Programm, um die Funddokumentation mit Maßen, Abbildungen und Profilen aus 3D-Modellen für Publikationen zu erstellen. Das 3D-Modell wird hierzu in dem Programm geöffnet. Danach wird das Modell automatisch ausgerichtet. Die manuelle Vermessung des Fundobjektes entfällt. Im 3D-Modell können alle wichtigen Maße, wie Durchmesser vom Rand, Boden des Objektes automatisch abgemessen werden. Zur Abbildung der Objekte sind vier Darstellungsmethoden im Programm integriert. Speziell für Publikationen werden standardisierte Ansichten der 3D-Modelle einer Darstellungsmethode erstellt.



Abb. 7
Stilisierte Ansicht
© Landesamt für Archäologie Sachsen

Abbildung 7 zeigt hierbei eine im Landesamt für Archäologie Sachsen bevorzugt verwendete Methode, um Keramik abzubilden. Diese Abbildungen können in die üblichen Bildformate maßstabsgetreu in hoher Auflösung exportiert werden. Dies gilt auch für realitätsnahe farbige Abbildungen des Modells. Für komplexe Verzierungen oder Bemalungen am gesamten Objekt kann mithilfe der Abwicklung das Modell virtuell "aufgeschnitten" und in die Ebene projiziert werden (Abb. 8).



Abb. 8
Abwicklung eines ägyptischen Gefäßes
© Landesamt für Archäologie Sachsen

Die gesamte Verzierung kann dabei angezeigt und als Bilddatei exportiert werden. Zur Profildarstellung können prinzipiell beliebige Schnitte am Modell ausgewählt werden. Fehlende Abschnitte können automatisch oder von Hand leicht rekonstruiert werden. Der Export des Profils erfolgt im EPS-Dateiformat.

Vessel Reconstructor

Der Vessel Reconstructor ermöglicht es unvollständige und zerscherbte Funde als 3D-Modell virtuell zu rekonstruieren. Vorausgesetzt wird, dass die Funde als 3D-Modelle erfasst sind. Bei zerscherbten Objekten werden aufgrund der hohen Anzahl an Einzelteilen einige wenige, jedoch aussagekräftige Scherben dreidimensional erfasst. Im Programm ist es notwendig, diese 3D-Modelle der Scherben manuell auszurichten. Hilfreich sind hierbei integrierte Hilfslinien und für die Ermittlung des Durchmessers eine Kreisschablone, wie es der Zeichner auf herkömmliche Art und Weise kennt. Führt man anschließend die Rekonstruktion durch, kann nochmals die Lage der einzelnen Scherben kontrolliert und angepasst werden. Das rekonstruierte Modell (Abb. 9) wird auch hier als PLY-Datei gespeichert werden. Das 3D-Modell des Fundobjektes steht nun für weitere Bearbeitung im Programm TroveSketch zur Verfügung.

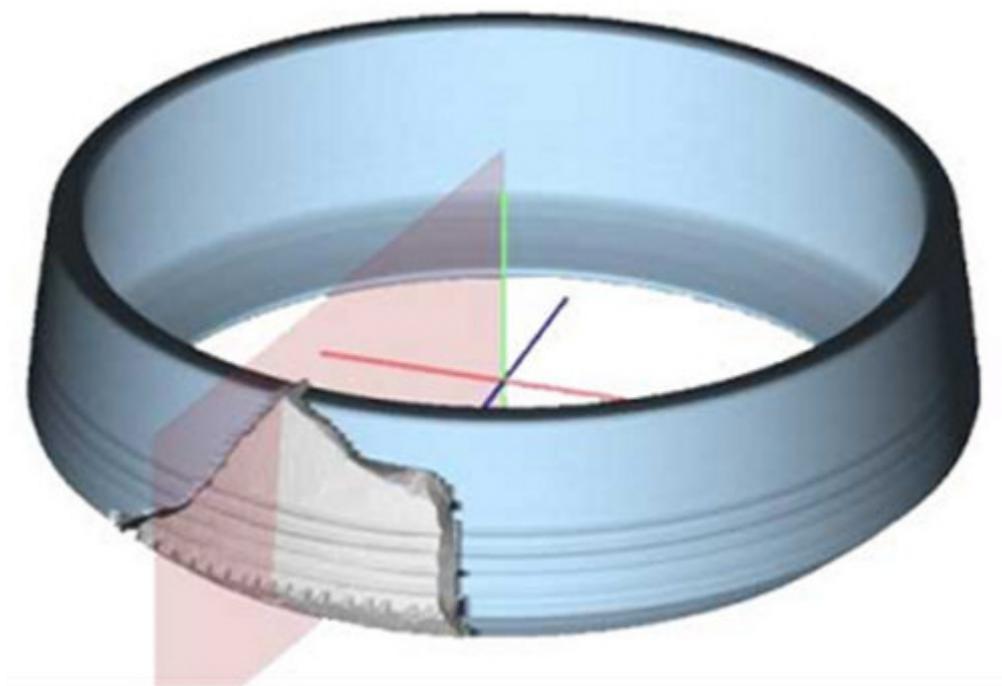


Abb. 9
Rekonstruiertes 3D-Modell
© Landesamt für Archäologie Sachsen

Die Entwicklung beider Programme ist das Ergebnis der Zusammenarbeit zwischen dem Landesamt für Archäologie Sachsen und der Technischen Universität Chemnitz, Professur Graphische Datenverarbeitung und Visualisierung. Im Vergleich zum herkömmlichen Zeichnen erweist sich die softwaregestützte 3D-Funddokumentation besonders effizient, um schneller und genauer Abbildungsergebnisse zu liefern. Bedenkt man die permanenten Verbesserungen in Aufnahme- (Scanner) und Bearbeitungstechnologie (PC und Programme) ist es möglich den Workflow weiter zu optimieren. Ein direkter Vergleich zwischen herkömmlicher Rekonstruktion, sprich "Puzzeln und Kleben", mit dem Verfahren der Laserscannings und dem Programm Vessel Reconstructor zeigte, dass die Methode nur mit einer Auswahl an einigen wenigen Scherben ein zeitsparenderes Verfahren ist. Der zeitliche Aufwand, alle Scherben dreidimensional zu er-

fassen, ist hierbei noch zu hoch.

Weitere Informationen

www.archsax.sachsen.de/Themenportal/1345.htm

www.archsax.sachsen.de.html

Fern und nah: digitale Orthophotos – CIR-Bilder - Airborne Laserscanning – maschinelle Fundbeschriftung

Es soll an dieser Stelle versucht werden, den Ausführungen von Dirk Fichtmüller zu terrestrischem Laserscanning und digitaler Funderfassung einen Rahmen zu geben und weitere aktuelle Entwicklungen im Sächsischen Landesamt für Archäologie vorzustellen. Einerseits betrifft dies die Fernerkundung, die mit neuer Sensorik und neuer Methodik aufwartet, andererseits die Detailarbeit in Form einer automatisierten Fundbeschriftung. In der Gesamtschau sollen diese Aspekte zeigen, in welche Richtung sich das Sächsische Landesamt für Archäologie orientiert und mit aktuellen Methoden versucht, die klassischen Felder der Denkmal- und Funddokumentation abzudecken, unter Ausnutzung und Entwicklung neuer Technologien effektiver zu gestalten und in Hinblick auf künftige Fragestellungen auszubauen.

1. Digitale Orthophotos (DOP)

Wesentliche Neuerungen der letzten Jahre betreffen die Fernerkundung, insbesondere die Erfassung von archäologischen Strukturen aus der Luft. Dabei spielen verstärkt Orthobilder eine Rolle, die von den Landesvermessungsämtern erstellt werden und über die reine Vermessung und Kartographie hinaus nutzbar sind. Orthobilder sind Luftaufnahmen, die über ein Geländemodell entzerrt werden und damit einen senkrechten Blick auf die Erdoberfläche bieten. Mit neu entwickelten digitalen Luftbildkameras ist es möglich, hoch genaue digitale Orthobilder zu erstellen. Zu den derzeit besten Geräten gehört die Zeiss Intergraph DCM Digitalkamera. Das System arbeitet mit einer Auflösung von 13.824 x 7.680 Pixel (entspricht 106 Megapixel). Ähnlich gute Leistungen bietet die VEXEL UltraCam D. Bei einer Flughöhe von ca. 2000 m entspricht ein Bildpunkt einer Originalfläche von 20 cm Durchmesser. Damit rückt die Fernerkundung gegenüber früheren Aufnahmen hinsichtlich der Auflösung sehr wohl in einen Bereich, der für die Erkundung archäologischer Strukturen relevant ist. Die Vorteile der digitalen Photogrammetrie bestehen vor allem darin, dass keine Entwicklung von Negativen erforderlich ist und es zu keinem Digitalisierungsaufwand bzw. Qualitätsverlust kommt. Eine höhere Bildfolge führt außerdem zu einer besseren Anpassung der Einzelbilder und damit zu einem ansprechenderen Gesamtbild.



Abb.1
Mehltheuer, Kreis Riesa-Großenhain. Doppelte Grabenanlage. Digitales Orthobild. Aufnahme vom 24.06.2005.

Zwischen Juni und September 2005 wurde das gesamte Territorium des Freistaates Sachsen im Auftrag des Landesvermessungsamtes befliegen. Die Terminierung während des Vegetationszeitraumes im Sommer wurde auf Grund verschiedener Interessen seitens der Land- und Forstwirtschaft sowie der Umweltforschung gewählt und ist für die Anliegen der Archäologie besonders geeignet (Abb. 1). Seit Mai 2006 werden die DOP vom Landesvermessungsamt im Rahmen der Basiskarte Sachsen im Internet veröffentlicht und sind somit jedermann zugänglich:

[www.landesvermessung.sachsen.de/ias/basiskarte/java/dispatch].

Die Basiskarte Sachsen ist ein Serviceprogramm des Sächsischen Landesvermessungsamtes und dient dazu, geodätische Grunddaten zu veröffentlichen. Zu den bereitgestellten Layern gehören neben den Topographischen Karten in verschiedenen Maßstäben unter anderem die Schwarzweißorthobilder der Jahre 1994 - 2002, die Hochwasserbilder von 2002 sowie analoge Farborthobilder von 2002. Die DOP werden laufend aktualisiert.

Mit den digitalen Farborthobildern ist es möglich, die Methoden der klassischen Luftbildarchäologie vom Schreibtisch aus zu betreiben (Abb. 2). Besonders ergiebig ist derzeit der nordwestsächsische Bereich, der Ende Juni 2005 aufgenommen wurde. Zu diesem Zeitpunkt bestanden gute Beobachtungsbedingungen für Bewuchsmerkmale im Getreide (Gerste, Weizen). Hingegen sind die Aufnahmen vom östlichen und südlichen Sachsen erst im Juli bis September entstanden, zu einem Zeitpunkt also, als das Getreide bereits abgeerntet war. Hier bestehen lediglich in Rüben- oder Maisfeldern Beobachtungsmöglichkeiten, wobei die bekannte grobe Auflösung dieser Feldfrüchte die möglichen Ergebnisse weiter einschränkt.

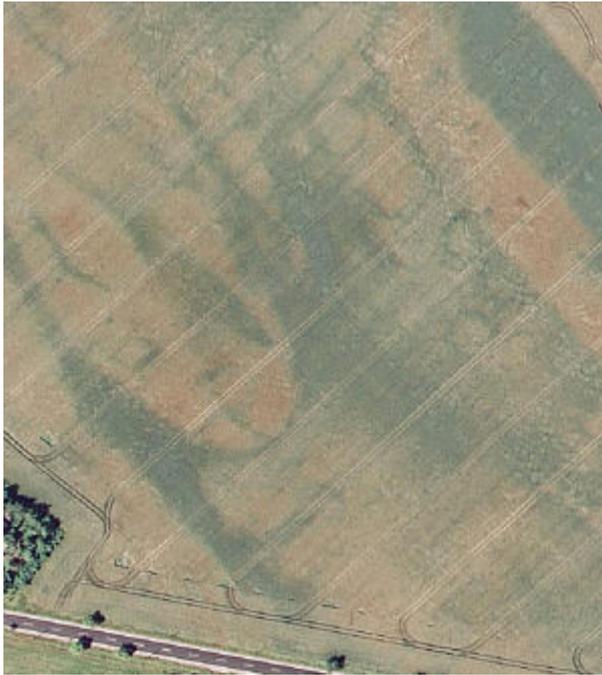


Abb. 2
Dautzschen,
Kreis Torgau-Oschatz.
Bronzezeitliche Hügelgräber.
Digitales Orthobild.
Aufnahme vom 24.06.2005.

Die Stärken bei der Untersuchung der DOP gegenüber der herkömmlichen Luftbildarchäologie liegen in der Georeferenz der Bilder. Per Mausclick lassen sich Lagekoordinaten und Ausdehnungen ermitteln. Der senkrechte Blick gibt die Denkmale unverzerrt wieder. Darüber hinaus ist eine Überlagerung von Orthobild und Topographischer Karte möglich.



Abb. 3
Dautzschen, Kreis Torgau-Oschatz. Bronzezeitliche Hügelgräber. Herkömmliches archäologisches Luftbild. Aufnahme vom 15.06.2005.

Um die Aussagefähigkeit der DOP für archäologische Fragestellungen zu klären, wurde eine Testfläche von 4 x 4,5 km Ausdehnung südlich von Riesa auf archäologische Befunde untersucht. Von den 64 bekannten archäologischen Fundstellen auf dieser Fläche ließen sich 20 in den DOP wiedererkennen. In den übrigen 44 Fällen, in denen archäologische Befunde nicht zu erkennen waren, bildete in der Regel ein für die Feldbestellung ungünstiger Aufnahmezeitpunkt die Ursache für das Ausbleiben

von Merkmalen. An 11 Stellen ließen sich in den DOP Strukturen erkennen, die bislang in den Fundstellenlisten nicht erfasst waren und von denen einige auf archäologische Befunde zurückgeführt werden können. Damit entspricht die Untersuchung der Testfläche durchaus den Ergebnissen der herkömmlichen Luftbildarchäologie (Abb. 3). Einschränkend ist lediglich zu bemerken, dass durch die große Flughöhe und den Aufnahmezeitpunkt durchaus Einbußen in der Bildqualität gegenüber der klassischen Flugprospektion bestehen. Dennoch ist das Bildmaterial sehr gut für archäologische Prospektionen zu verwenden.

2. Colorinfrarot-Bilder (CIR)

Als nahes Infrarot bezeichnet man elektromagnetische Wellen im Wellenlängenbereich zwischen 700 nm und 1400 nm. Das Chlorophyll der Pflanzen reflektiert im Bereich des infraroten Lichtes einen wesentlich größeren Anteil der Sonnenstrahlung als im sichtbaren Bereich. Aus diesem Grund sind Farb- und Helligkeitsunterschiede zwischen einzelnen Pflanzen bzw. Pflanzenbeständen deutlicher ausgeprägt als bei einem Echtfarbfilm. Mit Hilfe von CIR-Bildern lässt sich ein Bewuchs nach verschiedenen Kriterien, Feuchtigkeitsgehalt, Wachstumseigenschaften oder Krankheitsbefall analysieren. Diese Kriterien sind auch im Rahmen der Luftbildarchäologie relevant.

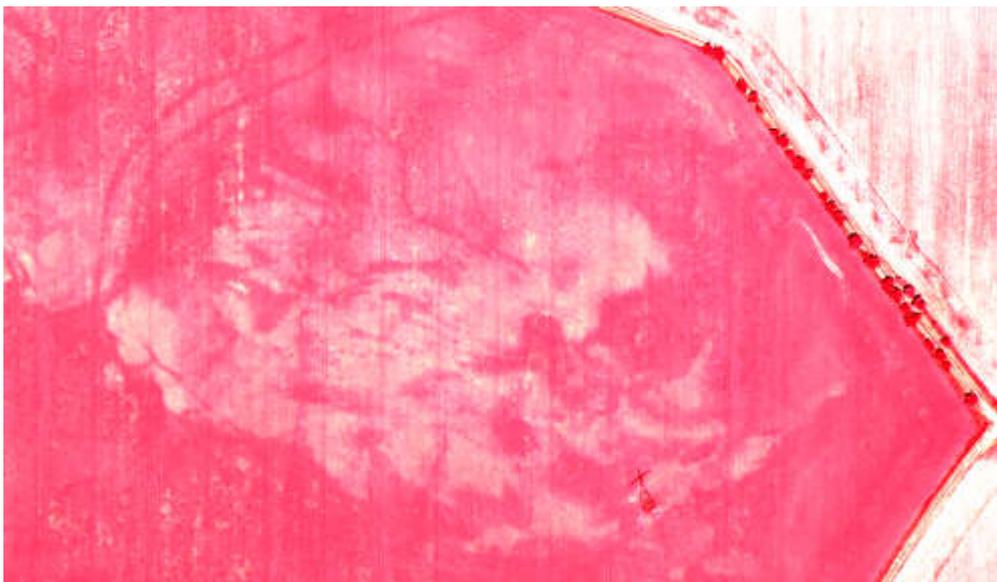


Abb. 4
Mehltheuer, Kreis Riesa-Großenhain. Doppelte Grabenanlage. Colorinfrarotbild mit verstärkten Kontrasten. Aufnahme vom 24.06.2005.

Im Sommer 2005 wurde durch das Sächsische Landesvermessungsamt gemeinsam mit der Erfassung digitaler Orthobilder eine systematische und vollständige Befliegung Sachsens durchgeführt. Die CIR-Bilder sind ebenfalls in der Basiskarte Sachsen veröffentlicht (Abb. 4).



Abb. 5
Dautzschen,
Kreis Torgau-Oschatz.
Bronzezeitliche Hügelgräber.
Colorinfrarotbild mit
verstärkten Kontrasten.
Aufnahme vom 24.06.2005.

Im direkten Vergleich zeigt sich, dass CIR-Bilder den Bewuchs merklich besser abbilden als die DOP (Abb. 5). Insbesondere die Bereiche zeigen gute Kontraste, wo auf einem Feld verschiedene Reifegrade des Getreides angetroffen werden. Bei weitgehend einheitlichem Pflanzenwuchs lassen sich auf den CIR-Bildern hingegen kaum Farbdifferenzen erkennen. Durch den eingeschränkten Farbraum können die gesuchten Strukturen in einem Bildbearbeitungsprogramm durch erhöhten Kontrast oder Änderungen der Gradationskurve problemlos verstärkt werden und lassen sich dann besser erkennen. Allerdings sind auf allen untersuchten Bildern keine zusätzlichen archäologischen Strukturen zu erkennen, die auf den DOP nicht auch vorhanden sind.

3. Airborne Laserscanning (ALS)

Als Airborne Laserscanning oder LIDAR (Light Detecting And Ranging) bezeichnet man ein lasergestütztes Verfahren zur Entfernungsbestimmung. Konkret werden von einem Flugzeug systematisch Laserstrahlen ausgesandt, die auf dem Boden reflektieren. Aus dem Echo des Laserstrahls lässt sich die Entfernung zwischen Flugzeug und der Reflexionsfläche auf dem Boden berechnen. Die Lage des Flugzeugs ist durch GPS-Messungen präzise bekannt. Durch Lage, Flugrichtung und Stellung des Flugzeuges einerseits und den Abstrahlwinkel des Lasers andererseits kann man die Lage und die absolute Höhe der Reflexionsfläche bestimmen. Werden die Messungen in sehr dichter Folge vorgenommen, erhält man eine Punktwolke, welche die Erdoberfläche abbildet. Die Laserstrahlen reflektieren an den unterschiedlichen Oberflächen, auf die sie treffen, verschieden. Im Blätterdach eines Waldes kommt es nur für einen Teil des Strahlenbündels an der oberen Baumkrone zur Reflexion. Weitere Echos entstehen an tiefer gelegenen Ästen und Blättern. Ein Teil des Laserstrahls erreicht den Waldboden. Das erste Echo (First Pulse) gibt die Oberfläche des Blätterdachs wieder, das letzte Echo (Last Pulse) den Waldboden. Die einzelnen Echos lassen sich auf rechnerischem Wege trennen. Für archäologische Fragestellungen besonders wichtig sind die

letzten Echos. Sie beschreiben die Bodenoberfläche. Die Genauigkeit mit der dies geschieht ist abhängig von der Punktdichte - sie liegt bei aktuellen Messungen in der Regel zwischen einem und zehn Messungen pro Quadratmeter -, der Durchlässigkeit des Waldes und der Hangneigung. Unter günstigen Bedingungen lässt sich aus der Punktwolke ein Bodenmodell mit einer Lagegenauigkeit von 0,5 m und einer Höhengenaugigkeit von 0,1 m erstellen. In diesem Bodenmodell bilden sich auch die an der Oberfläche sichtbar erhaltenen archäologischen Strukturen ab: Burgwälle, Hügelgräber, Altstraßen u.ä.

Die Erstellung der Daten ist kostspielig. In der Regel ist es nicht interessant, ein einzelnes Denkmal mit Hilfe von ALS zu vermessen. Wirtschaftlicher ist die systematische Befliegung ganzer Landstriche, wobei verschiedene Interessenten an den Daten partizipieren können. In Sachsen liegen derzeit die Daten der Landestalsperrenverwaltung vor. Im Nachgang des Augusthochwassers 2002 mit seinen katastrophalen Folgen wurden zwischen 2002 und 2005 die Oberläufe der Flüsse erster Ordnung sowie der Elbelauf vermessen. Die Daten sollten insbesondere dem Hochwasserschutz dienen. Entsprechend der Vorgaben wurden jeweils nur schmale Streifen entlang der Flüsse untersucht, die selten mehr als 100 Meter beiderseits der Ufer erfassen. Diese Daten können in Zweitverwendung für die Archäologie genutzt werden. Eine systematische Befliegung des gesamten sächsischen Territoriums wird durch das Landesvermessungsamt geplant und erfolgt sukzessive. 2006 begannen die Messungen im Vogtland und Teilen des Erzgebirges. Die Vermessung der Sächsisch-Böhmischen Schweiz erfolgte 2005 im Rahmen eines EU-Projektes durch die TU Dresden. Trotz des zur Zeit noch lückenhaften Datenbestandes sind erste Untersuchungen möglich.

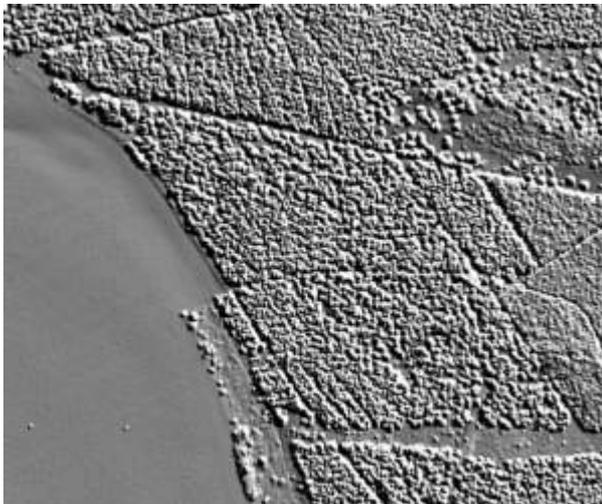


Abb. 6
Rosenfeld, Kreis Torgau-Oschatz.
Bronzezeitliche Hügelgräber.
Airborne Laserscanning.
Im First Pulse-Mode sind Bewuchs und
aktuelle Bebauung sichtbar.

Als Beispiel für die Anwendbarkeit der Daten kann das jungbronzezeitliche Hügelgräberfeld von Rosenfeld, Kreis Torgau-Oschatz, dienen. Das Gräberfeld befindet sich am Rande der Elbeniederung in lichte Kiefernwald. 35 Hügel erstrecken sich über eine Fläche von ca. 100 x 200 Metern. Das Orthobild und die First-Pulse-Messung verdeutlichen die Situation: Der Wald bildet zugleich ein Hindernis für die Dokumentation als auch einen Schutz für den Erhalt des Denkmals (Abb. 6).

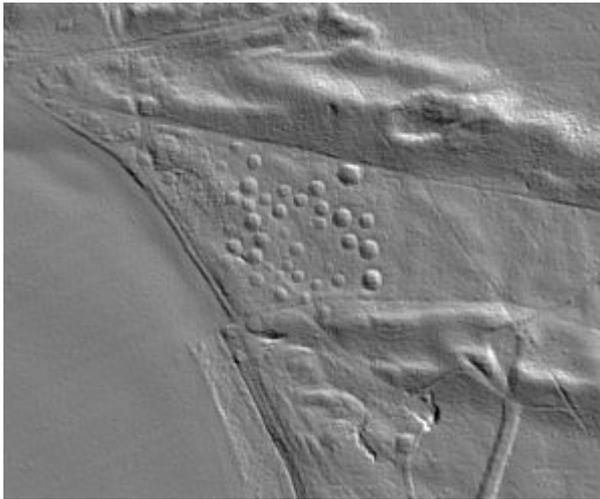


Abb. 7
Rosenfeld, Kreis Torgau-Oschatz.
Bronzezeitliche Hügelgräber.
Airborne Laserscanning.
Die Last Pulse-Daten zeigen die
Bodenoberfläche unter dem Bewuchs.
Deutlich lassen sich die Grabhügel
erkennen.

Im Last-Pulse-Mode treten die einzelnen Hügelgräber sehr deutlich hervor. Sie unterscheiden sich durch ihren kreisrunden Umriss markant von den Sanddünen der näheren Umgebung (Abb. 7).

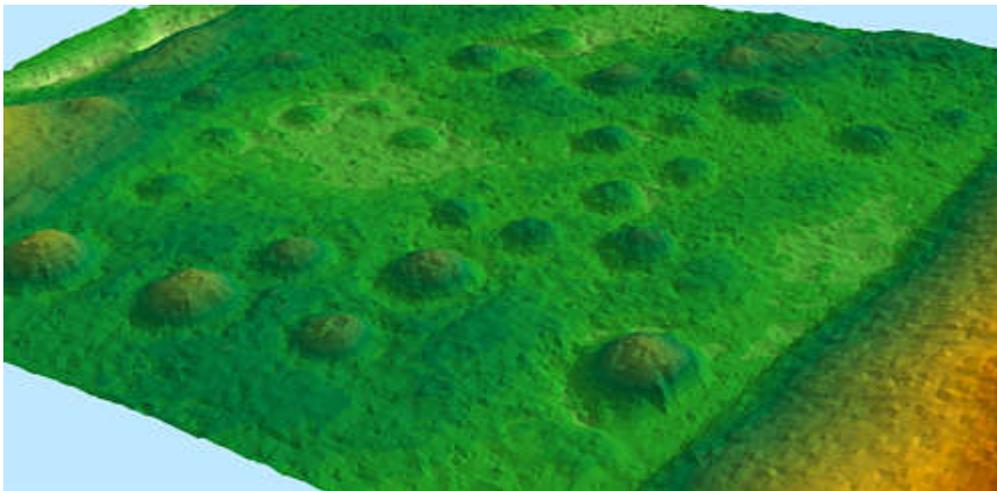


Abb. 8
Rosenfeld, Kreis Torgau-Oschatz. Bronzezeitliche Hügelgräber. Airborne Laserscanning. Die Last Pulse-Daten lassen sich als Geländemodell darstellen, überhöhen und einfärben.

Die Bearbeitung der Daten erfolgt im Sächsischen Landesamt für Archäologie mit Hilfe von ESRI 3D-Analyst, einem Zusatzprogramm von ArcGIS. So ist es möglich, die Strukturen zu überhöhen, ihnen Farbverläufe und Konturlinien zuzuweisen oder Querschnitte durch die einzelnen Hügel anzulegen (Abb. 8). Eine wesentliche Frage stellt sich nach der Genauigkeit der aus der Luft erhobenen Daten gegenüber terrestrischen Messungen. Für die Grabhügel von Rosenfeld steht eine aktuelle Vermessung im Gelände aus dem Jahr 2001 zur Verfügung. Ein Vergleich der Lage und Höhenwerte zwischen beiden Messverfahren zeigt sehr gute Übereinstimmung. Die im ALS-Verfahren ermittelten Höhen differieren lediglich um 0,1 – 0,3 Meter von den terrestrischen Messungen. Für den Zweck einer allgemeinen Denkmaldokumentation erscheinen diese Genauigkeiten durchaus akzeptabel. Um die Qualitäten des ALS zu betonen, sei darauf hingewiesen, dass auf dem digitalen Geländemodell zwei weitere, bisher nicht dokumentierte Grabhügel erscheinen, die bei der Vermes-

sung im Gelände wahrscheinlich auf Grund ihrer geringen Höhe von nur wenigen Dezimetern im dichten Unterholz übersehen wurden.

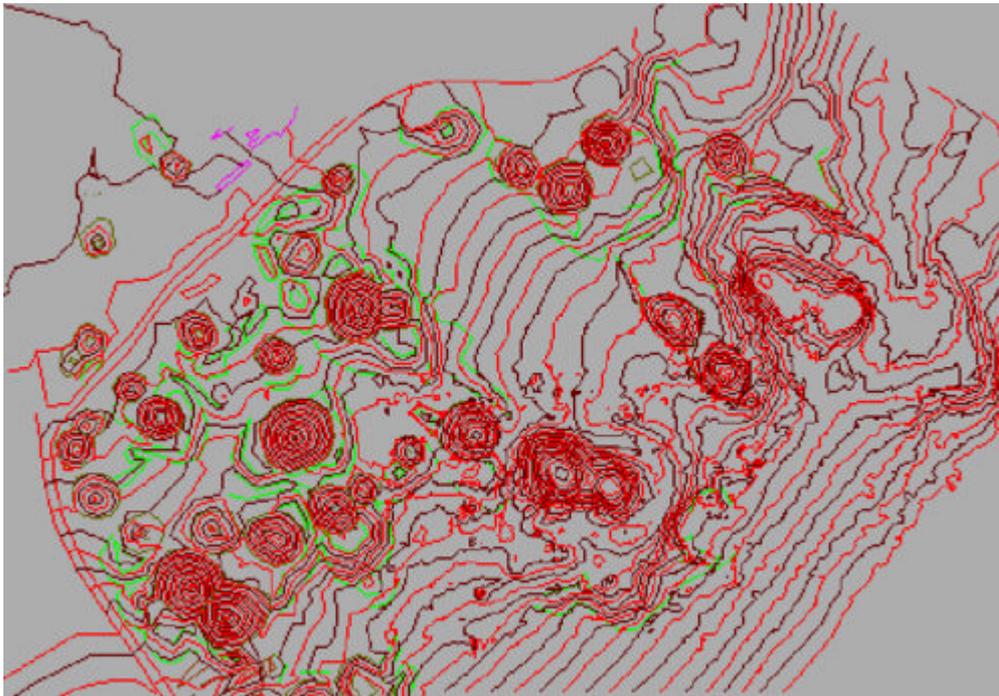


Abb. 9
Sachsenburg, Kreis Mittweida, Bergbausiedlung Treppenhauer. Kombination von terrestrischer (linke Bildseite) und luftgestützter (ALS) Vermessung (rechte Bildseite).

Ein zweiter Aspekt soll mit dem Beispiel des Treppenhauers bei Sachsenburg, Kreis Mittweida, verdeutlicht werden. Es handelt sich dabei um eine Bergbausiedlung des 13./14. Jahrhunderts. Ein Graben umgibt ein Areal dicht angeordneter Eintiefungen, von denen einige Pingen oder Stolleneingänge darstellen, andere die Keller der mittelalterlichen Bebauung. Im Nordwesten der Anlage ist der Graben auf eine längere Strecke unterbrochen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Graben an dieser Stelle den Wald verlässt und im angrenzenden Ackerland völlig verschliffen ist. Das Areal der Bergbausiedlung wurde 2006 terrestrisch vermessen. Testweise wurden nun die Daten aus der tachymetrischen Vermessung mit denen des ALS verschnitten. Die geraden Linien (Abb. 9, linker Bildteil) kommen dadurch zustande, dass der Vermesser vor Ort entscheidet, welchen Punkt er anmisst. Es fließt die fachliche Interpretation des Geländes in die Messung ein. Beim ALS-Verfahren (Abb. 9, rechte Bildhälfte) werden zufällige Punkte angemessen, die repräsentativ sein können, es aber nicht sein müssen. Die Folge bilden unter anderem die stark gezackten Höhenlinien.

Die ALS sind wenig geeignet, um architektonische Denkmale darzustellen. Dies ergibt sich aus der Gitterweite des Geländemodells. Durch die Triangulation der Punkte erscheinen die Mauern wie mit Planen verhängt. Hier empfiehlt sich eine Kombination verschiedener Messverfahren: zunächst ein Grundgerüst, das aus dem Messgitter des ALS stammt und die Einbettung des Denkmals in die Landschaft zeigt, ergänzt durch eine tachymetrische Aufmessung der Details.

Die Grenzen der Auswertung von ALS-Daten liegen schließlich in der Datenmenge. Die Untersuchungsflächen lassen sich nicht unbegrenzt ausdehnen. Bei der Fläche von 1 km² liegen den Berechnungen 1 Million Datentripel zugrunde, jeweils bestehend aus Rechtswert, Hochwert und Höhe. Je nach Rechnerleistung schränken diese Datenmengen die Bearbeitung ein. Die Stärken des Airborne Laserscanning liegen vor allen Dingen in der maßgenauen Dokumentation von sichtbaren Denkmälern in bewaldetem Gebiet. Einerseits unterliegen die Denkmäler dort besseren Erhaltungsbedingungen, andererseits erleichtert die Messung aus der Luft die schwierige Geländearbeit in teils steilem, von Wald als Sicht hemmendem Faktor bedecktem Terrain. Darüber hinaus liefert das ALS ein Grundgerüst von Geländedaten, das ohne Probleme mit herkömmlichen Feineinmessungen vor Ort einhergehen kann, und verringert auf diesem Weg die aufwändige weitflächige Geländearbeit.

4. Maschinelle Fundbeschriftung

Ein zentrales Problem insbesondere von Stadtkerngrabungen und großflächigen archäologischen Untersuchungen ist die Versorgung der in erheblichem Umfang auftretenden Funde. Zur Vereinfachung, Verbesserung und Kostensenkung bei der Beschriftung der Funde wurde von der Firma Gärtner-Beschriftungstechnik, Glaubitz, in Zusammenarbeit mit dem Sächsischen Landesamt für Archäologie ein Prototyp entwickelt, der diese Aufgabe teilautomatisiert übernimmt (Abb. 10).



Abb. 10
Maschine zur Beschriftung
von Fundobjekten.

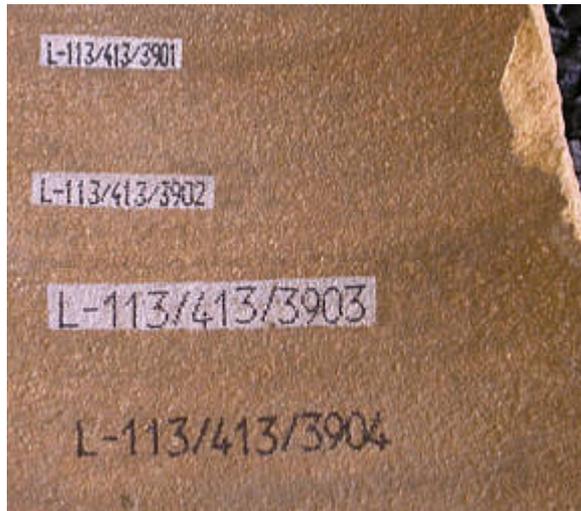


Abb. 11
Beschriftungsbeispiele.

Das Gerät besteht aus einer höhenverstellbaren Arbeitsebene. Ein Laserpointer markiert vorab die Positionierung der Beschriftung auf dem Fundstück. Ein Ultraschallsensor richtet den Druckkopf im genauen Abstand zum Objekt aus. Die Beschriftung erfolgt im Inkjet-Verfahren und ist berührungsfrei. Die Trocknungszeit der Tinte beträgt 1 Sekunde. Die Beschriftung lässt sich bei Bedarf rückstandslos mit Aceton entfernen. Sie besteht aus einer beliebigen Anzahl von Buchstaben oder Zahlen in den Größen zwischen 1 und 12 mm (Abb. 11). Die Beschriftung ist schwarz, weiß oder schwarz auf weißem Grund. Allerdings ist die Tinte nicht lichtecht. Dieser Nachteil wirkt sich jedoch wenig beeinträchtigend

aus, wenn die Funde in Kartons gelagert werden. Die Steuerung der Anlage erfolgt über einen Computer, in den Beschriftungstext und Druckinformationen eingegeben werden. Die Einzelobjekte werden automatisch gezählt und können als Liste ausgegeben werden.

Die Vorteile der Anlage bestehen in einer auch auf rauhem Untergrund sehr gut lesbaren Beschriftung, einer Reduzierung von Schreibfehlern und einem sehr schnellen Bearbeiten großer Fundkomplexe. Im Echtbetrieb werden bis zu 600 Objekte pro Stunde beschriftet. Der durchschnittliche Preis pro beschriftetem Objekt liegt bei 0,15 - 0,20 Euro. Damit handelt es sich um ein kostengünstiges, genaues und schnelles Verfahren, das in allen Punkten einer Beschriftung von Hand überlegen ist.

Literatur:

J. Albertz, Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern (Darmstadt, 2. Aufl. 2001).

A. Gumpert/C. Kaplick, Beitrag der Vermessung zur archäologischen Erforschung frühgeschichtlicher Hügelgräber in der Annaburger Heide (Landkreis Torgau-Oschatz) (ungedr. Diplomarbeit Dresden 2001).

R. Heynowski, Der Blick von oben: Orthofotos und Luftbildarchäologie. Archaeo 3, 2006, 30-33.

R. Heynowski/M. Fleischhauer, Neues aus der Luft: Auswertung von Fernerkundungsdaten. Archaeo 4, 2007, 10-15.

G. Hildebrandt, Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie (Heidelberg 1996).

K. Kraus, Photogrammetrie. Band 1: Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen (Berlin, New York, 7. Aufl. 2004).

W. Schwabenicky, Die mittelalterliche Bergbausiedlung auf dem Treppenhauer bei Sachsenburg (Kreis Hainichen). Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege 32, 1988, 237-266.

Einsatz und Möglichkeiten geophysikalischer Messverfahren in der Archäologie

Einleitung

Aus dem Repertoire geophysikalischer Messverfahren bieten sich unterschiedlichste Möglichkeiten der Erkundung archäologischer Stätten an.

Bevorzugt eingesetzte Messverfahren sind geomagnetische, geoelektrische und elektromagnetische Messverfahren.

Voraussetzung für den Erfolg geophysikalischer Messverfahren ist ein ausreichender Kontrast der physikalischen Eigenschaften der zu ortenden Materialien.

Je nach Aufgabenstellung bieten sich entsprechende geophysikalische Messverfahren an. Hier spielen die Materialeigenschaften in Verbindung mit dem Erkundungsziel eine entscheidende Rolle.

Die Geomagnetik ist eines der meist eingesetzten Verfahren zur Erkundung archäologischer Stätten. Da gebrannte Ziegel und eisenhaltige Materialien in der Regel eine Magnetisierbarkeit aufweisen, ist die Geomagnetik eines der meist eingesetzten Messverfahren in der Archäologie. Welches Instrument zur Messung der unterschiedlichen physikalischen Größen des Erdmagnetfeldes eingesetzt wird hängt von den vor Ort herrschenden Bedingungen ab. In Stadtgebieten und Flächen mit an der Oberfläche befindlichen Metallobjekten unterschiedlichster Art sollten Messgeräte eingesetzt werden, die gegenüber seitlichen, einwirkenden Störungen relativ unempfindlich sind.

Besonders kritisch wird der Einsatz des geomagnetischen Messverfahrens in Bereichen bestehender Versorgungseinrichtungen wie Stromleitung, Bahngleisen, Straßenbahnen usw., die zu erheblichen Störungen des Erdmagnetfeldes führen und z.T. sinnvolle Messungen unmöglich machen.

Bevorzugt eingesetzte Messgeräte sind Instrumente, die den Z-Gradienten oder die Totalintensität des Erdmagnetfeldes messen. Beide Messverfahren und die gemessenen physikalischen Größen bieten im Vergleich untereinander Vor- und Nachteile.

Während die Messungen des Z-Gradienten und die Darstellung der Rohdaten physikalisch kaum Probleme bereiten, sind Messungen der Totalintensität unter Berücksichtigung der täglichen Variationen des Erdmagnetfeldes, die bis zu einigen hundert Nanotesla betragen können, weit aufwändiger. Hier bieten sich ebenfalls Gradientenmessungen der Totalintensität an, um so mögliche Korrekturen zu vermeiden.

Um ein Optimum an Informationen aus den Rohdaten zu erhalten, sollte ein Datenprozessing durchgeführt werden. Außer der Möglichkeit der unterschiedlichen Filterungen der Daten kann z.B. auch eine Polreduktion einen wichtigen Beitrag zur Bearbeitung der Daten liefern.

Parallel zur Geomagnetik werden immer häufiger geoelektrische Kartierungen durchgeführt. Je nach Elektroden-Sonden-Konfiguration können unterschiedliche Wirkungstiefen und Auflösungen erreicht werden. Als Leitparameter wird der spezifische Bodenwiderstand gemessen. Bodenveränderungen, Mauerreste, Auffüllungen und Hohlräume führen in der Regel zu deutlichen Änderungen der Widerstandsverhältnisse im Untergrund. Diese können flächig kartiert werden und liefern damit eine Übersicht über die lateralen Änderungen der Bodenwiderstände. Möchte man Informationen über die vertikale Verteilung der Widerstandsverhältnisse erhalten, so ist eine Vielzahl von Messungen mit unterschiedlichsten Konfigurationen notwendig. Zweckmäßigerweise werden diese Messungen rechnergesteuert durchgeführt. Je nach Fragestellung ist die beste Auslagekonfiguration zu wählen. Weitere Hinweise zu dem Messverfahren der Geoelektrik werden im nachfolgenden Text zur Geoelektrik aufgeführt und anhand von Beispielen dargestellt.

Immer mehr an Bedeutung gewinnen elektromagnetische Messverfahren. Insbesondere liefern Georadarmessungen einen wichtigen Beitrag zur Erkundung historischer Fundorte. Diese hochfrequenten elektromagnetischen Messungen sind vergleichbare Messungen, wie sie in der Reflexionsseismik angewandt werden. Durch die extrem hohen Laufzeitgeschwindigkeiten und die Vielzahl von Einzelscans innerhalb eines Zeitintervalls sind hohe Ansprüche an die Hardware gestellt. Je nach elektrischen Eigenschaften (Dielektrizitätskonstante) des Untergrundes und der dort befindlichen Objekte werden Schichtverläufe und Einzelkörper unterschiedlich abgebildet. Hohe Ansprüche sind an das Datenprozessing gestellt. Geeignete Softwareprogramme erlauben das unterschiedlichste Filtern der Daten, Rechnen einer Migration und Dekonvolution oder das Stapeln von Messprofilen und anderer Bearbeitungsprozesse. Nur so ist sehr oft eine sinnvolle Aussage, die aus den Daten gewonnen werden kann, möglich. Hinweise mit Beispielen sind unter dem Kapitel Georadar aufgeführt.

Weitere elektromagnetische Messverfahren, die im kHz-Bereich arbeiten, sind unter dem Begriff Transientenelektromagnetik (TDEM) bekannt. Diese im Zeitbereich arbeitenden Instrumente dienen zur Erkundung aller metallischen Objekte. Hier gibt es Instrumente mit unterschiedlichen Eigenschaften, die sich in der Leistung hinsichtlich der Auflösung und Eindringtiefe unterscheiden. Gegenüber mineralischen Böden oder magnetisierbaren Gesteins sind diese Instrumente völlig unempfindlich, so dass kleinste Metallobjekte lokalisiert werden können.

Eine relative schnelle Erkundung der elektrischen Bodenleitfähigkeit von Flächen liefern elektromagnetische Instrumente im Frequenzbereich. Teilweise gibt es Instrumente, die in der Lage sind, Sendefrequenzen zwischen 330 Hz bis 20.000 Hz frei wählbar einzustellen. Darüber hinaus liefern diese Sendefrequenzen, parallel in einem Messvorgang, als Ergebnis eine laterale Verteilung der elektrischen Bodenleitfähigkeitsver-

hältnisse für unterschiedliche Tiefenlevel. Der Inphase-Anteil als auch der Out of Phase-Anteil können hier interessante Informationen liefern.

Geoelektrik

Rechnergestütztes Multielektrodenmessinstrument zur 2-D-/3-D-Erkundung

Die Voraussetzung aller Messungen ist die optimale Datenaufnahme. Hier ist insbesondere die Auflösung der Messdaten von Interesse.



Abb. 1
Multielektrodenmessgerät Campus Tigre

Abb. 2 (links)
Foto über von uns verwendete Edelstahlelektroden (V4-A) mit einem Durchmesser von 12 mm und einer halbkugelförmigen Spitze.

Nur dann, wenn die Elektroden eine entsprechende Ankopplung an den Untergrund besitzen und die Übergangswiderstände messbar gering sind, sind gute Daten erzielbar.

Als Messinstrument kommt bei uns für hochauflösende Kartierungen das Multielektrodenmesssystem TIGRE von CAMPUS zum Einsatz.

Der Messpunktabstand kann bei unterschiedlichen Anordnungen frei gewählt werden. Für die vorliegende Problemstellung werden Abstände der galvanisch angekoppelten Elektroden und Sonden von 1 - 2 m realisiert, um ein ausreichendes Auflösungsvermögen zu erreichen.

Eine Doppelsektion unserer Messanordnung besteht aus 64 Elektroden. Damit können je nach Elektrodenabstand (z.B. 5 m) Profillängen von 315 m erzielt werden. Die Auswahl der genauen Lage der einzelnen Sektionen kann erst vor Ort unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten festgelegt werden.

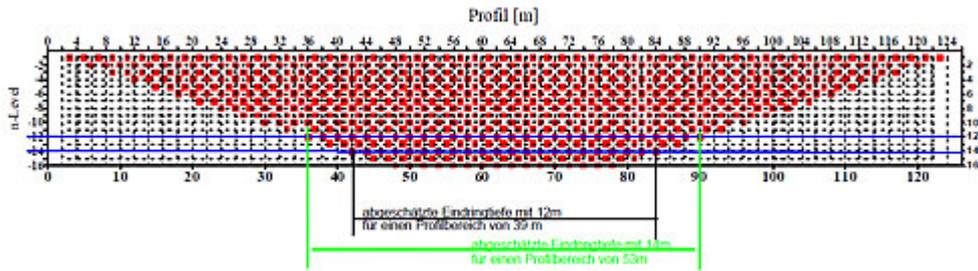


Abb. 3
Wennersektion mit $a = 2\text{ m}$ und 16 Tiefenlevel

Beispiel einer Multielektrodenauslage mit dargestellten Messpunkten

Eine qualitative Bewertung der Auflösung liefert Ward und für die Erkundungstiefe a : ROY & APPARAO und b: Barker

Konfiguration	Wenner	Schlumberger	Dipol-Dipol	Pol-Dipol	Gradient
Nutz-/ Störsignal	1	2	5	4	3
Laterale Auflösung	5	4	2	3	1
Schichtauflösung	1	1	2	2	5
Vertikale Störkörperauflösung	1	1	2	3	5
Einfluss der Neigung von Einlagerungen	2	2	4	5	1
Einfluss oberflächennaher Inhomogenitäten					
a: Bei Kartierung	3	3	2	1	5
b: Bei Sondierung	2	1	4	3	-
Einfluss des Reliefs im Untergrund	3	3	1	2	5
Erkundungstiefe für den horizontal geschichteten Untergrund bezogen auf die verschiedenen Konfigurationen					
a:	0,11 AB	0,125 AB	0,195 AN	0,13 AB	-
b:	0,17 AB	0,190 AB	0,250 AN	0,19 AB	-

Tabelle 1
1: Relativ beste Bewertung / 5: Relativ schlechteste Bewertung / -: Keine Angaben

Für die Erkundungstiefe der Pol-Pol-Konfiguration geben ROY & APPARAO 0,35 AM an. Die Messungen sind mit unterschiedlichsten Konfigurationen durchzuführen. Alle Sektionen sollten mit der Wenner-, Schlumberger-Konfiguration durchgeführt werden.

Leistungsparameter des von uns eingesetzten Messgerätes von Campus Typ Tigre:

- Eingangswiderstand $> 1 \text{ M } \Omega$
- Eingangsempfindlichkeit $10 \text{ } \mu\text{Volt}$
- Datenadaptive Messsignalverstärkung
- Signalstapelung
- Stabilisierung des Messstroms
- Anzahl der Zykluslänge wählbar
- Stabilisierte Synchronisation von Sende- und Empfangsteil
- Digitale statistische Signalanalyse der A/D-gewandelten Eingangssignale
- Automatische Driftkorrektur von Sondenpolarisationseffekten
- Kompensation unterschiedlicher Elektroden-Übergangswiderstände
- Low-Pass und Notch-Filter gegen Störspannungen
- Programmierbare Registrierung der Multielektrodenanordnung
- Widerstandsbereich von 0,01 bis $> 10^6 \text{ } \Omega$
- Relativer Fehler des elektrischen Widerstandes $< 1\%$
- Automatische Berechnung der scheinbaren spezifischen Widerstände
- Sofortige Anzeige der Messdaten und Messwerte über einen PC mittels R 232-Schnittstelle

Weitere qualitätssichernde Maßnahmen

Um der vorgegebenen Aufgabenstellung gerecht zu werden ist ein geeignetes Array von Profil- und Punktabständen zu wählen.

Vor und während der Messungen werden ständig kontrolliert:

- Übergangswiderstände und Eigenpotentiale an den Elektroden
- Störungen vagabundierender Ströme und deren Oberwellen von Industrieanlagen (50 Hz), Bahntrassen ($16 \frac{2}{3}$ Hz)
- Reproduzierbarkeit der Messdaten
- Einfluss meteorologischer Ereignisse auf die Messdaten
- Die Messprotokolle besitzen sämtliche Informationen der Messdurchführung (Böschungen, Gräben, Auffüllungen, Neigungen des Geländes usw.)
- Präliminäre Auswertung zur Qualitätssicherung mit hochwertiger Bearbeitungssoftware

Das Auflösungsvermögen und die Eindringtiefe hängen von verschiedenen Faktoren ab.

Das Auflösungsvermögen wird im Wesentlichen von der geometrischen Konfiguration der Auslagen bestimmt, während die Eindringtiefe insbesondere von dem Bodenwiderstand abhängt.

Das nachfolgende Beispiel zeigt eine 2-D-Messung im Saarland. Hier ist zu erkunden ob noch etwaige Reste einer mittelalterlichen Burganlage vorhanden sind. Reste eines Grabens deuten auf die ehemalige Existenz einer Anlage hin. Während elektromagnetische und geomagnetische Messungen keinerlei Hinweise auf mögliche Einlagerungen liefern konnten, zeigen die Modelle der aus den geoelektrischen Messungen gewonnenen Daten interessante Strukturen.

Besonders interessant sind die am Ende der Profile 1 + 3 isoliert auftauchenden niederohmigen Anomalien. Ob dieses Reste des alten Grabens sind, über den der Boden gegenwärtig entwässert wird, oder ob es sich dabei eventuell um verfüllte Hohlräume handelt, ist zu überprüfen.

Hier sind weiterführende Radarmessungen geplant, die Aufschluss über die geoelektrische Anomalie liefern sollen.

Beispiel einer Messung zur Erkundung mittelalterlicher Reste im Saarland

Burg Littermont [www.nalbach.de]

Über die Geschichte der Burg war bisher nichts Urkundliches aufzufinden. Angeblich nannte sich ein Adelsgeschlecht nach ihr. Eine Margarete von Littermont soll den Glockenzehnten in Nalbach gestiftet haben und im Chor der Kirche zu Nalbach begraben worden sein. Sie wird in einem Gedicht besungen, das seit 1720 überliefert wird. Sie war angeblich die letzte ihres Geschlechtes.

Auf dem Littermont muss tatsächlich eine Befestigung gestanden haben, wie die noch erhaltenen Spuren von drei Wällen mit Gräben und geringen Mauerresten ausweisen. Wegen des völligen Fehlens an urkundlichen Erwähnungen muss die Zerstörung jedoch schon sehr früh angenommen werden.

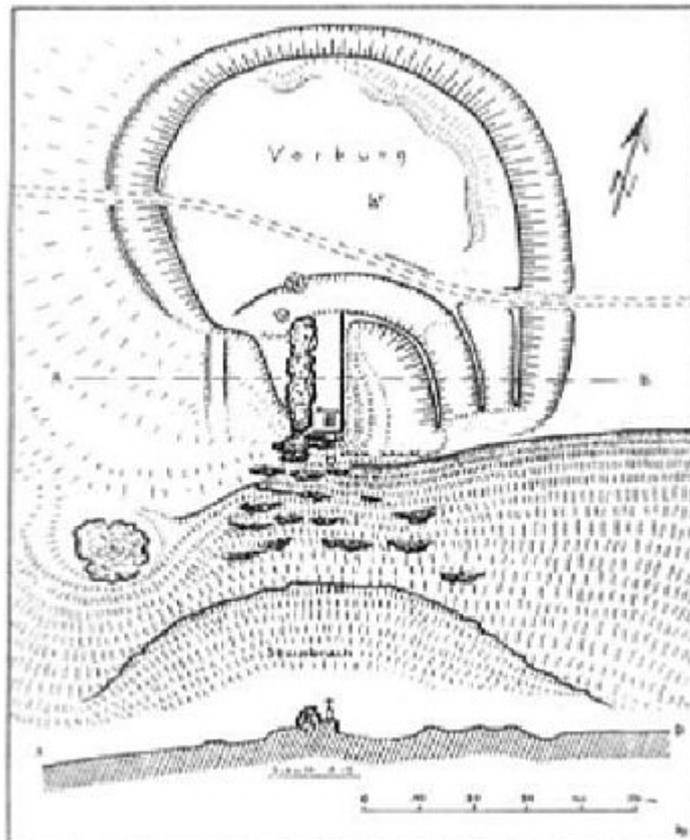


Abb. 4
Alter Lageplan des Liermonts

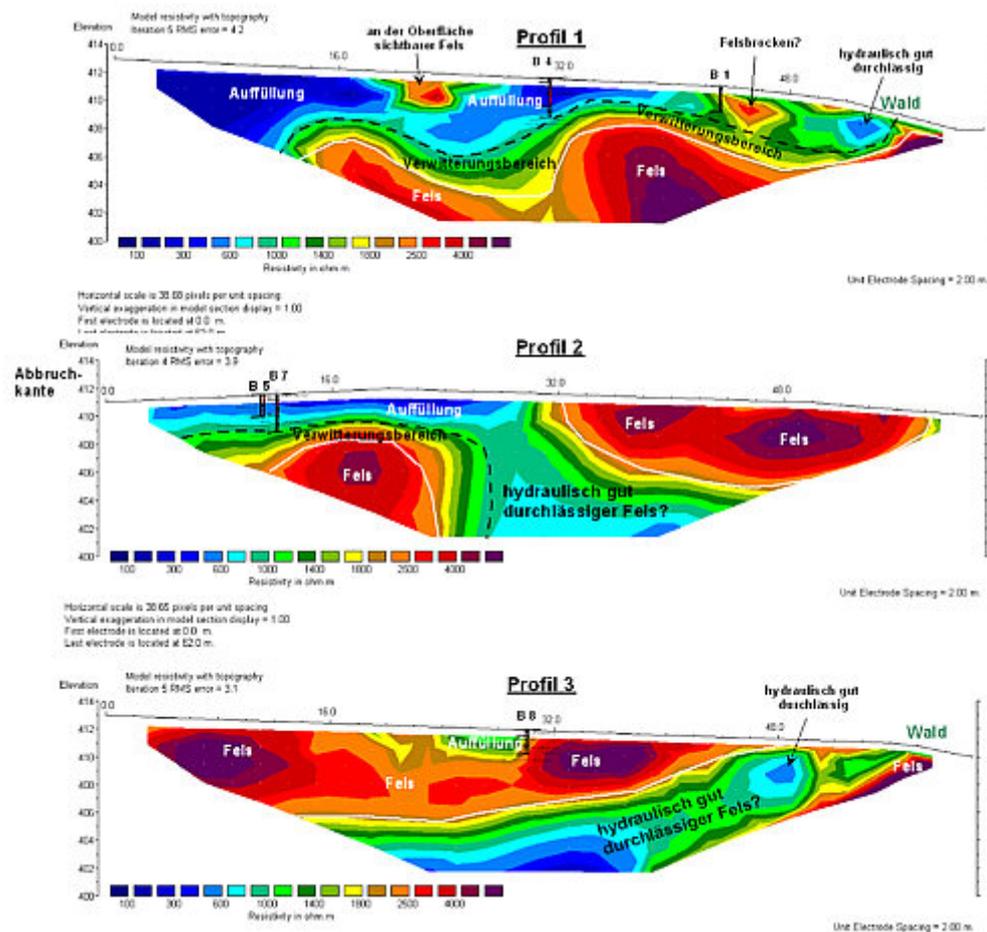


Abb. 5
Ergebnisse der geoelektrischen 2-D-Messungen auf dem Liermontplateau
Profilardarstellung. Meßgerät: Campus-Tigre. Meßdatum: 19.05.2006. Maßstab des Originals 1:250

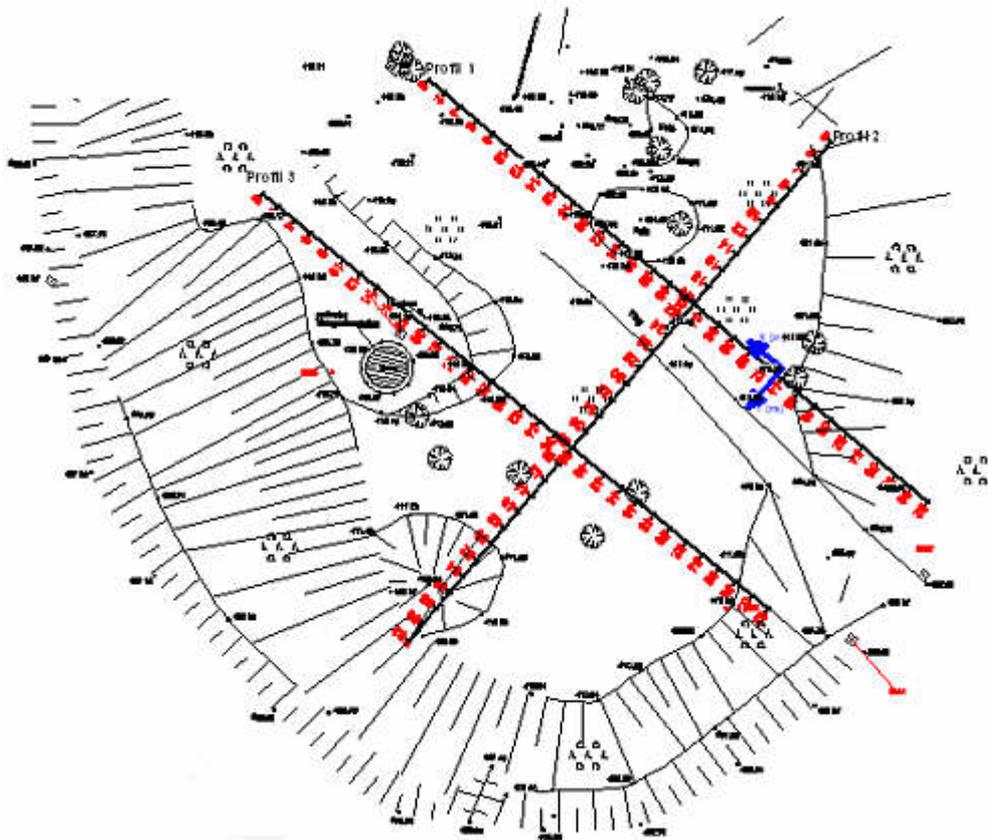


Abb. 6
Lage der Profile

Georadar

Das Radar bietet gegenwärtig das hochauflösendste Verfahren zur Bestimmung von Strukturen oder zur Objektortung im Untergrund und im Bauwerk durch die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen.

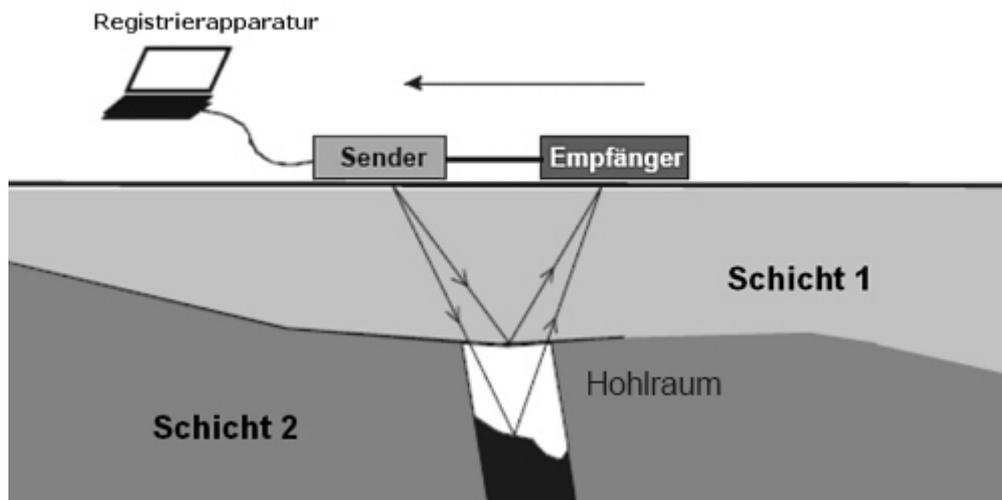


Abb. 7
Schemadarstellung des Messverfahrens GEORADAR

In der Archäologie ist die Erkundung von Bauwerksresten, Objektdetektion und verborgene bauliche Situationen häufig Ziel der Untersuchung.

Zur Datenaufnahme wird eine Sender-Empfänger-Kombination entlang einer Messlinie mit geeignetem Abstand über die zu vermessende Fläche gezogen. Die Daten können online am Bildschirm als Laufzeitdiagramm bewertet werden. In sehr dichter Folge wird gesendet und empfangen, so dass die Messung entlang der Messlinie als quasi kontinuierlich bezeichnet werden kann (Messpunktabstand einige mm bis einige cm).

Registriert wird die Signalamplitude in Abhängigkeit der Zeit als sog. Signalspur. Dabei wird die Amplitude grau- oder farbcodiert dargestellt. Durch Aneinanderreihung der Signalspuren erhält man ein Diagramm, in dem die Entfernung entlang der Messlinie über der Laufzeit aufgetragen ist. In diesem Radargramm - quasi ein Vertikaltiefenschnitt - zeigen sich die reflektierenden Strukturen als mehr oder weniger starke Signale.

Die Eindringtiefe elektromagnetischer Wellen hängt vom Bodenwiderstand und der Dielektrizitätskonstante in Abhängigkeit von der Sendefrequenz ab.

Anhaltsweise können nachfolgende Abschätzungen für Eindringtiefe angenommen werden:

- trockene Kiese und Sande 5 - 10 m
- gesättigte Kiese und Sande 2 - 5 m
- schluffige, feuchte Kiese/Sande 2 - 3 m
- bindiger, sehr trockener Boden 2 m
- bindiger, feuchter Boden u.U. über 1 m
- Gestein 5 bis über 10 m
- kompakter Dolomit, Marmor u.ä. über 20 m
- Süßwasser 4 bis 6 m

Zum Einsatz kommt bei uns ein Messgerät der neuesten Generation von der Firma IDS Type K2 System mit nachfolgenden Spezifikationen:

Maximale Anzahl von Meßkanälen	8
Impulsfrequenz	400 kHz
Messdynamik	0-9999 nsek.
Stapelanzahl	1 - 32768
Maximale Anzahl der Scans/Sekunde	850
Anzahl der Messungen je Scan	128 - 8192
Triggeroptionen	Manuell oder über die Zeit

Bevorzugt eingesetzt wird von uns eine Antenne mit Sendefrequenzen von 200 MHz und 600 MHz. Zur archäologischen Untersuchung bietet dies System ein Optimum an Informationen. Die vertikale Auflösung bei diesen Sendefrequenzen mit einer Wellenlänge von 50 cm und 16 cm liegt bei etwa einer halben Wellenlänge, also zwischen 28 cm bis 8 cm.

Zur Datenverarbeitung wird von uns das Programm REFLEXW von Sandmeier eingesetzt.

Die gemessenen Radargramme setzen sich aus dem Primärsignal (Sendesignal plus Oberflächenreflexion), dem Nutzsignal und dem Störsignal zusammen. Zur Isolierung des Nutzsignals dient die Datenverarbeitung der Maßstabsentzerrung sowie der Umwandlung der Laufzeiten- in Tiefenangaben. Bei einfachsten Messungen und klaren Daten kann ggf. auf Datenverarbeitung verzichtet werden. In der Regel ist aber eine Filterung zur Unterdrückung von stochastischem und kohärentem Rauschen sinnvoll, ohne dass damit der Aufwand zu hoch wird. Wichtig ist auch eine geeignete Darstellung der Radardaten. Verfeinerte Datenverarbeitungsschritte (z.B. Migration, Dekonvolution) erhöhen den Aufwand und sind meist nur bei speziellen Problemstellungen sinnvoll.

Beispiel einer Messung an einer Kirche in Brandenburg



Ziel der Untersuchungen war es, den Untergrund um und in der Kirche im Hinblick auf eventuelle Hohlräume oder Inhomogenitäten zu erkunden. Die Messungen innerhalb der Kirche erfolgten entlang von 8 Profilen. Fünf Profile (11 – 15) verliefen parallel zur Stufe der Empore mit dem Altar, drei senkrecht dazu (16 – 18).

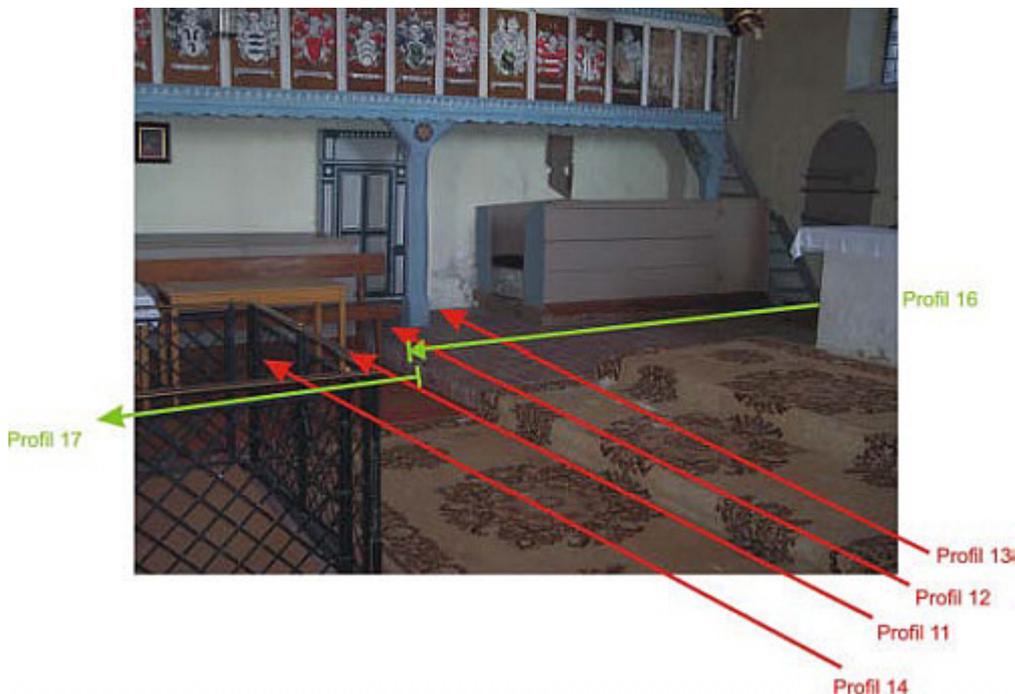


Abb. 9 Lage der Profile im Altarraum

Profil 15 verläuft hinter dem Altar in 0,5 m Abstand parallel zur Außenwand. Es zeichnet sich in ca. 70 cm Tiefe eine ebene, durchgehende

Schicht ab, welche die Unterkante des Kirchenbodens darstellt. Ansonsten sind keine Auffälligkeiten zu erkennen.

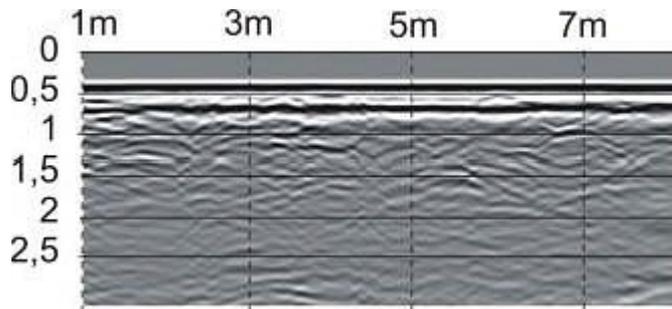


Abb. 10
Radargramm Profil 15

Auf allen senkrecht dazu vermessenen Profilen (11 – 14) zeichnet sich auf den ersten 3 m eine stark reflektierende Schicht in 2,5 m Tiefe ab, die dann ausdünnert. Auf Profil 15 hinter dem Altar ist diese Schicht nicht mehr anzutreffen. Wobei es sich bei der oben genannten Schicht handelt, kann nicht gesagt werden.

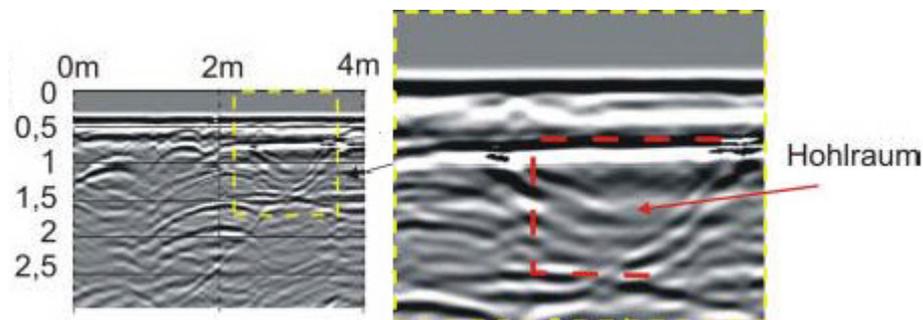


Abb. 11
Radargramm Profil 16

Auch bei den Profilen 11 – 14 läßt sich, wenn auch nicht ganz so regelmäßig wie bei Profil 15, die Unterkante des Kirchenbodens erkennen.

Im Bereich von Profilmeter 7 ist eine Struktur zu erkennen, die sicherlich nicht natürlichen Ursprungs ist, sondern künstlich angelegt wurde.

Man kann anhand der hohen Reflektivität eine Steinplatte dicht unter dem Kirchenboden vermuten.

Die vermutete Platte dicht unter dem Kirchenboden in ca. 60 – 70 cm Tiefe bildet eine sehr große Hyperbel aus, die auf Profil 11 - 13 bis zu Profilmeter 2,5 zu beobachten ist.

Darunter zeichnet sich eventuell ein Hohlraum oder eine Kammer mit einer Höhe von etwa 0,8 m ab. Die Unterkante ist ebenfalls von einer ebenen stark reflektierenden Schicht in ca. 1,30 – 1,50 m Tiefe gekennzeichnet.

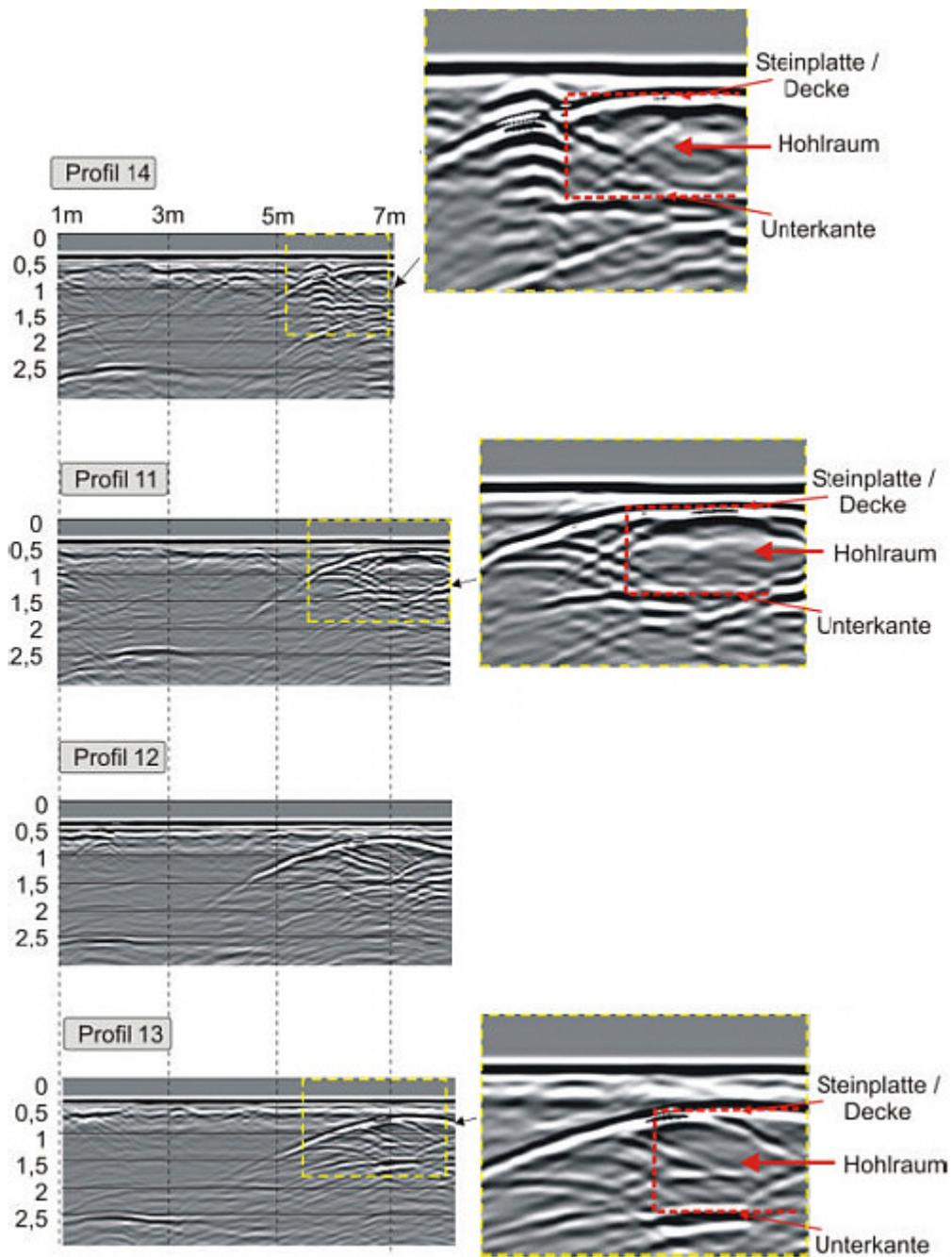


Abb. 12
Radargramme Profil 11 bis 14

In den beiden Gängen zwischen den Kirchenbänken wurde jeweils ein Profil untersucht (Profil 17 und 18).

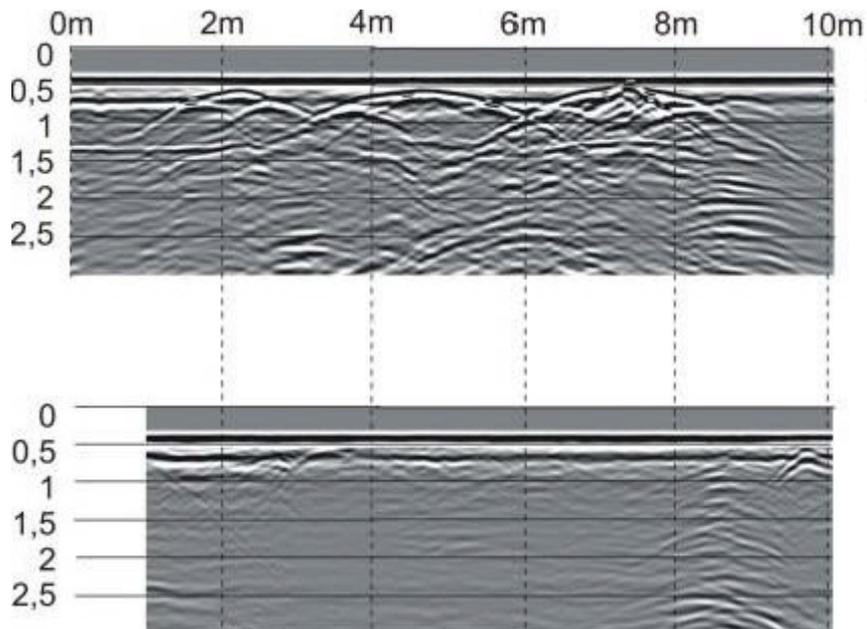


Abb. 13
Radargramme Profil 17 (oben) und 18 (unten)

Profil 17 stellt bis auf einen seitlichen Versatz von ca. 0,5 – 1 m die Verlängerung von Profil 16 dar. Der Untergrund ist wie bei Profil 16 sehr inhomogen. Die Vielzahl an starken Reflexionshyperbeln deutet auf das Vorhandensein von größeren einzelnen Steinen o.ä. hin. Auf den ersten beiden Profilmetern ist wieder jeweils eine stark reflektierende waagrecht verlaufende Schicht in ca. 0,7 m Tiefe und in etwa 1,50 m Tiefe zu erkennen. Ob diese Struktur in Verbindung zu dem vermuteten Hohlraum steht oder es sich sogar um eine Fortsetzung dessen handelt, kann nur vermutet werden.

Unter dem anderen Gang bei Profil 18 bildet sich in ca. 60 cm Tiefe die Unterkante des Kirchenbodens als ebener Reflexionshorizont ab. Im Gegensatz zu Profil 17 sind hier erstaunlicherweise kaum Reflexionen zu beobachten. Lediglich bei Profilmeter 9 bis 10.

Ergebnis der Messungen

Die untersuchte Kirche in Königsberg wurde auf einer ca. 1,5 m mächtigen aufgeschütteten Fläche errichtet. Die Aufgabenstellung war, evtl. anormale Bereiche im Untergrund zu lokalisieren, die in Verbindung mit den Setzungen im Bereich der Stirnseite stehen könnten. Im Bereich der Längsprofile 1 - 3 (rechts der Kirche – siehe Abb. 5) konnten keine markanten Strukturen oder Inhomogenitäten ermittelt werden, die eine Ursache für Setzungen des Mauerwerkes darstellen könnten.

Die Profile 4 – 7 verliefen parallel zur Stirnseite der Kirche. Lediglich auf dem 4 m von den Stützpfeilern der Kirche entfernten Profil Nr. 7 wurde im Bereich von Profilmeter 1 bis 11 in 2 – 3 m Tiefe eine "Beckenstruktur" lokalisiert, die jedoch auf den Parallelprofilen in Richtung Kirche abnimmt. Die Unterkante konnte nicht mehr erfasst werden, da sie tiefer als 3 m liegt. Diese von beiden Seiten schräg einfallende Struktur ist durch starke Reflexionen abgegrenzt. Es könnte sich hierbei auch um

eine ehemalige Rinne unterhalb der Aufschüttung handeln. 1 m vor den Stützpfeilern (Profil 5 und 4) ist diese Struktur nicht mehr zu erkennen.

Diese Rinnenstruktur könnte sich auch um die Hausecke herum an der linken Längsseite der Kirche fortsetzen (Profil 8 – 10). Die die "Rinne" nach unten begrenzende Schicht von Profil 7 verläuft hier in einer Tiefe von ca. 2,5 – 3 m.

Innerhalb der Kirche ist der Bereich links vor dem Altar auffällig. Hier könnte sich ein Hohlraum in einer Tiefe von etwa 0,6 m bis 1,4 m befinden. Das Profil entlang der gefährdeten Stirnseite zeigt keinerlei Auffälligkeiten.

Die Profile 11 – 14 und Profil 18 weisen alle im Bereich der ersten Profilmeter in ca. 2,5 m Tiefe einen deutlichen Reflexionshorizont auf. Ob es sich hierbei um einen Zusammenhang mit den angenommenen Rinnenstrukturen der Profile 8 bis 10 außerhalb der Kirche handelt, kann nicht gesagt werden.

Geoarchäologische Beiträge zur Landschafts- und Siedlungsforschung

Böden als schützenswerte Archive der Natur- und Kulturschichte

Böden entwickeln sich unter dem Einfluss der natürlichen Umwelt und werden vom Menschen verändert. In ihnen finden sich deshalb Spuren der Klima- und der Vegetationsentwicklung sowie der Landnutzungs- bzw. Siedlungsgeschichte, die sich sehr lange erhalten können. Sie bilden damit wertvolle Archive, deren Informationen sich unter geeigneten Bedingungen entschlüsseln lassen. Diese Entschlüsselung geschieht mit unterschiedlichen Methoden, wobei sowohl Archäologen als auch Geowissenschaftler - insbesondere Bodenkundler - beteiligt sind. Dabei unterscheidet sich der Blickwinkel der beiden Disziplinen häufig. Während im Mittelpunkt archäologischer Forschung die Wirkung des Menschen steht, sind es in der Bodenkunde häufig gerade die anderen Einflussfaktoren auf die Bodenbildung, die interessieren. Das zeigt sich auch bei der Feldarbeit. Während der Bodenkundler häufig die Aufnahme eines Bodenprofils an anderer Stelle sucht, weil an dieser der Boden "gestört", also durch menschlichen Eingriff gleich welchen Alters verändert worden ist, endet die archäologische Untersuchung häufig beim "Anstehenden", dem vom Menschen vermeintlich nicht mehr Veränderten.

Obwohl bei geoarchäologischen Fragestellungen die disziplinäre Trennung bereits an Bedeutung verliert, ist der Schutz dieser Archive weiterhin disziplinär organisiert. Während unter dem Begriff Bodendenkmal archäologische Werte in Böden seit langem geschützt sind, ergeben sich nun seit 1999 mit dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) Möglichkeiten für die Sicherung weiterer im Boden gespeicherter Informationen. In den einzelnen Bundesländern sind deshalb schützenswerte Archivböden benannt worden, sowie Methoden zur Lokalisierung und zur Bewertung dieser Böden vorgeschlagen worden. Für Brandenburg ist eine offene Liste erstellt worden, in der Archive der Naturgeschichte, solche der Kulturgeschichte und als Sonderfall Referenzböden (hier nicht aufgeführt) unterschieden werden (Tab. 1). Alle aufgeführten Böden sind von Bedeutung für Fragen der Geoarchäologie, eine Reihe von ihnen war bereits Gegenstand interdisziplinärer Forschung und steht in direktem Bezug zur Siedlungsgeschichte. (vgl. SCHATZ 2005)

Böden als Archive der Naturgeschichte	Böden als Archive der Kulturgeschichte
Böden auf tertiären Sedimenten	Naturnahe Moore mit ihren Pollen und Großresten als Archiv der Kulturgeschichte
Böden der Blockpackungen der Endmoränen	
Schwarzerden der Uckermark	Alt-Kippen des ehemaligen Braunkohlenbergbaus mit eigenständiger Bodenentwicklung von wissenschaftl. Bedeutung (vor allem wenn sie datiert sind)
Reliktische Dünenfelder mit expositionsbedingt unterschiedlicher Bodenbildung	
Auen (Böden der Überflutungsausien)	Wölbäcker als historische Flur- und Nutzungsform
Kalkmoore (Kalkniedermoore, Kalkanmoorgley)	Kolluvien mit Archivfunktion
Raseneisenstein (Podsolgleye mit Vorkommen von Ocker oder Raseneisenstein)	Böden historisch alter Wälder
Naturnahe Moore mit ihren Pollen und Großresten als Archiv der Naturgeschichte	

Tabelle 1
Liste schützenswerter Archivböden in Brandenburg (Dotterweich/Schmidt 2000)

Beispiele geoarchäologischer Untersuchungen

Das Beispiel Glasow (Uckermark)

Im Zusammenhang mit einer archäologischen Grabung des Deutschen Archäologischen Instituts wurden im Einzugsgebiet einer vorzeitlichen Siedlung geoarchäologische Untersuchungen durchgeführt. Außer bodenkundlich-sedimentologischen Feld- und Labormethoden kamen unterschiedliche Datierungsmethoden (14C-Datierung von Torf und Holzkohle, IRSL-Datierung des Sedimentationszeitpunktes bzw. des Zeitpunkts der letzten Bodenbearbeitung) zur Anwendung.

Das untersuchte Einzugsgebiet befindet sich am Abhang der Oder-Randow-Grundmoränenplatte zur Randowniederung in der südlichen Uckermark nahe des Ortes Glasow und ist 5,5 ha groß. Am Unterhang und bis in die Niederung reichend hat sich das an den Hängen des Einzugsgebiets erodierte Bodenmaterial akkumuliert und einen 0,55 ha großen kolluvialen Schwemmfächer ausgebildet, durch den zwei sich im Zentrum des Schwemmfächers kreuzende Profilschnitte angelegt wurden. Beide Schnitte (Abb. 1, Abb. 2) durchschneiden vertikal die kolluvialen Böden bis auf den präholozänen Untergrund und reichen horizontal nahezu an den Rand des Schwemmfächers.

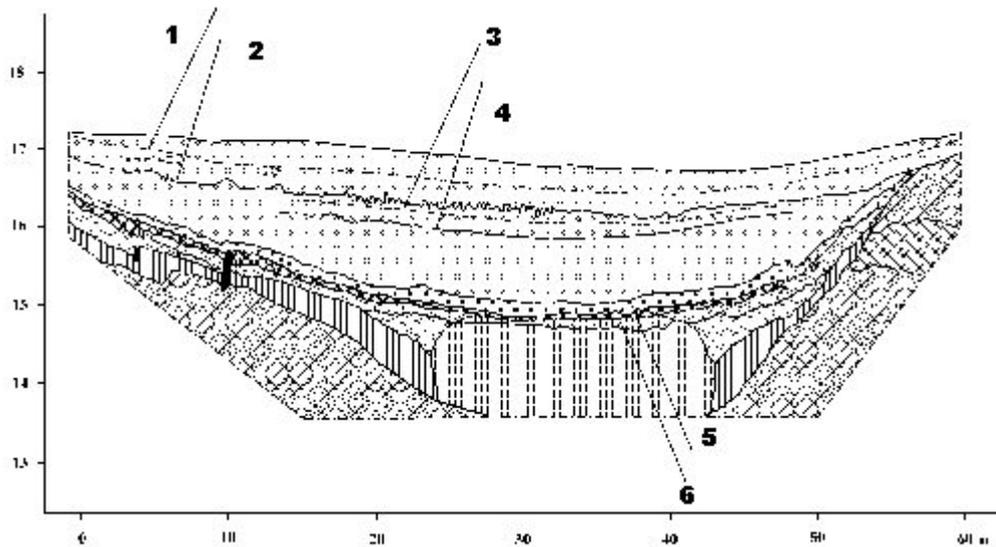


Abb. 1

S-N-Schnitt durch den Schwemmfächer

1: Oberfläche 1935

2: Spur des Dampfpfluges

3: Oberfläche zum Zeitpunkt der Bodenbearbeitung im Spätmittelalter

4: Spätmittelalterliche Hakenflugspur

5: M2 (12./13. Jahrhundert)

6: M1 (Eisenzeit ~200BC)

In den lehmig-sandigen kolluvialen Sedimenten, die im Schwemmfächerzentrum eine Mächtigkeit von etwa 2 m erreichen, hebt sich über glazifluvialen Sanden eine Abfolge von drei humoseren und deshalb dunkleren Schichten ab (Abb. 1), für die mit Hilfe FTIR-spektroskopischer Untersuchungen (Dr. R. Ellerbrock, Zentrum für Agrarlandschaftsforschung) für die unterste und für die oberste Schicht (M1, M2) eine Entstehung unter Ackernutzung, für den mittleren dunkleren Horizont (M1Ah) unter einem lichten Buchenwald wahrscheinlich gemacht werden kann. 14C- und IRSL-Datierung an einem Befund einer wannenförmigen Grube im Profil, die das älteste untersuchte Kolluvium M1 schneidet, datieren dieses in die Eisenzeit (~200 BC).

Die jüngeren Kolluvien lassen sich im Querprofil (Abb. 2) weiter differenzieren. So sind zwei charakteristische Schichtgrenzen nachweisbar, die eindeutig als Pflugspuren identifiziert werden können. Ein Keramikbruchstück und die IRSL-Datierung stellen die ältere in das Späte Mittelalter. Die jüngere, deren Spur eine auffallende Regelmäßigkeit aufweist, kann nach Auskunft des Bewirtschafters einem Dampfpflug zugeordnet werden, der hier 1935 einmalig eingesetzt wurde. Unter Zugrundelegung der jeweiligen Bearbeitungstiefe zeitgemäßer Bodenbearbeitungsgeräte lassen sich über den Pflugspuren die zugehörigen Oberflächen zum Zeitpunkt der Bearbeitung rekonstruieren.

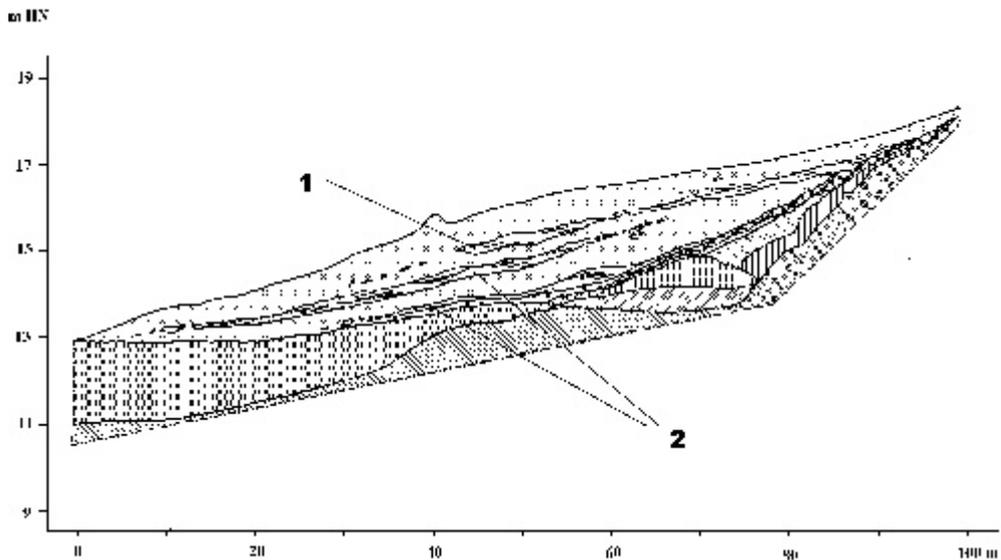


Abb. 2

W-E-Schnitt durch den Schwemmfächer

1: (Starkes) Einzelereignis am Ende des 18. Jahrhunderts

2: (Starke) Einzelereignisse der 1. Hälfte des 14. Jahrhunderts

Eine weitere Differenzierung der Kolluvien ergibt sich aus dem Nachweis von drei sehr starken Einzelereignissen, die sich als relativ humusarme, stark sandige und fluvial geschichtete Sedimente (M3, M5, M7) abzeichnen (Abb. 2). Die Menge des verlagerten Bodens sowie das Material, das bis zu 2 cm große Kiese enthält, belegen extrem starke Niederschlagsereignisse als Ursache. Mit der IRSL-Datierung lassen sich die beiden älteren Ereignisse in das Späte Mittelalter datieren, das jüngere in das 18. Jahrhundert. Bezieht man historische Quellen zu außergewöhnlichen Witterungsereignissen ein, lässt sich die Datierung für die älteren in die erste Hälfte des 14. Jahrhunderts und für das jüngere an das Ende des 18. Jahrhunderts einengen. Nach den verheerenden Unwettern in der ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts fiel das Einzugsgebiet wüst, bewaldete sich und wurde wahrscheinlich bis zur erneuten Rodung im 18. Jahrhundert zur Waldweide genutzt. Die zugehörige Oberfläche lässt sich auch hier analog den Pflugspuren rekonstruieren.

Den insgesamt neun differenzierten Kolluvien lassen sich damit einzelne Landnutzungsphasen zuordnen, aus der mittleren Mächtigkeitzunahme in den Profilen und der Fläche des zugehörigen Schwemmfächers die Volumina berechnen und unter Einbeziehung der zeitlichen Zuordnung die Abtragsdynamik graphisch darstellen (Abb. 3). Der episodische Charakter der Abtragsereignisse zwischen den einzelnen Phasen ist durch einen stufenartigen Verlauf der Kurve zwischen den nachgewiesenen Schichtgrenzen angedeutet.

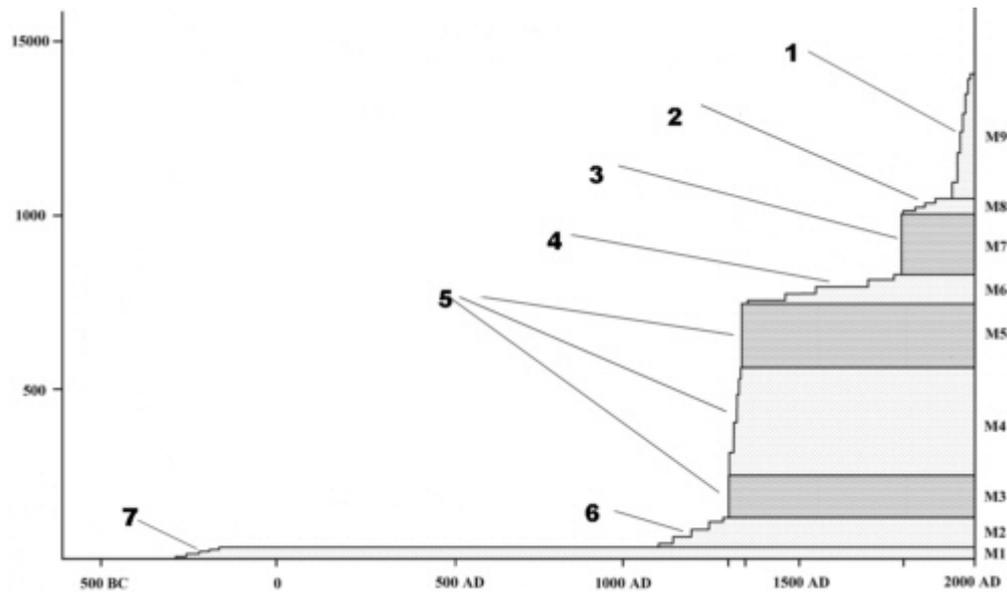


Abb. 3

Erosions-Akkumulationsdynamik im Einzugsgebiet bei Glasow seit Beginn der Landnutzung

1: 1935 - 1995

2: ~1800 bis 1934

3: Starkregenereignis Ende des 18. Jahrhunderts

4: Waldweidephase 2. Hälfte des 14. Jahrhunderts bis 1780

5: Starkregenphase 1. Hälfte des 14. Jahrhunderts (~30 a)

6: 12./13. Jahrhundert

7: Eisenzeit (~100 a)

Die Graphik zeigt deutlich die hohe Bedeutung des extrem starken Abtrags in Folge der witterungsbedingten Starkregenereignisse in der ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts und am Ende des 18. Jahrhunderts für die Reliefentwicklung. Während in den Ackerbauphasen der Eisenzeit und des 12./13. Jahrhunderts der Abtrag relativ gering bleibt, nimmt er im 20. Jahrhundert infolge moderner Landnutzungsmethoden sehr stark zu. Eine schneller fortschreitende Zerstörung archäologischer Befunde besonders an den Oberhängen und Überschüttung an den Unterhängen sowie an den Rändern der Talauen ist die Folge. (vgl. SCHATZ 2002a)

Das Beispiel Neuenhagen (Neuenhagener Oderinsel)

Die Umgebung und die Grabungsflächen einer Grabung des Deutschen Archäologischen Instituts (Leitung E. Gringmuth-Dallmer) wurden geoarchäologisch untersucht. Der Fundplatz befindet sich auf der Neuenhagener Oderinsel etwa einen Kilometer nordöstlich von Neuenhagen und 1,5 km südlich des alten Oderarms auf einer leichten Erhöhung in 3-4 m HN am Rand der Aue. Im Rahmen der bodenkundlich-sedimentologischen Feld- und Laboruntersuchungen wurden Keramikfragmente von Chr. Goedicke (Rathgen-Forschungslabor, Berlin) TL-datiert.

Von der archäologischen Grabung wurden auf einer etwa 700 m² großen Fläche Teile einer früheisenzeitlichen Siedlung der Göritzer Gruppe mit Ofenanlagen, Hausresten, Feuerstellen und Gruben freigelegt, die ganz überwiegend der Besiedlung in Göritz I (S. GRIESA) zuzuordnen sind. Als Besiedlungsdauer ist ein Zeitraum von etwa 100 Jahren anzunehmen, während der die Siedlung aber wohl nie als Ganzes bewohnt war. Im Profil zeichnet sich die früheisenzeitliche Siedlung als eine bis zu 35 cm

mächtige dunkel-humose Schicht mit zahlreichen Keramikfunden deutlich ab (Abb. 4). Diese Schicht konnte auch im Bohrgut deutlich identifiziert werden, so dass durch das systematische Abbohren entlang zweier Transekte die Ausdehnung der gesamten früheisenzeitlichen Siedlung in einer Größe von 300 x 500 m erfasst werden konnte.



Abb. 4
Früheisenzeitliche Hauptkulturschicht mit Pfostenlöchern und Ausbildung eines GoCv-Horizonts in den liegenden äolischen Sanden

Zusätzliche Einstiche ergaben, dass die im Grabungsbereich aufgeschlossenen flachen Längsdünen unter der früheisenzeitlichen Siedlungsfläche liegen, andererseits aber auch die Kulturschicht übersandet wurde und deshalb Oberflächen auf zwei Niveaus aufweist. Unter der früheisenzeitlichen Kulturschicht wurden weitere ältere Fundhorizonte festgestellt, die aufgrund enthaltener Keramik oder Holzkohle datiert werden konnten und die ebenfalls von Sedimenten überdeckt wurden. Charakteristische Schichtungsverhältnisse lassen Hypothesen zur Nutzung zu. Die Wirkung von Stau- und Sickerwasser veränderte die Sedimente vor allem durch eine ausgeprägte Eisendynamik und ließ in den Sedimenten Bodenhorizonte entstehen. Die vollständige Stratigraphie gibt Tab. 2 wieder.

Schicht	Sedimentationsprozess	Bodenhorizont	Anthropogene Eingriffe nach Sedimentation
10. rezenter Pflughorizont	äolisch	Ap	Acker
9. grauer, sehr schwach humoser Sand	äolisch	AlSw	
8. schwach humose Kulturschicht	äolisch	MfAp AlSw	Acker- oder Gartenland
7. grauer, sehr schwach humoser Sand	äolisch	AlSw	
6. früheisenzeitliche Hauptkulturschicht	anthropogen	fAp BvtSd	Siedlungstätigkeit (Gartenland, Auftragsboden)
5. äolischer Sand	äolisch	GoCv	
4. graue Schicht	äolisch	(Go)Mp fAp	Acker- oder Gartenland (umgegraben)
3. Sandpaket mit Hydromorphie-Merkmalen	äolisch	Go Gr	
2. humos gebänderte Schicht	fluvial	MGr	Acker- oder Gartenland
1. Geschiebelehm	glazifluvial	Gr	

Tabelle 2
Stratigraphie der Boden-Sediment-Folge an der Grabung Neuenhagen

Interpretation

Am Grabungsstandort Neuenhagen konnten drei Siedlungsphasen nachgewiesen werden, auf die jeweils kurze Phasen mit mehreren Winderosionskatastrophen folgten. Wahrscheinlich jeweils unmittelbar danach trat das Ende der Landnutzung und der Siedlungstätigkeit ein. Die landschaftsökologischen Wirkungszusammenhänge können für die früheisenzeitliche Besiedlung genauer beschrieben werden:

Im Zusammenhang mit der Anlage der früheisenzeitlichen Siedlung in Görnitz I wurden weite Flächen in der Umgebung der Siedlung gerodet und entweder ackerbaulich oder zur Viehweide genutzt. In Folge einer

weitflächigen Ausräumung der Landschaft wurde Winderosion ermöglicht und durch mehrere starke Stürme Feinmaterial von den genutzten Flächen im Westen der Neuenhagener Oderinsel sowie wahrscheinlich auch vom ebenfalls besiedelten östlichen Rand der Barnimplatte abgetragen und in den Leelagen der ostbrandenburgischen Platte an den nordöstlichen Flanken der Neuenhagener Insel, wahrscheinlich auch am Westrand des Oderbruchs, flächenhaft und als ausgeprägte Längsdünen akkumuliert. Dabei wurden mehrfach die genutzten Flächen sowie die Siedlungsfläche übersandet. Als Folge wurden Teile der Siedlung aufgegeben sowie wahrscheinlich, um die Bodenfruchtbarkeit auf den hausnahen Flächen zu erhalten, durch die Siedler wiederholt humoses Material auf die unfruchtbaren Sande aufgebracht.

Nach einer Dauer von etwa 100 Jahren wurde die Siedlung von mächtigen Dünen überschüttet und in Göritz II vollständig aufgegeben. (vgl. SCHATZ 2002b)

Literatur

Dotterweich, M., Schmidt R., (2000): Funktionen des Bodens als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte. Teilbericht in: Jessel, B. et al.: Bodenbewertung für Planungs- und Zulassungsverfahren im Land Brandenburg. Bericht im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg Potsdam, Bd. I/ II

Schatz, T. (2000): Untersuchungen zur holozänen Landschaftsentwicklung Nordostdeutschlands, ZALF-Bericht 41, 201 S., Müncheberg, Dissertation

Schatz, T. (2002a): Glasow, Uecker-Randow-Kreis - 3.3.3.2 Die bodenkundlich-landschaftsökologischen Untersuchungen, in: Gringmuth-Dallmer/ L. Leciejewicz (Hrsg.): Forschungen zu "Mensch und Umwelt im Odergebiet in vor- und frühgeschichtlicher Zeit", Römisch Germanische Forschungen Bd. 60, S. 100-107

Schatz, T. (2002b): Die Neuenhagener Oderinsel, Lkr. Märkisch-Oderland - 3.6.3 Die bodenkundlich-landschaftsökologischen Untersuchungen, in: Gringmuth-Dallmer/ L. Leciejewicz (Hrsg.): Forschungen zu "Mensch und Umwelt im Odergebiet in vor- und frühgeschichtlicher Zeit", Römisch Germanische Forschungen Bd. 60, S. 138-142

Schatz, T. (2005): Ansätze zum Schutz von Archivböden in Brandenburg, in: Fachhochschule Eberswalde; Landesforstanstalt Eberswalde, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (Hrsg.): 175 Jahre Lehre und Forschung in Eberswalde, S. 212-219

Schatz, T. (2007): Schutz und Bedeutung von Kolluvien als Archive der Kulturgeschichte in Brandenburg, in: Jeute, G. H., Schneeweiß, J., Theune, C. (Hrsg.): Aedificatio terrae. Beiträge zur Umwelt- und Siedlungsarchäologie Mitteleuropas, Festschrift für Eike Gringmuth-Dallmer zum 65. Geburtstag, Internationale Archäologie - Studia honoraria 26, Rahden/Westfalen, S. 307-311

Klimakurven des letzten Eiszeitzyklus

Dass wir heute über eine sehr genaue Stratigraphie der Eiszeiten verfügen, ist vor allem zwei Pionieren der Paläoklimatologie zu verdanken. In den Vierzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts lieferte Milutin Milankovitch die theoretische astronomische Grundlage für die Entstehung der Eiszeiten. Er berechnete, dass Veränderungen der Orbitalparameter und die damit variierende Sonnenstrahlungsintensität, die die Erdoberfläche erreicht, den regelmäßigen Wechsel von Warm- und Kaltzeiten bedingen, die sogenannten Milankowitch-Zyklen. Dabei bewirken zyklische Änderungen der Erdbahnparameter zyklische Änderungen des globalen Klimas ca. alle 19/23, 41 und 100 Tausend Jahre, entsprechend zyklischer Änderungen der der Präzession, der Erdschiefe und der Exzentrizität der Erdumlaufbahn.

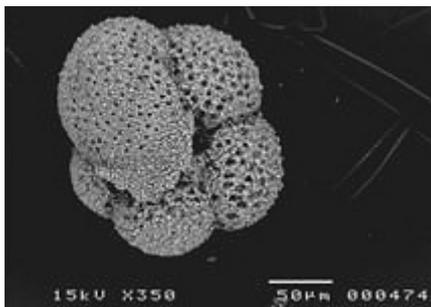
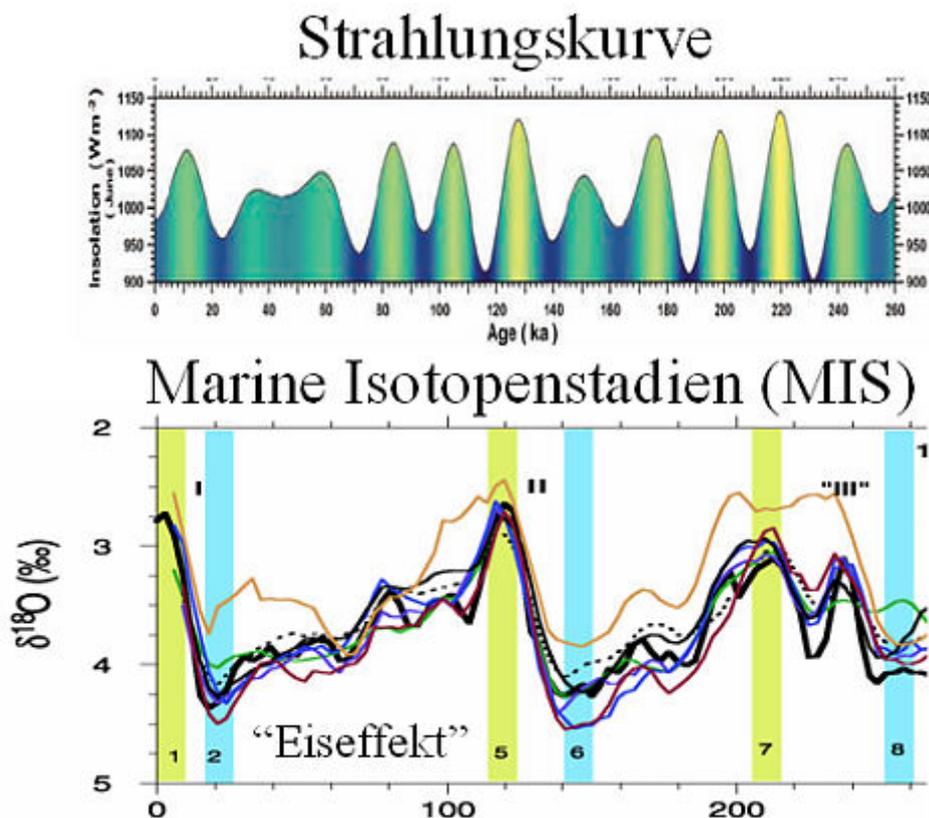


Abb. 1
Marine Sauerstoffisotopen- und Strahlungsintensitätskurven der letzten beiden Eiszeitzyklen. Die lateinischen Zahlen bezeichnen die marinen Sauerstoffisotopenstadien (MIS).

Abb. 2 (links)
Kalkschale einer subpolaren planktonischen Foraminifere

Gleichzeitig arbeiteten mehrere Physiker sowohl in Europa als auch in den USA daran, die Sauerstoffisotopenverhältnisse an den Kalkschalen verschiedener mariner Organismen massenspektrometrisch zu messen mit dem Ziel Meerestemperaturen vergangener Zeiten zu rekonstruieren. Da Sauerstoffisotopen wie alle stabilen Isotopen beim Übergang einer Substanz in eine andere, also auch bei der Kalkfällung aus Meerwasser, in Abhängigkeit von der Temperatur fraktionieren, könnte man die Sauerstoffisotopenverhältnisse als "Paläotemperatur-Proxy", quasi als Paläothermometer, nutzen. Wegen ihrer weiten Verbreitung im Ozean und ihrer Häufigkeit in marinen Sedimenten eignen sich für solche Untersuchungen besonders die Kalkgehäuse von Foraminiferen (Abb. 2). Diese einzelligen Organismen stellen sowohl einen wichtigen Bestandteil des marinen Zooplanktons als auch am Meeresboden benthisch lebende Formen, so dass hier Aussagen über oberflächennahe wie auch über bodennahe Wassermassen ermöglicht werden. Neben Foraminiferen bieten auch andere kalkausscheidende Organismen wie Korallen hochauflösende marine d18O-Archive.

Massenspektrometrisch gemessen wird dabei das Verhältnis des schweren 18O-Isotops zum leichten 16O-Isotop im CO₂, das bei der Auflösung des Kalkes in Phosphorsäure entsteht, relativ zu einem Standardgas.

Man war dabei zunächst davon ausgegangen, dass im Meerwasser selbst die Isotopenzusammensetzung über lange Zeiträume hinweg weitgehend konstant sein müsse und somit überwiegend ein Temperatursignal zu erwarten sei. Die ersten Sauerstoffisotopenkurven aus karibischen Tiefseekernen, die an planktonischen Foraminiferen gemessen wurden, zeigten einen zyklischen Wechsel zunehmender und abnehmender Sauerstoffisotopenverhältnisse, die folgerichtig überwiegend als Temperaturschwankungen des karibischen Oberflächenwassers interpretiert wurden. Schließlich war es Sir Nicholas Shackleton, ein britischer Geologe und Klimatologe, der anhand von ähnlichen zyklischen d18O-Schwankungen in Foraminiferenschalen aus Sedimentkernen aus dem ständig kalten pazifischen Tiefseewasser im Pazifik erkannte, dass die Sauerstoffisotopenzusammensetzung im Meer sich mit den Eiszeiten und dem Anwachsen und Schrumpfen der Eisschilde (Eisvolumeneffekt) zyklisch alle 100, 41, 19/23 Tausend Jahre geändert hat und diese Änderungen mit den Änderungen der Erdbahnparameter korrelieren (Hays, Imbrie and Shackleton, 1976). Demnach sind die Eiszeiten tatsächlich sehr regelmäßig getaktet. Die d18O-Kurven folgen dabei einem asymmetrischen Sägezahnmuster: alle 100.000 Jahre setzt eine Eiszeit allmählich ein, unterbrochen werden die langen Eiszeiten von Zwischen-Eiszeiten wie zuletzt das Marine Isotopenstadium (MIS) 3, und enden mit einem raschen Übergang in eine Warmzeit (Abb. 1).

Diese Zyklen lassen sich in marinen Sedimentkernen über mehrere Millionen Jahre bis ins Oligozän über die letzten dreißig Millionen Jahre lückenlos zurückverfolgen und bilden damit die Grundlage für die Stratigraphie mariner Sedimente. Die marine Sauerstoffisotopenstratigraphie stützt sich dabei auf global integrierte Sauerstoffisotopenkurven, wobei ausgehend von unserer heutigen Warmzeit, dem Marine Isotopenstadium (MIS) 1, jeweils ungerade Zahlen Interglaziale und gerade Zahlen Glaziale bezeichnen (Marine Isotopenstadien = MIS).

Der globale Eisvolumeneffekt bewirkt dabei, dass das Meerwasser in Eiszeiten isotopisch jeweils schwerer wird, weil in den Eisschilden bevorzugt die leichten ^{16}O -Isotopen weggespeichert werden. Mehrere Ansätze wurden genutzt um diesen Effekt zu quantifizieren. Gerade Sauerstoffisotopenkurven aus dem Pazifik, wo die Temperatur auch in Warmzeiten nahe dem Gefrierpunkt bleibt, sind dazu besonders geeignet. Zuletzt wurden maximale $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im letzten Hochglazial vor ca. 21.000 - 18.000 Jahren vor heute erreicht. Das Meerwasser war damals gegenüber heute um etwa 1.2‰ $\delta^{18}\text{O}$ angereichert und der Meeresspiegel lag 120 m unter dem heutigem Niveau.

Seither hat sich das Sauerstoffisotopensignal wohl zum meist genutzten "Proxy" (Stellvertreter) der marinen Paläoklimatologie entwickelt, das einerseits das stratigraphische Grundgerüst für den Vergleich verschiedener regionaler mariner Klimaarchive liefert und gleichzeitig vor dem Hintergrund des globalen Eisvolumeneffektes Rückschlüsse über Temperaturveränderungen im Ozean ermöglicht. Die sogenannte Paläotemperaturformel von Nicholas Shackleton beruht auf empirischen Beobachtungen von Isotopenverhältnissen kalkschaliger Foraminiferen bei verschiedenen Kalzifizierungstemperaturen. Dabei ändert sich das $\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnis pro 1°C Wassererwärmung um ca. $-0,23\text{‰}$. Darüber hinaus können bei anderweitig bekannter Temperatur an den Sauerstoffisotopenverhältnissen auch lokale Salzgehaltsschwankungen identifiziert werden, die durch den Einfluss von isotopisch stark negativem Süßwasser, besonders auch Schmelzwasser, verursacht wurden.

Zunehmend finden $\delta^{18}\text{O}$ -Signaturen auch Anwendung in terrestrischen Klimaarchiven wie z.B. in hochauflösenden Seesedimenten oder in Speleothemen, wo sie Auskunft über das regionale Klima geben. Zum einen spiegeln sich hier die Paläo-Niederschlagstemperaturen wider, zum anderen Veränderungen des Wasserkreislaufes mit veränderlichen Niederschlagseinzugsgebieten. Anders als im Meerwasser, wo die Werte durch die Umwälzzeiten des Ozeans ziemlich konstant sind, variieren die $\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnisse der terrestrischen Hydrosphäre in Abhängigkeit von der Niederschlagstemperatur beträchtlich zwischen ca. -9 und -45‰ . Durch Verdunstung und Kondensationsprozesse verschieben sich die Isotopenverhältnisse, wobei das leichte ^{16}O -Isotop bevorzugt verdunstet und in Wasserdampf angereichert wird und umgekehrt wiederum die schweren Isotope zunächst bevorzugt abgerechnet werden. Da dieser Fraktionierungseffekt auch temperaturabhängig ist, sind Niederschläge in hohen Breiten bei kalten Temperaturen isotopisch besonders negativ.

In Seesedimenten sind als häufige kalkige Fossilien die kalkigen Panzer von Ostrakoden, kleiner meist am Seegrund lebender Muschelkrebse, überliefert, die ein hervorragendes, hochauflösendes Klimaarchiv gerade auch für den europäischen Raum bieten. Mehrere Profile tiefer mittel- und osteuropäischer Seen wurden z.B. mit ihrer Hilfe im Rahmen des europäischen Projektes DeLakes erstellt.

Hochauflösende Aufzeichnungen liefern die Sauerstoffisotopenverhältnisse auch in anderen Phasen, wie in Eisbohrkernen.

So stammt eine sehr detaillierte Klima-Chronologie des letzten Eiszeitzyklus aus den hochauflösenden Klimaarchiven gewarvter grönländischer Eiskerne, die die Klimageschichte bis 110.000 Jahre vor heute abdecken

(z.B. Alley, 2000; Dansgaard and Oeschger, 1993). Hier zeigen Sauerstoffisotopenkurven, die an den Eiswarven gemessen wurden, im Wesentlichen Änderungen der Niederschlagstemperatur über Zentral-Grönland an, wobei in den kältesten Abschnitten extrem negative d_{18O} -Werte von bis zu $<-40\text{‰}$ erreicht wurden (Abb. 3). Erst aus diesen Kurven wurde bekannt, welche dramatischen Sprünge das Klima der letzten Eiszeit tatsächlich vollführte: Abrupte Temperatursprünge um bis zu 10°C in teilweise weniger als zehn Jahren punktierten das eiszeitliche Klima demnach während MIS 4 bis 2 Jahren. 23 solcher Ereignisse, die in einem Rhythmus von ungefähr 15.000 Jahren auftraten und nach ihren Entdeckern Dansgaard-Oeschger-Ereignisse genannt wurden, konnten insgesamt identifiziert werden (Abb.3).

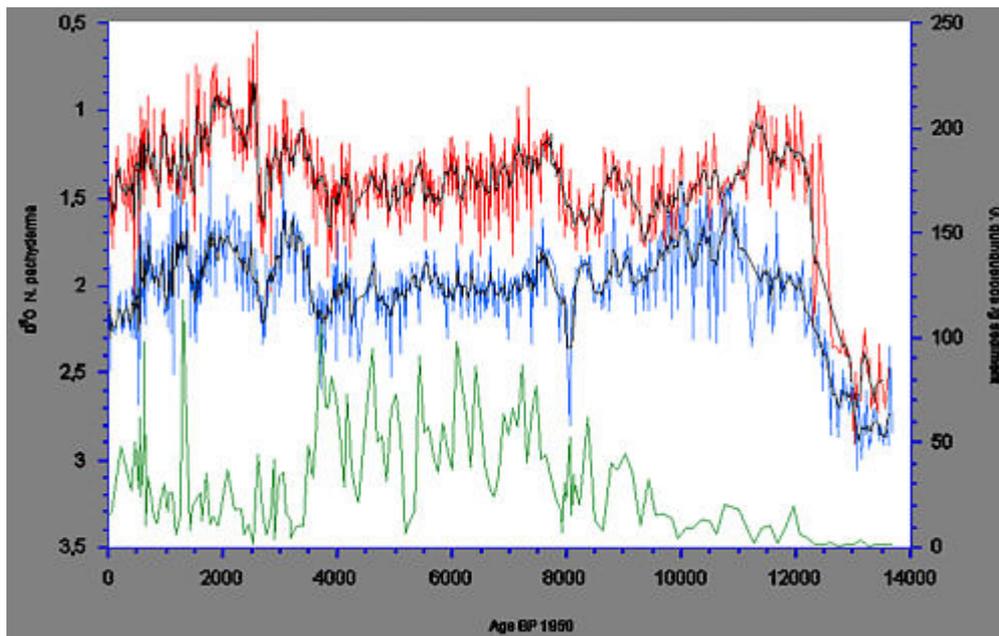


Abb. 3
Sauerstoffisotopenkurve des grönländischen Eiskernes GRIP

Dabei wurde eine rasche Erwärmung jeweils von einer allmählichen Abkühlung gefolgt, die sich über mehrere hundert Jahre erstreckt. Europäische Pollenprofile (Abb. 4) zeigen einen ähnlichen Verlauf, wobei extreme Kaltzeiten in Europa mit den sogenannten Dansgaard-Oeschger-Stadialen zusammenfallen und umgekehrt die milderer Phasen in Europa mit den Dansgaard-Oeschger-Stadialen.

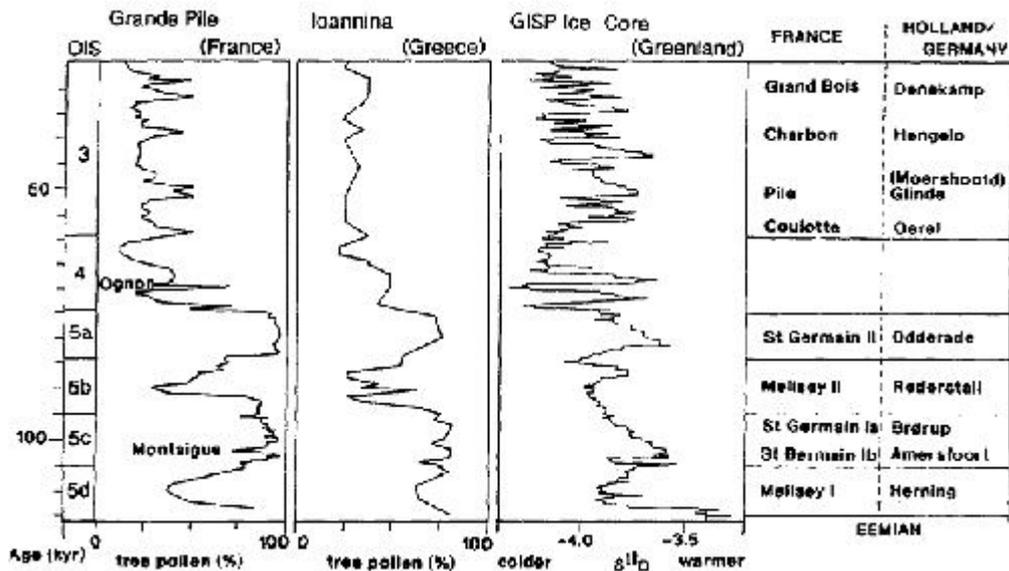


Abb. 4
Vergleich des Anteils von Baumpollen in einem französischen und einem griechischen Profil mit der grönländischen GISP2-Sauerstoffisotopenkurve (aus Van Andel und Tzedakis, 1996)

Marine Klimakurven aus dem Nordatlantik tragen wesentlich zum Verständnis der Ursachen dieser extremen Klimaschwankungen bei, zweifellos wird das europäische Klima maßgeblich durch die nordatlantische Zirkulation gesteuert. In unserem warmzeitlichen Klimasystem transportieren der Golfstrom und seine nördlichen Fortsetzungen, Nordatlantische Drift und Norwegenstrom, warmes und salzreiches Oberflächenwasser aus dem tropischen Atlantik in die nördlichen hohen Breiten und geben dabei Wärme an die Atmosphäre ab. Im Europäischen Nordmeer wird dieses schon durch seinen hohen Salzgehalt dichte Wasser durch weitere Abkühlung im Winter so stark verdichtet, dass es absinkt und als Tiefwasser in den Nordatlantik strömt. Dadurch kann ständig wieder warmes Oberflächenwasser aus den Tropen in die hohen Breiten nachströmen, die so genannte "Wärmepumpe" Europas (Abb. 5). Diese Wärmepumpe reagiert allerdings empfindlich auf Störungen. Gerade die Zufuhr von kontinentalem Schmelzwasser kann die Dichte der Wassermassen im Nordmeer so verringern, dass dieser Prozess durch die dann unterdrückte Tiefenwasserbildung abgeschwächt oder sogar unterbrochen werden kann.

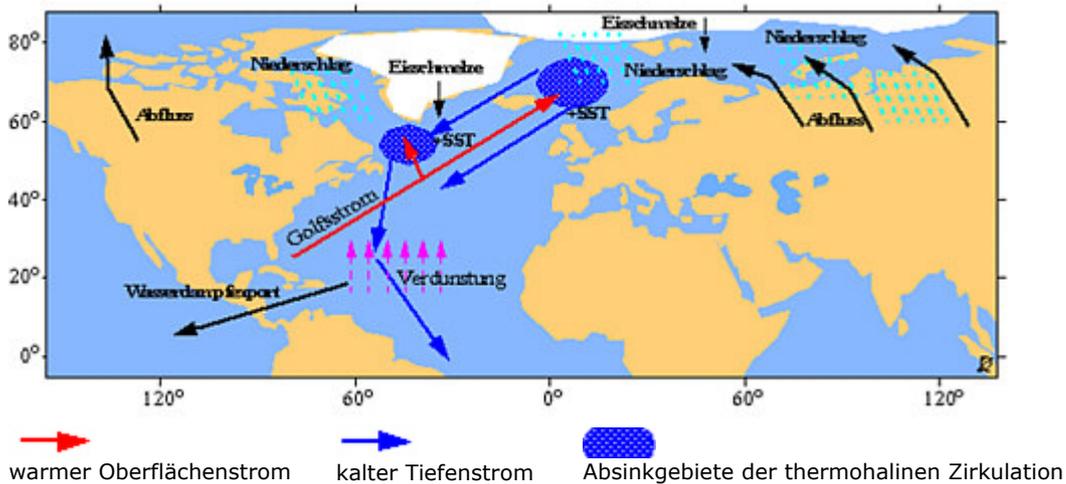


Abb. 5
Schematische Darstellung der nordatlantischen "Wärmepumpe" und der gegenwärtigen Einflussfaktoren auf ihre Intensität

Dass das in der letzten Eiszeit mehrfach der Fall war, belegen Eisschuttlagen, die sich in einem Gürtel von der Labradorsee bis vor die britischen Inseln und in den heute subtropischen Atlantik erstrecken bis hin vor den iberischen Rand. Damals segelten von den umgebenden Eisschilden her regelrechte Flotillen schmelzender Eisberge über den Nordatlantik und verursachten dabei massive Schmelzwasserausbrüche. Die prominentesten dieser Lagen heißen nach ihrem Erstbeschreiber Heinrich-Lagen. Temperaturrekonstruktionen an Sedimentkernen aus dem nördlichen Nordatlantik und dem Europäischen Nordmeer (Sarnthein et al., 2001; Weinelt et al., 2003; Abb. 6) belegen, dass die Wärmezufuhr im Nordatlantischen Oberflächenwasser während der Heinrich-Ereignisse, aber auch während der kürzeren Dansgaard-Oeschger-Stadiale stark gedrosselt war. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven zeigen hier jeweils eine starke Abnahme um teilweise mehr als 1‰ und belegen gleichzeitig mit den Eisschuttlagen eine Abnahme des Salzgehaltes um jeweils ungefähr 1 - 2‰ durch die schmelzenden Eisberge.

Dass die Phasen einer unterbrochenen Wärmepumpe tatsächlich mit den extremen Kaltphasen in Europa im Zusammenhang stehen wird erst durch den genauen Vergleich der terrestrischen und marinen Klimaarchive anhand von detaillierten ^{14}C -Datierungen unter Berücksichtigung von ^{14}C -Plateaus und variierender Reservoiralter des Ozeans bestätigt.

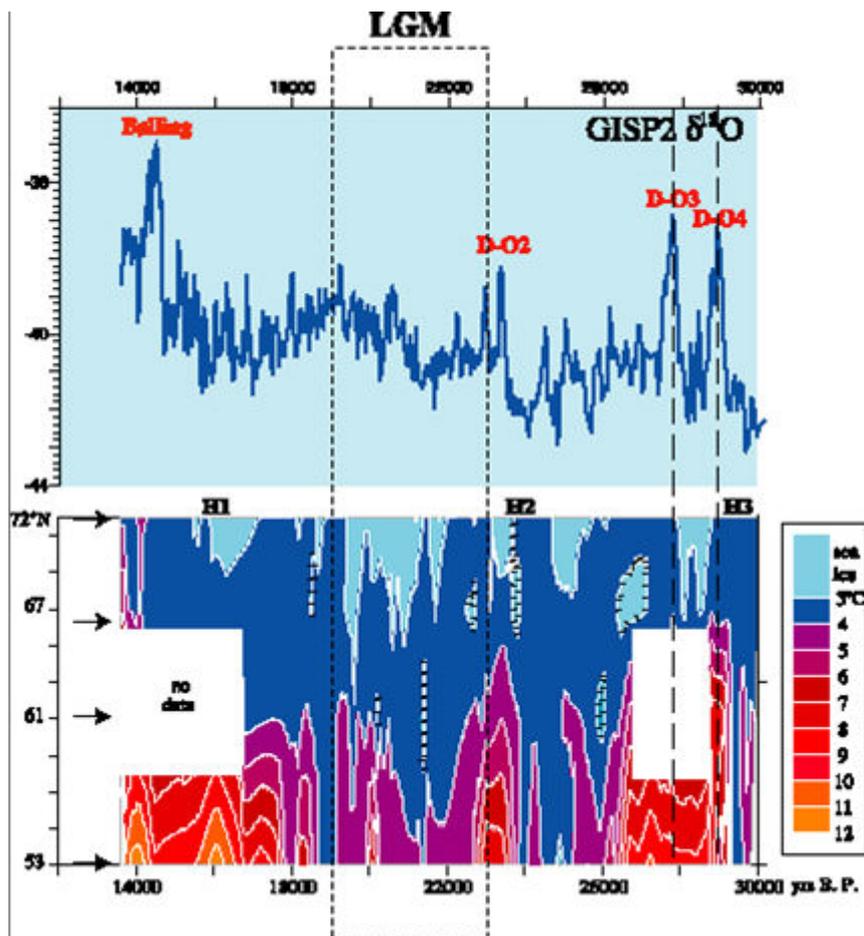


Abb. 6
Oberflächentemperatur- und Eisschuttkurven aus dem nördlichen Nordatlantik. Die grauen Balken zeigen die Heinrich-Ereignisse H1-H6 an, während derer der Wärmetransport in die hohen nördlichen Breiten unterdrückt wurde. Temperaturrekonstruktion anhand der Artenzusammensetzung planktonischer Foraminiferenfaunen.

Jedes Dansgaard-Oeschger-Stadial lässt sich demnach mit einem solchen Schmelzwasserereignis im nördlichen Nordatlantik in Verbindung bringen, wobei die Unterbrechung der thermohalinen Zirkulation jeweils zu einer massiven Abkühlung der Nordhemisphäre führte. Im Gegensatz dazu war während der Dansgaard-Oeschger-Interstadiale die Wärmepumpe jedoch durchaus aktiv, wenn auch in geringerem Maße als in unserem warmzeitlichen System, wie die Kurven mit Temperaturanstiegen um jeweils 3 - 4°C belegen, und bescherten Europa jeweils milde Phasen von einigen hundert Jahren Dauer.

Auch nach Ende der letzten Eiszeit, als die Strahlungsintensität schon deutlich zugenommen hatte und die Eisschilde weitgehend abgeschmolzen waren, kam es wiederholt zu massiven Klimarückschlägen, so während der Jüngeren Dryas vor ca. 12.900 bis 11.500 Jahren, die Abkühlung um 5°C in Westeuropa und um ca. 15°C im Vergleich zu heute über Zentralgrönland bewirkten, ausgelöst durch die Drainage von nordamerikanischen Eisstauseen am Südrand des laurentischen Eisschildes in den Nordatlantik. Zuletzt noch vor 8.200 Jahren bewirkte die Drainage des Schmelzwassersees Lake Agassiz einen solchen Rückschlag, der eine deutliche Abkühlung Mitteleuropas bewirkte. Auch hier wurde ein Zusammenhang mit einem kurzen Aussetzen der nordatlantischen Wärme-

pumpe für ungefähr 100 Jahre kürzlich nachgewiesen (Kleiven et al., 2008).

Im Vergleich zur Eiszeit und Eiszeitermination zeigt sich das holozäne Klima seither erstaunlich stabil (vergleiche Abb. 3), wohl auch eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung von Ackerbau und menschlichen Hochkulturen. Hochfrequente Schwankungen mit vergleichsweise niedrigen Amplituden, wie sie in hochauflösenden gewarteten $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven aus europäischen Seen (Abb. 7) und im marinen Bereich in Korallen überliefert sind, zeigen hier den dominanten Einfluss der Nordatlantischen Oszillation (NAO), einer Schwankung der Luftdruckdifferenz zwischen Islandtief und Azorenhoch. Eine Zunahme der NAO bewirkt zwar mildere Winter in Nordwesteuropa und Nordeurasien, aber auch höhere Niederschläge, die zu einem erheblichen Teil über die großen Flüsse in das Nordpolarmeer entwässern und damit dem nördlichen Nordatlantik eine zusätzliche Menge Süßwasser zuführen mit Auswirkungen auf die Intensität der Wärmepumpe.

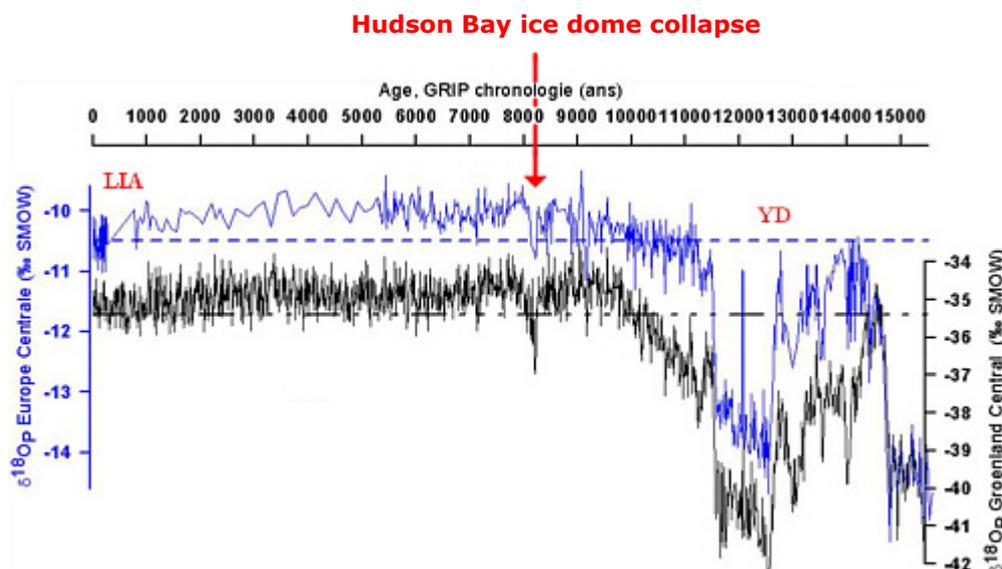


Abb. 7
Hochauflösende $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve gemessen an Ostrakoden aus dem Ammersee (blau) im Vergleich zur grönländischen $\delta^{18}\text{O}$ -Eiskurve (schwarz) (nach Von Grafenstein et al., 1999).
YD = Jüngere Dryas,
LI = Little Ice Age

Gerade mit Blick auf die Vorhersagbarkeit zukünftigen Klimawandels ist das Verständnis einer genauen Rekonstruktion der natürlichen holozänen Klimaschwankungen besonders interessant. Eine völlig neue Perspektive auf die Ursachen holozänen Klimawandels hat zuletzt Ruddiman (2003) veröffentlicht. Während man generell davon ausgeht, dass der anthropogene Einfluss auf das Klima durch die gesteigerten CO_2 - und CH_4 -Emissionen im Zuge der Industrialisierung vor 150 bis 200 Jahren eingesetzt hat, hat Ruddiman die Hypothese aufgestellt, dass das "Anthropozän" mit einem durch den Menschen beeinflussten Klima bereits vor 8.000 – 5.000 Jahren einsetzte, durch die damals verstärkte Landnutzung. Begründet hat er seine Hypothese auf den Verlauf von CO_2 - und CH_4 -Kurven aus Eiskernen, die von ihrem vorhergesagten zyklischen Verlauf abweichen (Abb. 8). Entgegen der zu erwartenden Abnahme im Holozän zeigen diese Treibhausgase nämlich tatsächlich einen frühen

Anstieg in der Atmosphäre. Dieser Anstieg lässt sich mit zahlreichen archäologischen, kulturellen und geologischen Befunden in Zusammenhang bringen, wie der frühen Landwirtschaft in Eurasien vor 8.000 Jahren und dem Beginn des Reisanbaus vor 5.000 Jahren. Klimamodelle bestätigen, dass diese CO₂-Zunahme durchaus geeignet wäre um die hohen Breiten um 2°C zu erwärmen, wiederum ausreichend um eine Vereisung Nordostkanadas zu verhindern. Sogar im Detail lassen sich Phasen eines atmosphärischen CO₂-Rückganges mit Phasen verringerter Landnutzung korrelieren. So führten die großen europäischen Pandemien, die die Bevölkerung jeweils dramatisch dezimierten und zu großflächiger Landaufgabe zwangen, jeweils zu einer Absenkung des atmosphärischen CO₂-Gehaltes.

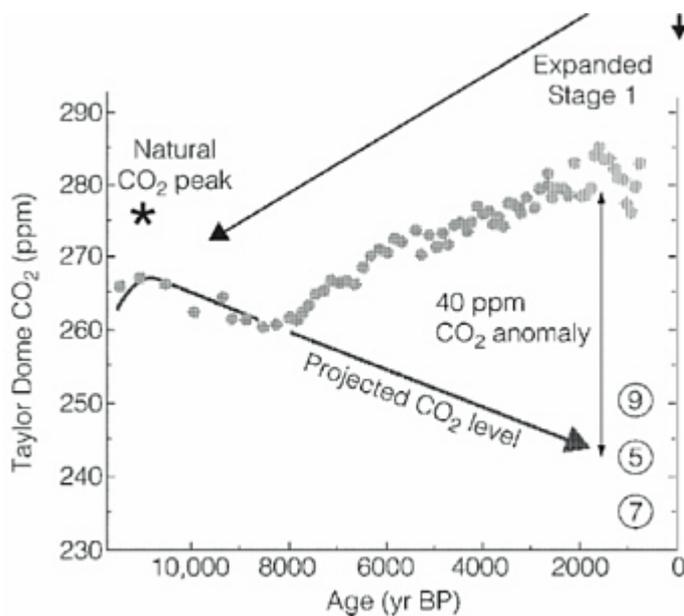


Abb. 8a
Vergleich von zu erwartetem und gemessenem CO₂-Verlauf im Holozän

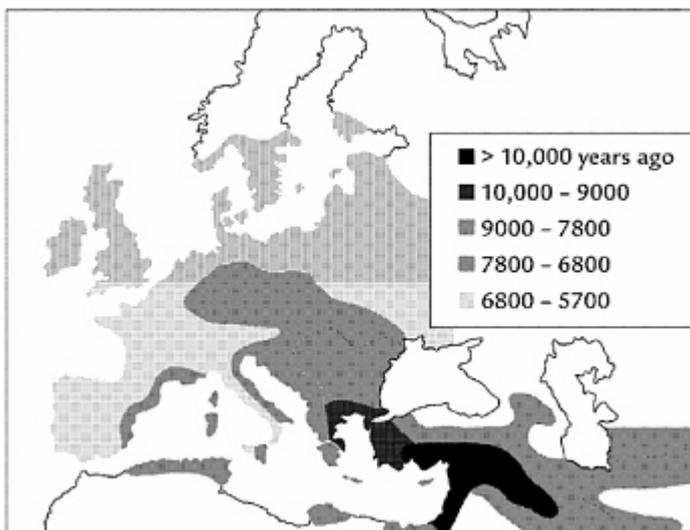


Abb. 8b
Ausbreitung der Landwirtschaft in Europa, rekonstruiert anhand von Zuchtpflanzenresten. (Aus Ruddiman, 2003)

Um diese Hypothese weiter zu testen und damit letztlich auch die Vorhersagen von Klimamodellen zu schärfen ist eine enge Zusammenarbeit von Paläoklimatologen und Archäologen erforderlich.

Literatur

R. Alley (2000). Ice-core evidence of abrupt climate changes. *PNAS*, 4, 1331-1334.

T.H. Van Andel and P.C. Tzedakis (1996), Palaeolithic landscapes of Europe and environs, 150.000 - 25.000 years ago. *Quaternary Science Reviews* 15.

W. Dansgaard, S. J. Johnsen, H. B. Clausen, D. Dahl-Jensen, N. S. Gundestrup, C. U. Hammer, C. S. Hvidberg, J. P. Steffensen, A. E. Sveinbjornsdottir, J. Jouzel und G. C. Bond (1993). Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364, S. 218-220, 1993.

J.D. Hays, J. Imbrie, and N.J. Shackelton, 1976. "Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages," *Science*, Vol. 194, pp. 1121-32.

H. F. Kleiven, C. Kissel, C. Laj, U. S. Ninnemann, T. O. Richter, E. Cortijo (2008): Reduced North Atlantic Deep Water Coeval with the Glacial Lake Agassiz Freshwater Outburst. *Science*, 319, 5859, 60 - 64

W. F. Ruddiman (2003). The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago. *Climatic Change*, 61/3, 261-293.

M. Sarnthein, K. Stattegger, D. Dreger, H. Erlenkeuser, P. Grootes, B. Haupt, S. Jung, T. Kiefer, W. Kuhnt, U. Pflaumann, C. Schäfer-Neth, H. Schulz, M. Schulz, D. Seidov, D. J. Simstich, S. van Kreveld, E. Vogelsang, A. Völker, and M. Weinelt (2001). Fundamental modes and abrupt changes in North Atlantic circulation and climate over the last 60 ky - Concepts, reconstruction, and numerical modelling, In: Schäfer, P., Ritzrau, W., Schlueter, M., Thiede, J. (eds.), *The northern North Atlantic: a changing environment*, Springer Verlag, Berlin, 365-410.

U. von Grafenstein, H. Erlenkeuser, A. Brauer, J. Jouzel, and S. J. Johnsen (1999). A Mid-European Decadal Isotope-Climature Record from 15.500 to 5000 Years B.P.. *Science*, Volume 284, Number 5420, 1654-1657.

M. Weinelt, E. Vogelsang, M. Kucera, U. Pflaumann, M. Sarnthein, A. Völker, H. Erlenkeuser, and B. A. Malmgren (2003). Variability of North Atlantic heat transfer during MIS 2, *Paleoceanography*, 18, doi:10.1029/2002PA000772.

Invent für Hessen - ein Datenbanktool zur Inventarisierung an Museen

Die Museumslandschaft - nicht nur in Hessen - ist äußerst disparat. Neben einigen hauptamtlich geleiteten Landesmuseen bestehen kommunale Museen ebenso wie Kreis- und Stadtmuseen. Die überwiegende Mehrzahl sind jedoch "Heimatismuseen". Ebenso unterschiedlich wie die Trägerschaft ist die finanzielle Ausstattung und die personelle Besetzung. Während die anfallenden Arbeiten in den erstgenannten Häusern durch hauptamtliches, wissenschaftlich ausgebildetes Personal durchgeführt werden, stehen die "Heimatismuseen" in aller Regel unter der Leitung ehrenamtlicher Kräfte, zumeist organisiert in Vereinen. Das ist auch gut so, denn ohne die vielen Heimat-, Geschichts- und Museumsvereine gäbe es keine derart vielfältige Museumsszene.

Der Nachteil liegt aber auf der Hand: Nicht alle der für ein Museum geforderten Aufgaben werden mit der notwendigen Kontinuität durchgeführt. Hierzu zählt in erster Linie die Erfassung des eigenen Bestandes. Zwar gibt es in (fast) jedem Museum jemanden, der weiß, welche Exponate vorhanden sind, wo sie ausgestellt sind und welche Objektgeschichte damit verbunden ist. Doch ist dieses Wissen in aller Regel nicht schriftlich festgehalten.

Um die Bestandserfassung und Dokumentation der Objekte gerade an ehrenamtlich geleiteten Häusern zu fördern, hat der Hessische Museumsverband 1990 das "Sonderprogramm Inventarisierung" ins Leben gerufen. Ziel dieses zunächst an acht ausgewählten Häusern durchgeführten Programms war es, Arbeitsmittel zu entwickeln, die den angeschlossenen Museen anschließend zur Hand gegeben werden sollten. Dazu gehörte eine Bibliographie zur Inventarisierung im Museum, eine Systematik und eine entsprechende Inventarkarte Kulturgeschichte. Aus vielfältigen Gründen entschied sich der Verband damals gegen den prinzipiellen Einsatz von Datenbanken als Erfassungshilfe.

Die wichtigste Handreichung dabei ist die Systematik ⁽¹⁾, die bestimmte Vorgaben zu erfüllen hat: sie muss in erster Linie als Arbeitshilfe für die Museen des Verbandes dienen. Zudem war sie so einfach anzulegen, dass auch ehrenamtliche, zumeist mehr oder weniger ungeschulte Personen damit umgehen konnten. Außerdem sollte sie sich auf kleine

1 Die Systematik zur Inventarisierung kulturgeschichtlicher Bestände in Museen. Zu beziehen über den Hessischen Museumsverband, Kölnische Straße 44-46, 34117 Kassel.

und mittlere Museen mit einem weitgehend heterogenen Sammlungsbestand beziehen, und schließlich orientiert sie sich am Sammlungsbestand hessischer Museen. Das heißt, regionale Gegenstandsbeispiele, wie Hochseefischerei oder alpine Bergrettung, fehlen, können aber bei Bedarf eingearbeitet werden.

Die Systematik besteht im Wesentlichen aus einem dreigliedrigen, hierarchischen Ordnungssystem, das sich in Bereich, Sachgruppe und Untergruppe unterteilt. Jeder dieser drei Ebenen sind Ziffern zugeordnet. Die Zusammensetzung dieser drei Zahlen sowie eine fortlaufende Objektziffer ergeben die eindeutige Inventarnummer.

Zur Verdeutlichung soll beispielhaft ein Teelöffel inventarisiert werden: Aus den derzeit 18 vorgegebenen Bereichen ist der Bereich "3 Hauswirtschaft" auszuwählen. Dort findet sich unter den Sachgruppen "2 Essen und Trinken". Diese Sachgruppe unterteilt sich wiederum in einzelne Untergruppen, von denen "4 Eßbesteck" für das gewählte Beispiel zutrifft. Innerhalb dieser Sachgruppe finden sich nun sogenannte "Gegenstandsbeispiele", die fortlaufend durchnummeriert werden. Da es sich um den ersten zu inventarisierenden Teelöffel handelt, also das erste Gegenstandsbeispiel aus dieser Kategorie, erhält er die Nummer 1. Die Inventarnummer dieses Löffels lautet folglich 3.2.4.1.

Der Vorteil der Systematik liegt auf der Hand: Allein durch die Zuordnung zu den drei Ebenen ergibt sich eine eindeutige Inventarnummer. Eine mögliche Fehlerquelle liegt einzig in der fortlaufenden Nummerierung der Objekte.

Ein weiterer Vorteil der Systematik ist, dass sie erweiterbar ist, denn das offene Ziffernsystem lässt an jeder Stelle individuelle Ergänzungen zu. So wurde beispielsweise festgestellt, dass sich in vielen "Heimatismuseen" Hessens auch archäologische Objekte finden lassen. Zwar stellt der Hessische Museumsverband eine eigene Karteikarte "Archäologie" zur Verfügung, diese setzt aber an vielen Stellen Fachwissen voraus. Daher wird die Systematik derzeit um diesen Bereich so erweitert, dass auch Laien die Erfassung der zahlenmäßig zumeist begrenzten Exponate durchführen können.

Mit dieser Systematik gelang es bundesweit erstmalig ein Arbeitsmittel anzubieten, das es einer Vielzahl unterschiedlicher Museen ermöglicht, ihre Bestände zu erfassen. Mittlerweile wird sie nicht nur in 2/3 der Mitgliedshäuser des Hessischen Museumsverbandes, sondern auch bundesweit eingesetzt. Auf der Internetseite www.museumsvokabular.de wird sie als eine von 10 Systematiken angeboten, von denen allerdings nur drei als allgemeingültig anzusehen sind. ⁽²⁾

Im Rahmen eines Inventarisierungsprojektes an einem Museum griff der Verfasser auf die Hessische Systematik zurück. Da der Auftraggeber aber die Inventarisierung an die Eingabe in die EDV verknüpfte, begann die Suche nach einer geeigneten Datenbank.

2 museum.zib.de/museumsvokabular/index.php?main=download&ls=9&co=we
(18. Oktober 2007, 10.00 Uhr).

Auf ihrer Internetseite bot die Landesstelle für Museumsbetreuung Baden-Württemberg seinerzeit den kostenlosen Download des Inventarisierungstools [Johann@Hilf an](mailto:Johann@Hilf.an).⁽³⁾ Dieses Tool basiert auf der weit verbreiteten Datenbank Microsoft Access und bot eine Erfassungsmaske, die die Ansprüche weitgehend erfüllte. Als Problem erwies sich aber schnell, dass dieses Tool nur sehr bedingt in Kombination mit der besagten Systematik einsetzbar war. Das größte Hindernis war die ermittelte Inventarnummer, die zunächst auch in der EDV doppelt gespeichert werden konnte, vor allem aber, dass die zuletzt vergebene Nummer von Hand eingesetzt werden musste. Nach Eingabe einer Vielzahl von Weingläsern und einer nicht minder geringen Zahl an Fassriegeln musste mühsam die zuletzt für ein Weinglas ermittelte Inventarnummer gesucht werden, um dann in dieser Objektgruppe fortzufahren. Folglich wurde die Erfassungsmaske um die drei hierarchischen Ebenen der Systematik erweitert und die Ermittlung der Inventarnummer automatisiert. Nachdem der Nutzer die drei Felder "Bereich", "Sachgruppe" und "Untergruppe" ausgefüllt und ein Objekt benannt hat, vergibt die Datenbank nun selbständig die numerisch richtige Inventarnummer. Schließlich wurden der Eingabemaske Felder hinzugefügt und vorhandene umbenannt, um eine möglichst große Annäherung an die Karteikarte des Hessischen Museumsverbandes zu erlangen.

Nach ersten Testläufen im Zuge einer eigenen Inventarisierung, konnte mit dem Philipp-Reis-Haus in Friedrichsdorf ein Museum gefunden werden, das die Datenbank unter realen Bedingungen einsetzte und testete. Die dort gewonnenen Erfahrungen und Anregungen flossen selbstverständlich in die Weiterentwicklung ein. Seit Anfang des Jahres 2004 wird das modifizierte Tool unter dem Namen "Invent für Hessen" für 99 Euro vertrieben.

Das Datenbank-Tool richtet sich ausdrücklich an Personen, die keine oder nur wenig Erfahrung mit Datenbankerfassungen haben. Daher wurde auf die Erweiterung mit weiteren Features verzichtet.

Öffnet der Nutzer die Anwendung, so erscheint zunächst ein Startbildschirm, der drei Bearbeitungsmodi ermöglicht: die Erfassung, die Suche im Datenbestand und die Suche mit Korrekturmöglichkeit.

Die drei dahinter angeordneten Masken sind identisch aufgebaut und unterscheiden sich ausschließlich in Farbe und der Möglichkeit, Änderungen vorzunehmen.

Die Erfassungsmaske ist rot angelegt. Nach Auswahl von Bereich, Sachgruppe, Untergruppe und der Objektbezeichnung wird die Inventarnummer angezeigt. Die Maske unterteilt sich wiederum in vier verschiedene Blätter, die die Grunddaten, die Beschreibung des Objektes, Verwaltungsdaten und ein Bild enthalten. Analog zur Karteikarte "Kulturgegeschichte" des Hessischen Museumsverbandes können nun die einzelnen Felder ausgefüllt werden.

3 www.landesstelle.de/html/deutsch/inventarisierung/johann_hilf/johann_hilf.php
(18. Oktober 2007, 10.30 Uhr).

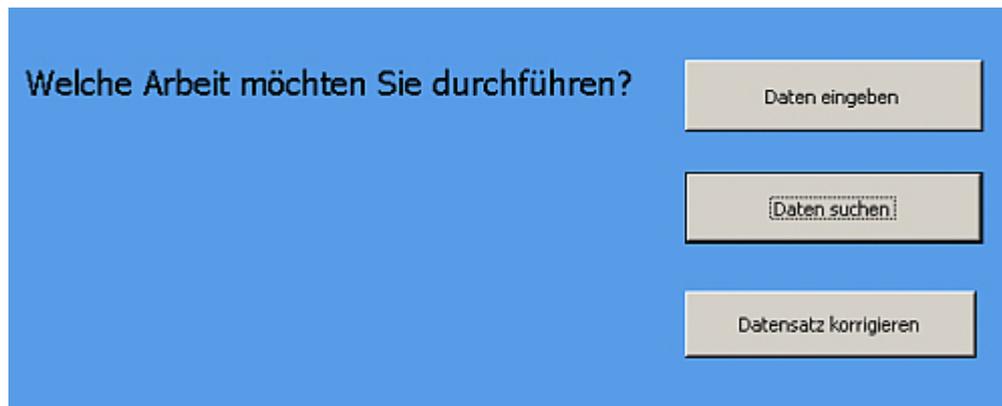


Abb. 1
Der Startbildschirm

Dabei wurde auf den Einbau von Thesauri bewusst verzichtet, um nicht durch Vorgaben die Vielfalt der möglichen Eingaben einzuschränken. Ausgenommen hiervon wurde das Feld "Datierung". Hier kann aus den Begriffen "1. Hälfte", "2. Hälfte", "Mitte", "um" und "zirka" ausgewählt und der entsprechende Zeitraum hinzugefügt werden. Die beiden Vorgaben "um" und "zirka" sind im mitgelieferten Handbuch erläutert und bezeichnen fest definierte Zeiträume. An dieser Stelle erschienen die Vorgaben als sinnvoll, weil gerade die beiden letztgenannten Begriffe sehr subjektiv belegt sind und bei Suchabfragen zu falschen oder unvollständigen Ergebnissen führen könnten. Der Zeitraum der Objektdatierung kann mit den beiden gesonderten Feldern "von" und "bis" weiter eingeschränkt werden. Dies bietet gerade dem ungeübten Nutzer eine weitere Möglichkeit der Suchabfrage: Ist er sich über den Entstehungszeitraum des Objektes nicht im Klaren, kann er als Suchabfrage eingeben "suche alle (oder bestimmte) Objekte aus dem Zeitraum kleiner als im Feld "bis" und größer als im Feld "von" eingetragen".

Zwei weitere Felder sind mit Auswahlmöglichkeiten hinterlegt: das Feld "Erwerbsart" gibt als Auswahl die gängigen Wege vor, auf denen ein Objekt in das Museum gelangen kann, wie "Kauf", "Schenkung", "Stiftung", "Leihgabe" oder "Dauerleihgabe", um nur einige zu nennen. Trifft keine der Vorgaben zu oder befindet sich ein Objekt schon so lange im Museum, dass niemand mehr sagen kann, wie es zur Sammlung gelangte, kann zudem der Begriff "Altbestand" ausgewählt werden.

Ebenfalls mit Vorgaben hinterlegt ist das Feld "Erhaltung". Hier kann zwischen "sehr gut", "gut", "mittel" und "schlecht" ausgewählt werden. Auch diese Begriffe sind im Handbuch erläutert.

Zwei Felder sind in der Maske zu finden, die nicht auf der Karteikarte "Kulturgeschichte" vermerkt sind: "Schlagwörter" und "Projekt". Während das erste beliebige Schlagwörter beinhalten kann, die dem Exponat zuzuordnen sind, kann im Feld "Projekt" bereits bei der Inventarisierung ein mögliches künftiges Ausstellungsprojekt bezeichnet werden.

Eingabeformular

Bereich:

Sachgruppe:

Untergruppe:

Objekt Nr.:

Bitte beachten!
Beim Löschen von übergeordneten Ebenen, wie z.B. Bereichen werden sämtliche in der Hierarchie tieferliegenden Elemente, wie z.B. Untergruppen und deren Inventarien ebenfalls gelöscht!

Grunddaten | Beschreibung | Verwaltungsdaten | Bild

Inv. Nr.: **alte Nr.:** **Eingangsbuchr.:** **Eingangsdatur:**

Gegenstand:

mundartl. Bez.:

Datierung: von bis **urkundlich**

Material:

Technik:

Markierung

Maße	Länge	Breite	Höhe	Tiefe/Dicke	Umfang	max	Rand	Boden
Angabe in cm	<input type="text"/>							

Hersteller /Künstler:

Herkunftsart:

Verwendungsart/ Fundort:

Abb. 2
Das Eingabeformular

Ebenfalls nicht auf der Karteikarte vorgesehen ist ein kleines Feld, das durch anklicken markiert werden kann. Dieses Feld dient in erster Linie dazu, bei Suchabfragen bestimmte Datensätze zu markieren. Sind alle gewünschten Objekte markiert, ist ein gesonderter Ausdruck möglich.

Die Einbindung eines Bildes in die Bildschirmdarstellung ist vorgesehen. Der entsprechende Bildpfad ist bereits vorgegeben und der künftige Bildname wird durch ein "x" angezeigt. Wird bei der Dateneingabe das "x" durch den Bildnamen, empfohlen wird die Inventarnummer, ersetzt, so verknüpft die Datenbank automatisch das Bild mit dem Datensatz und zeigt es bei der nächsten Aktualisierung an.

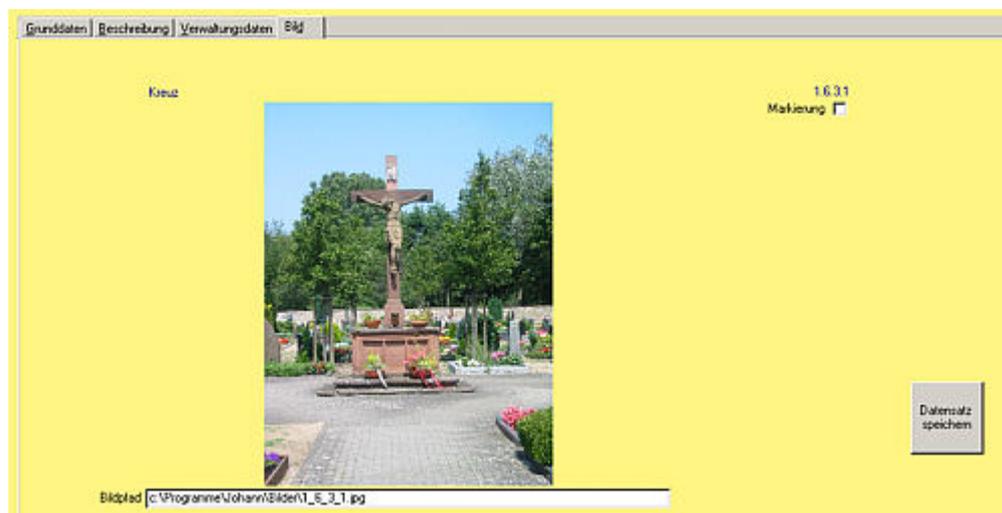


Abb. 3
Suchformular mit eingebundenem Bild

Die Suchmaske ist grün und dient nach der Inventarisierung für die Suchabfragen. Alle Felder dieser Maske sind geschützt, das heißt, hier können keine Änderungen vorgenommen werden. Der Einbau dieser Maske erwies sich als notwendig, weil gerade das Suchen in den Datenbeständen ein großes Risiko für versehentliche Änderungen, vor allem unbeabsichtigtes Löschen, birgt. Nicht schreibgeschützt ist das in dieser Maske wichtige Markierungsfeld, mit dem die ausgewählten Exponate markiert werden. Das Arbeiten auf dieser Ebene ist folglich auch für unerfahrene Anwender völlig ungefährlich.

Die Suchmaske mit Korrekturmöglichkeit ist gelb. Außer in den Feldern "Bereich", "Sachgruppe", "Untergruppe", "Gegenstand" und "Inventarnummer", den wichtigsten objektbezogenen Daten, können alle anderen Angaben beliebig geändert werden.

Zusammenfassung

Das Datenbank-Tool "Invent für Hessen" richtet sich in erster Linie an ehrenamtliche, im Umgang mit EDV-gestützter Inventarisierung wenig erfahrene Mitarbeiter von Museen mit einem heterogenen Sammlungsbestand, deren finanzielle Ausstattung zudem oft nur sehr begrenzt ist. Basierend auf Microsoft Access und der Entwicklung "Johann@Hilf" der Landesstelle für Museumsbetreuung Baden-Württemberg wurde es speziell auf die Systematik des Hessischen Museumsverbandes ausgerichtet. Im Lieferumfang sind die Bedienungsanleitung, Erfassungsregeln, die die einzelnen Felder erläutern, sowie eine digitalisierte Fassung der Systematik enthalten. Im Bedarfsfall kann zusätzlich eine Schulung, die sowohl die Systematik, als auch die Inventarisierung zum Inhalt hat, vereinbart werden.

Einführung von IMDAS-Pro am Beispiel von Augusta Raurica in Augst (Schweiz)

Augusta Raurica (das antike Stadtgebiet liegt am linken Rheinufer 10 km östlich von Basel im Dreiländereck Schweiz-Frankreich-Deutschland) war eine römische Koloniestadt, in der vor beinahe 2000 Jahren an die 20.000 Menschen wohnten. Was die keltischen Einheimischen und die vom Mittelmeerraum Zugewanderten an Spuren hinterlassen haben, ist heute zu einem beachtlichen Teil ausgegraben und im größten archäologischen Freilichtmuseum der Nordwestschweiz zugänglich. Die Römerstadt Augusta Raurica zieht jährlich etwa 140.000 Besucherinnen und Besucher, Touristen und Schulkinder an.

JOANNEUM RESEARCH

JOANNEUM RESEARCH ist als größte Forschungseinrichtung Österreichs im Landesbesitz im Bereich der angewandten Forschung und Entwicklung für Wirtschaft, Industrie und Verwaltung tätig. JOANNEUM RESEARCH besteht aus sechs Forschungsabteilungen, die die Bereiche der Informationstechnologie bis hin zu sensorischen Technologien und humanwissenschaftlichen Technologien abdecken. Jede Forschungsabteilung besteht aus einer Reihe von Forschungsinstituten. Mit über 380 hoch qualifizierten Mitarbeitern ist JOANNEUM RESEARCH in wesentlichen Innovationspartnern national wie international aktiv und konzentriert sich als Innovationspartner für Wirtschaftsbereiche und politische Entscheidungsträger auf die angewandte Forschung und Entwicklung in den Schlüsseltechnologien zum Beginn des Dritten Jahrtausends.

Institut für Informationssysteme und Informationsmanagement (IIS)

Das "Institut für Informationssysteme und Informationsmanagement" (IIS) www.joanneum.at/iis beschäftigt sich seit Jahren mit der Forschung und Entwicklung von IT-Lösungen in den Bereichen Digitale Medien und Intelligente Informationssysteme. Gemeinsam mit unseren nationalen und internationalen Projektpartnern bieten wir im Bereich der Digitalen Medien Lösungen zur digitalen Archivierung, Speicherung, Organisation und Bearbeitung von Video- und Audioinhalten sowie die Entwicklung einer Methode zur digitalen Filmrestaurierung. Im Bereich Intelligente Informationssysteme entwickeln wir Datenbanken in Verbindung mit Internet-Technologien für verschiedene Anwendungsbereiche, insbesondere für Bibliotheken, Fernseharchive, Museen und in der Telemedizin. Auf Grund des langjährig entwickelten wissenschaftlichen und technischen Know-hows auf dem Anwendungsgebiet "Kultur" ist IIS ein Kompetenzpartner für Archive und Museen geworden.

IMDAS-Pro

IMDAS-Pro ist ein Softwarepaket für Museen, das am "Institut für Informationssysteme und Informationsmanagement" entwickelt wurde und das für die elektronische Dokumentation sämtlicher Museumsobjekte verwendet werden kann. Der große Vorteil des Programmpakets besteht darin, dass die Grundfunktionen und Hauptmasken (Registrierung, Inventarisierung, Suchfunktion und Thesaurus) sammlungsübergreifend verwendet werden können, d.h. die Objekte eines Museums können in allen Bereichen einheitlich erfasst werden. Durch diese systematische Sammlung aller Informationen lässt sich bei der wissenschaftlichen Aufbereitung ein enormer Zeitgewinn erzielen. Darüber hinaus werden der Zugang zu den Sammlungen und das Auffinden von Objekten auch für Museumsbesucher deutlich vereinfacht..

Durch die Integration der Bereiche "Bibliographische Objekte" und "Archivalien" bietet IMDAS-Pro auch Bibliotheken und Archiven die Möglichkeiten, ihre Bestände übersichtlich und effizient zu dokumentieren und zu archivieren.

Ausgangssituation Augusta Raurica

In Augusta Raurica existierte eine selbst entwickelte Oracle Anwendung, in der die archäologischen Grunddaten erfasst wurden. Weitere spezifische Daten z.B. über Münzen, Fibeln usw. wurden teils in Access Datenbanken oder in Excel Tabellen geführt. Restaurierungsdaten wurden ebenfalls in einer Oracle Datenbank erfasst. Die Daten hatten jedoch keine Verknüpfung zu den Fundobjekten.

Weitere Daten wie Grabungstagebücher, Zeichnungen, digitale Fotos wurden auf einem Server abgelegt.

Einführung von IMDAS-Pro

Ziel der Ausschreibung einer neuen Software für Augusta Raurica war, alle Daten und Dokumente in einer zentralen Datenbank zusammenzufassen und untereinander zu verknüpfen. Die Abbildung 1 (Datenvernetzung) zeigt eine Übersicht über die möglichen Verknüpfungen.

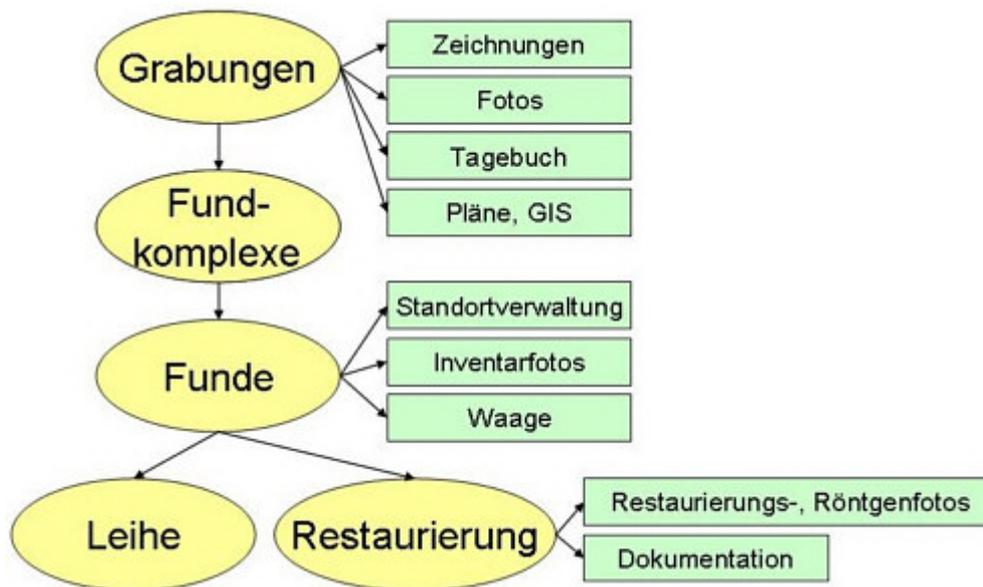


Abb. 1
Datenvernetzung

Die Erfassungsmasken sollten auch durch die Anwender an zukünftige Anforderungen angepasst werden können.

Anbindung an ein GIS-System

- Einbindung einer Bilddatenbank. Dabei soll das System EXIF- und IPTC-Daten aus digitalen Fotos auslesen und schreiben können
- Integration eines Depot und Verleihwesens
- Verwaltung von Monumenten (Denkmalschutz)
- Dokumentation von externen Restaurierungen
- Möglichkeit Teilbestände von Daten auf einem Laptop offline zu bearbeiten (z.B. auf der Grabung) und diese wieder mit der zentralen Datenbank zu synchronisieren
- Über einen Excel Import-/Export können auch Daten vom Anwender importiert werden, die nicht aus IMDAS-Pro stammen

Datenübernahme nach IMDAS-Pro

Im Zuge der Migration wurden folgende Daten übernommen:

- 2.800 Grabungen
- 72.000 Fundkomplexe
- 1.500.000 Fundobjekte
- 270.000 Fotos, Zeichnungen, Pläne
- Röntgenbilder, Tagebücher, Luftaufnahmen, Dokumentationen

Mittlerweile (Stand Herbst 2007) sind die Daten auf 2.929 Grabungen, 75.404 Fundkomplexe, 1.570.000 Fundobjekte und 292.000 Fotos, Tagebücher angewachsen.

Datenerfassung

Mit Hilfe der Rechtevergabe können die Anwender nur in Ihrem Bereich Daten neu erfassen und ändern.

Personendaten, Thesauri und Listen werden zentral verwaltet. Dadurch wird eine einheitliche Beschlagwortung sichergestellt und die Daten müssen nur einmal erfasst bzw. geändert werden.

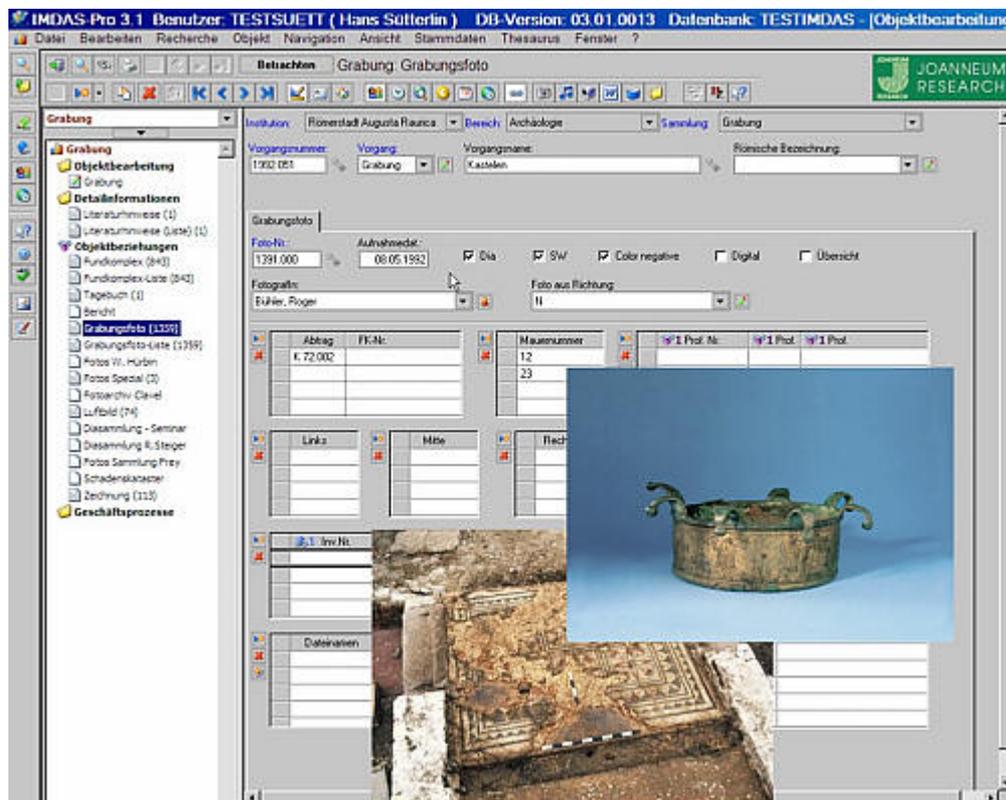


Abb. 2
Erfassung einer Grabung

In der Baumansicht im linken Teil der Maske wird eine Übersicht über alle zur Grabung vorhandenen Daten angezeigt:

Es sind dies 1 Literaturhinweis, 843 Fundkomplexe, 1.359 Fotos, 113 Zeichnungen, 74 Luftbilder und ein Tagebuch.

Die folgende Abbildung zeigt eine Erfassungsmaske für Münzen:

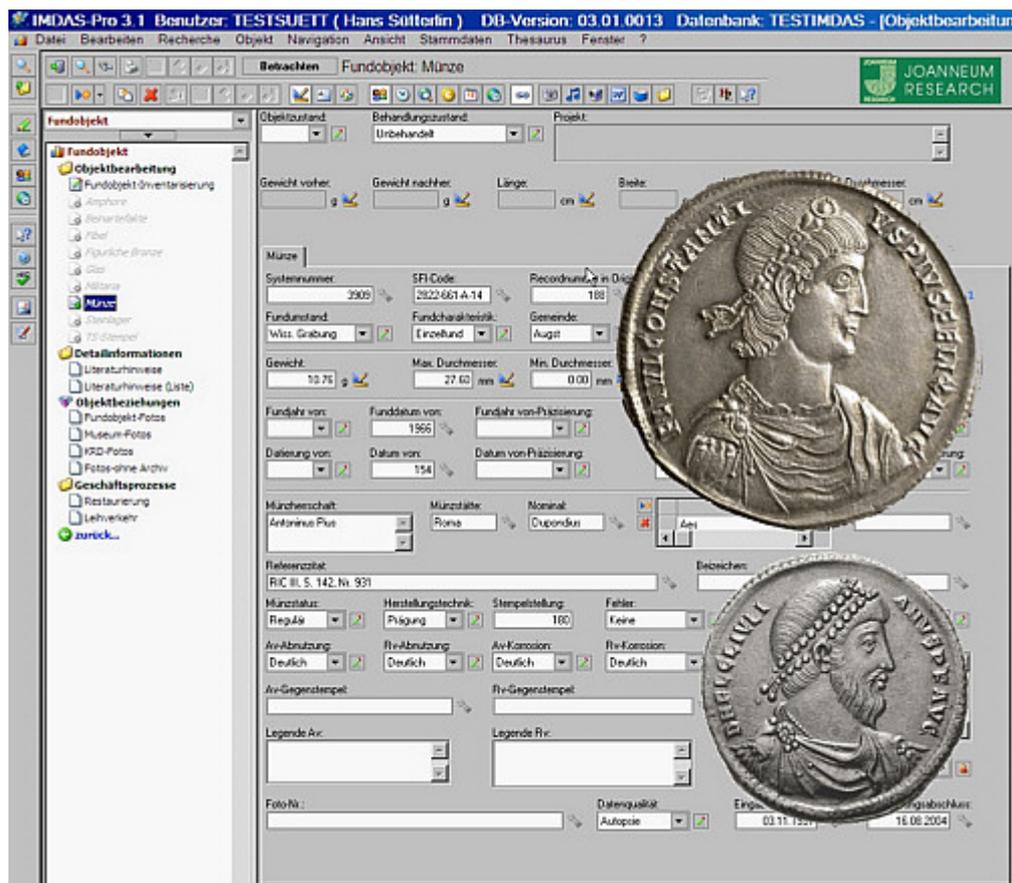


Abb. 3
Erfassung von Münzen

Bei der Dokumentation von Restaurierungsschritten können auch Röntgenbilder, Analysen, Negativformen, Restaurierungsfotos verwaltet werden.

Mit Hilfe der IMDAS-Pro GIS-Schnittstelle können Grabungen sehr schnell visualisiert werden. Man kann in der GIS-Vorschau Grabungen markieren und die Datensätze in IMDAS-Pro anzeigen lassen.

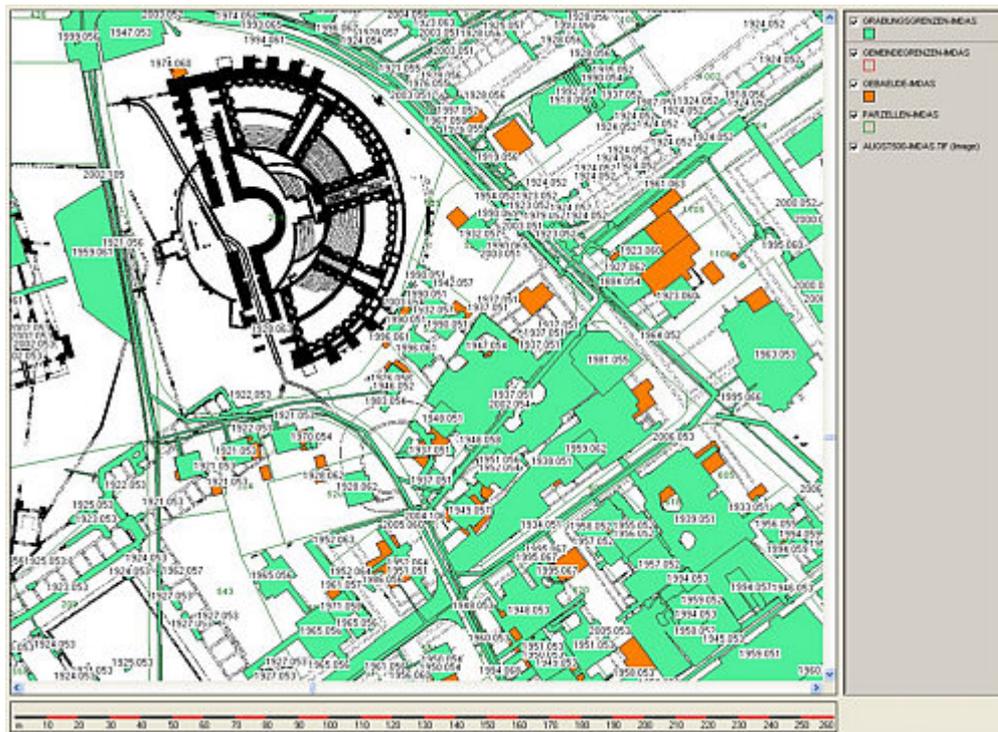


Abb. 4
IMDAS GIS

Um die Inventarisierung der Fundobjekte zu beschleunigen wurden Schnittstellen zu einer elektronischen Waage, zu einem Scherbendrucker und einer Fotostation programmiert.

IMDAS-Pro wird nicht nur im Bereich Archäologie eingesetzt. Unter anderem wird IMDAS-Pro noch von folgenden Museen verwendet:

- Landesmuseum Joanneum, Graz
- Museum im alten Zeughaus, Bad Radkersburg
- Diözesanmuseum, Augsburg
- Heeresgeschichtliches Museum, Wien
- Ausseer Kammerhofmuseum, Bad Aussee
- Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart
- Museum der Stadt Villach
- Reiss-Engelhorn Museum, Mannheim
- Museen der Stadt Bamberg
- Sächsisches Apothekenmuseum Leipzig
- Stadtmuseum Mariazell
- Pfalzgalerie Kaiserslautern
- Völkerkundemuseum Hamburg
- Archäologie Baselland, Liestal/Schweiz

Anhang

Der Bundesverband freiberuflicher Kulturwissenschaftler e. V. (BfK)

Freiberufliche Mitarbeit – Stütze und Ergänzung der Museumsarbeit

Welches Museum kommt heute noch ohne sie aus? Die freien Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, die kurzfristig eine Archivrecherche übernehmen, Führungen und museumspädagogische Programme entwickeln und anbieten, Sammlungsbestände dokumentieren und inventarisieren, wissenschaftliche Beiträge verfassen, ganze Ausstellungen gestalten und kuratieren oder Begleitprogramme organisieren.

Das klassische Berufsbild des angestellten Kulturwissenschaftlers im Museum hat sich seit den 1990er Jahren gründlich gewandelt. Es ist ein neues Berufsbild des freiberuflichen Kulturwissenschaftlers entstanden, eine Folge veränderter Strukturen und der Einsparungsmaßnahmen der Kulturinstitutionen, die zum verstärkten Outsourcing von Leistungen führt. Wissenschaftler unterschiedlicher Fachdisziplinen bieten ihre Dienstleistungen auf dem freien Markt an. Sie stützen, gewährleisten und fördern den immer wieder durch Marginalisierung bedrohten Bereich der Kultur in all seiner Vielfalt.

Dieser Entwicklung folgend gründete sich 1998 der Bundesverband freiberuflicher Kulturwissenschaftler e.V. (BfK), zunächst mit Sitz in Bonn, seit 2009 mit Sitz in Berlin.

Unter seinem Dach organisieren sich Archäologen, Historiker, Kunsthistoriker, Volkskundler, Kulturwissenschaftler, Geografen, Ethnologen und Wissenschaftler aus verwandten Disziplinen.

Der Verband nimmt die beruflichen und wirtschaftlichen Interessen seiner Mitglieder wahr und wirbt in der Öffentlichkeit um mehr Akzeptanz der Freiberufler in den Bereichen Kulturwissenschaft und Kulturvermittlung. Er dient seinen Mitgliedern als Netzwerk, das zum Erfahrungsaustausch und zur gegenseitigen Unterstützung bei gemeinsamen Projekten genutzt wird. Hinzu kommen Serviceangebote wie Muster-Geschäftsbedingungen und Muster-Werkverträge, Tipps zur Honorargestaltung und Unterstützung bei Fragen wie der Sozialversicherung etc., Tagungen dienen der Fortbildung und Diskussion.

Die Mitglieder können sich einem Kodex anschließen und der eigene Geschäftsbereich Archäologie hat Qualitätsstandards für archäologische Grabungsfirmen entwickelt, zu deren Einhaltung sich die Mitglieder verpflichten.

Der "Geschäftsbereich Archäologie" des Bundesverbands freiberuflicher Kulturwissenschaftler

Der "Geschäftsbereich Archäologie" ist eine Abteilung des Bundesverbands freiberuflicher Kulturwissenschaftler. Für diesen Geschäftsbereich wurde ein verbindlicher Standardkatalog erarbeitet, der als Richtlinie für Institutionen dient, die freiberufliche Archäologen beauftragen oder empfehlen.

Dem "Geschäftsbereich Archäologie" gehören freiberuflich arbeitende Archäologen und Firmen an, die nach den Qualitätsstandards des Geschäftsbereiches arbeiten.

Der "Geschäftsbereich Archäologie" vertritt die Interessen der Archäologen bei öffentlichen Institutionen und fördert den Kontakt durch regelmäßige Arbeitstreffen untereinander.

Weitere Informationen finden Sie auf der Homepage des BfK:
www.b-f-k.de

Geschäftsstelle

Bundesverband freiberuflicher Kulturwissenschaftler e.V.
Choriner Str. 1
10119 Berlin

Tel.: 030 - 34 39 84 40

Fax: 030 - 34 39 84 42

service@b-f-k.de