

Geoinformatik und Archäologie – GIS basierte Kulturraumstudie antiker und frühmittelalterlicher Besiedlungsmuster am mittleren Main

ARMIN VOLKMANN¹

Zusammenfassung: Seit einigen Jahren schon werden Methoden der Geoinformatik auch in den archäologischen Wissenschaften angewandt. Beispielsweise hat der Einsatz von GIS die Archäologie hinsichtlich der Verwaltung, Visualisierung und Analyse von Fachdaten seit den 1990er Jahren beflügelt. Dabei wurden die GIS meist nur als bestehende „Fremdentwicklungen“ in der Archäologie genutzt, woraus eine gewisse Stagnation in der Verwendbarkeit dieser Informationssysteme resultierte. Einhergehend mit der Entwicklung von stabilen und quelloffenen Open Source GIS entstanden in den letzten Jahren auch einige Anwendungen, die primär aus der direkten Zusammenarbeit von Geoinformatik und Archäologie resultieren und die damit zielgerichteter, anstatt reiner Adaption, auf die Bedürfnisse kultur- und geisteswissenschaftlicher Forschung eingehen. So kann gerade die sogenannte Imperfektion und Heterogenität von archäologischen Fachdaten eine für beide Disziplinen hoch interessante Herausforderung sein. Das im Folgenden vorgestellte Projekt versucht genau diesen Gedanken nachzugehen. Dies beginnt in den vorgestellten Beispielen im Aufbau eines archäologischen Informationssystems (AIS) und mündet in die systematische Analyse von groß-skaligen LiDAR-Daten hinsichtlich kulturgeschichtlicher Befunde sowie in die Rekonstruktion von Paläowegen im Netzwerk prähistorischer Siedlungen.

1 Einleitung

Im Untersuchungsgebiet am mittleren Main liegt ein vergleichsweise hoher Arbeitsstand in der Aufarbeitung archäologischer Fundstellen der Römischen Kaiserzeit bis zum Frühmittelalter, d.h. aus den ersten acht Jahrhunderten n.Chr., vor, der in einigen monographischen Publikationen seinen Niederschlag gefunden hat (z.B. HOFFMANN 2004; OBST 2012; PESCHECK 1978). Gleichzeitig sind die Bodendenkmalisten des regional zuständigen Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege bereits digital aufbereitet verfügbar, so dass in Kombination mit den Publikationen auf eine fundierte Quellenbasis zugegriffen werden kann. Im basalen Arbeitsschritt unserer Studie wurde ein relationales SQL und XML-Datenbanksystem konzipiert und aufgebaut sowie im Zusammenspiel mit der Studierendenausbildung in der Lehre weiter entwickelt und sukzessive mit Daten gefüllt, das die Grundlage für die folgenden Analysen darstellt (s. Abb. 1). Das Anliegen war dabei die Studierenden an konkreten Problemstellungen der Forschung im Umgang mit GIS auszubilden und durch kollaboratives Arbeiten die verschiedenen Forschungswissensstände aus retrodigitalisierten Monographien und Fachdatenbanken zusammenzubringen. Dabei ergaben sich besondere Herausforderungen mit den Studierenden der Geistes- und Kulturwissenschaften, da diese meist nicht über eine fundierte Ausbildung in der Geoinformatik verfügen (siehe beispielsweise die Handbücher: KAPPAS 2012;

¹ Universität Heidelberg, Nachwuchsforschungsgruppe Digital Humanities and Cultural Heritage, "Cluster of Excellence Asia and Europe in a Global Context", Karl Jaspers Centre, Voßstr. 2, Gebäude 4400, D-69115 Heidelberg, E-Mail: armin.volkmann@asia-europe.uni-heidelberg.de

DE LANGE 2013), und somit auf eine grundlegend verschiedene Wissensbasis aufgebaut werden musste. Dabei wurde grundlegend die Handhabbarkeit verschiedener GIS-Software Anwendungen verglichen und eruiert (VOLKMANN et al. 2012) und auf diese spezifischen Bedürfnisse angepasste Tutorials, wie Beispielsweise zur Georeferenzierung von historischen Kartenwerken oder archäologische Fundstellenkartierung mit Open Source GIS-Software, erstellt (vgl. VOLKMANN 2014; 2015b).

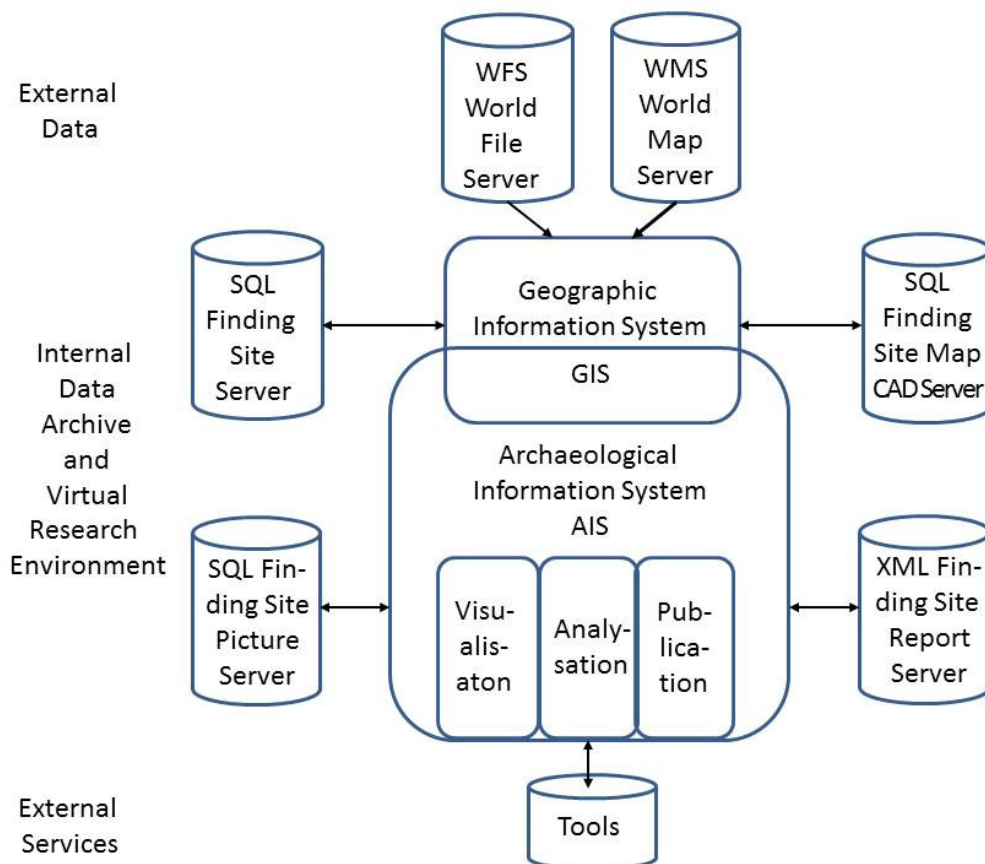


Abb. 1: Modell unseres Archäologischen Informationssystems (AIS). Das Geografische Informationssystem (GIS) ist in die virtuelle Forschungsumgebung des AIS integriert und ermöglicht den Zugriff auf externe und interne Datenbanken, d.h. via Internet und Intranet. Das AIS dient der Daten-Visualisierung, -Analyse und letztlich -Publikation heterogener archäologischer Fachdaten (Fundstellenkataster, Grabungspläne, Fotodokumentation und Grabungsberichte) unter Einbindung von weiteren (Open Source) Tools. Weiterführend zu Forschungsdaten-Infrastrukturen und virtuellen Forschungsumgebungen für die Archäologie Volkmann 2014b; Grafik Verfasser

Im analytischen Teil der Studie werden bisher kaum erforschte prähistorische Siedlungsraumkonzepte fokussiert. Dies erfolgte durch die Konzeption und den Aufbau eines archäologisch orientierten GIS (CONOLLY & LAKE 2008), dessen basierendes Datenbanksystem für den Umgang mit heterogenen Datenquellen modifiziert wurde, um neben Messdaten (Laserscanner und Totalstation) aus Feld-Surveys (vgl. VOLKMANN et al. 2016) auch mit heterogenen Text- und Bildquellen aus Retrodigitalisaten (Ausgrabungsberichte, Publikationen,

Grabungsfotographien, handgezeichneten Plänen et cetera) umgehen zu können. Ausgehend von einem GIS entstand dabei ein generisches AIS (Archäologisches Informationssystem), das diese speziellen Bedürfnisse der archäologischen Wissenschaften explizit berücksichtigt (s. Abb. 1) und grundlegend auf Open Source GIS-Software und eingebundene Hardware-Komponenten der verschiedenen Fundstellen-, Bild-, Karten- und Messdaten-Server (teils via WMS und WFS) besteht (VOLKMANN 2014b; 2016). Verwendet wurde dabei die Open Source Quantum GIS, die durch die äußerst aktive internationale Nutzerschaft mit mittlerweile hunderten sogenannten Pugins individuell anpassbar und stark erweiterbar ist (<http://www.qgis.org>). Bei der Programmierung individueller Pugins mit teils eingehender Konzeption von Datenbanken und entsprechenden Datenmodellen wurden international gebräuchliche Standards für Geodaten verwendet, die aber nicht immer oder ohne Weiteres auf geistes- und kulturwissenschaftliche Daten übernommen werden können, da diese Daten oft als imperfekte Daten mit partiell unsicheren Angaben zu Raum und Zeit vorliegen. Hieraus ergeben sich besondere Herausforderungen in der beiderseitig ergiebigen Zusammenarbeit von Geoinformatik und Archäologie, die dahingehend berücksichtigt werden müssen (VOLKMANN 2017).

2 Problemstellung

Seit den letzten Jahren haben verstärkt Methoden der Geoinformatik auch in den archäologischen Wissenschaften ihren Niederschlag in einigen hochambitionierten Projekten gefunden. Hier sind besonders die Aktivitäten der AG Computeranwendungen & quantitative Methoden in der Archäologie (CAA) hervorzuheben, die in ihren Jahrestagungen besonders das hohe Potential in der Zusammenarbeit von Geoinformatik und Archäologie deutlich machen (vgl. z.B. den Tagungsband des DEPARTMENT OF HISTORY AND CULTURAL HERITAGE 2015). In der vorliegenden Studie wurden die archäologischen Fundstellen einer intensiven Quellenkritik unterzogen, um den in den archäologischen Fachdaten weit verbreiteten Problemen der teils nicht gesicherten räumlichen und zeitlichen Eindeutigkeit effektiv zu begegnen. Dabei wurden Modelle der „Fuzzyifizierung“ bzw. der Fuzzy-Logic im AIS erprobt und angewandt, um neue Perspektiven in der archäologischen Fundstellenarchivierung, -kartierung und folgenden -analyse zu eruieren (grundlegend dazu: KAINZ 2002). Aufgrund des oft nur unscharf datierenden Fundmaterials werden darüber hinaus zeitliche Gewichtungen durch Aoristic-Analysis im AIS auf deren Handhabbarkeit im Kontext der archäologischen Fachdaten untersucht, um eben diese Fundstellen besser zeitlich zu klassifizieren (RATCLIFFE 2000). Ebenso weisen Netzwerkanalysen einen eher experimentellen Charakter auf (BRUGHMANS 2013), da neben der oft nicht gesicherten Gleichzeitigkeit der Fundstellen deren prähistorische Interaktion nur aufgrund des stark fragmentiert überlieferten Fundmaterials der einstigen archäologischen Kultur in Form von bei Ausgrabungen erkannten Befunden und Funden rekonstruiert werden kann. Als Annäherung an antike Besiedlungsmuster werden Voronoi-Diagramme aus Thiessen Polygonen im AIS für jede relevante Zeitstufe der Römischen Kaiserzeit, Völkerwanderungszeit und Merowingerzeit berechnet, die den Vergleich hypothetischer Siedlungskammern mit ihren ganz eigenen Raummustern im zeitlichen Verlauf erlauben (vgl. KNAPPETT 2013; VOLKMANN 2015a). GIS-basierte Delaunay-Triangulation für Next-Neighbour-Beziehungen der räumlichen Lage der Fundstellen zeigen mögliche Verbindungen der Siedlungen zueinander auf. Mit Least-Cost-Path-

Analysen werden plausible Paläowegverbindungen im GIS berechnet, die basierend auf der algorithmischen Auswertung des Digital Surface Modells DGM1 der Bayerischen Vermessungsverwaltung sehr detailliert rekonstruiert werden (HERZOG 2012). Kumulative Least-Cost-Path-Analysen ermöglichen die flächige Berechnung von Distanzzonen bzw. Erreichbarkeitszonen, die als gewichtete Information aus dem GIS in die Datenbank zurückfließen und folgend tiefergehend untersucht werden (siehe VOLKMANN im Druck-1). Viewshed-Analysen ermöglichen darüber hinaus Sichtbarkeitsmerkmale der Siedlungen zueinander adäquat zu erforschen. Anknüpfend an vorherige geoarchäologische Studien in der Oderregion werden die Methoden der Site Catchment-, bzw. der Site Location-Analysen methodisch weiterentwickelt, um diese vergleichend auch am mittleren Main mit strukturell abweichenden Datensätzen (wie thematischen Kartenwerken zum Bodentyp et cetera) und geökologischen Voraussetzungen anzuwenden (vgl. VOLKMANN im Druck 2).

2.1 Fallbeispiel I: Forschungsdaten-Gateway zur intelligenten Visualisierung und Auswertung groß-skaliger LiDAR-Daten für die Archäologie

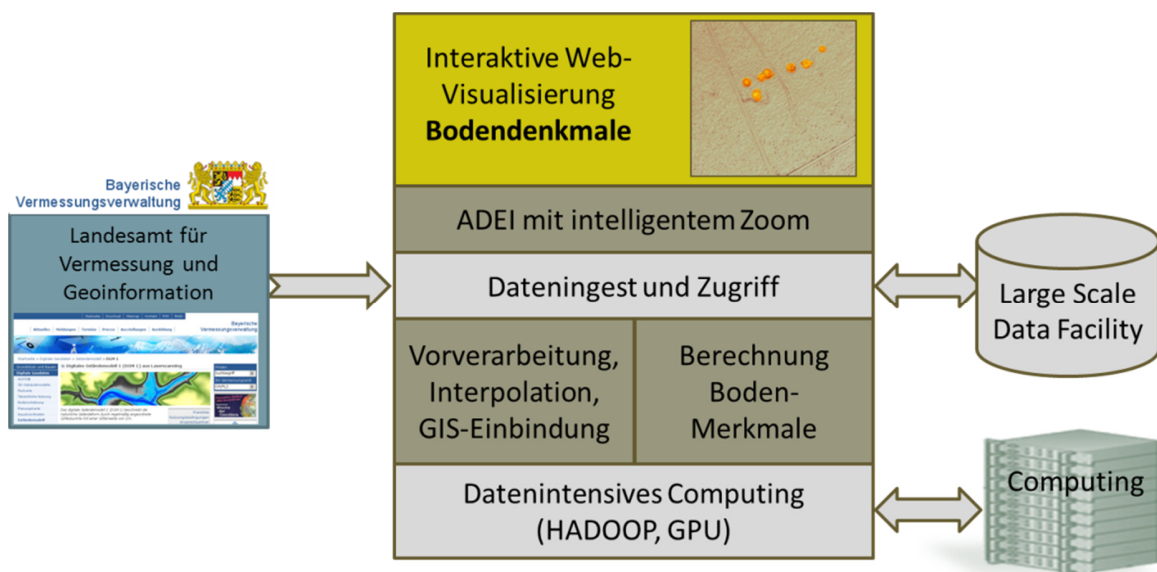


Abb. 2: Konzeption unserer Forschungsdaten-Gateway-Infrastruktur in Form des interaktiven Web-GIS zur intelligenten Visualisierung, Auswertung und Informationsextraktion groß-skaliger LiDAR-Daten für die Archäologie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mit der Large Scale Data Management Group; ADEI Advanced Data Extraction Infrastructure; Apache HADOOP Software Framework; GPU Graphics Processing Unit; Grafik KIT.

Gleichzeitig ergeben sich aber neben den oben genannten Chancen auch zahlreiche Problemstellungen im praktischen Umgang beispielsweise mit Daten-LiDAR durch deren beachtliche Datengröße. Die uns im Rahmen der Studie für den gesamten Regierungsbezirk Unterfranken flächendeckend für fast 9000km² vorliegenden Airborne Laserscandaten weisen insgesamt eine Speichergröße von fast 2,5 Terabyte auf (VOLKMANN & RAUN 2015). So konnten

neben dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege, das Bayerische Landesamt für Umwelt und Landesamt für Vermessung und Geoinformation (LVG) als Kooperationspartner des Projektes gewonnen werden, wobei letzteres uns die LiDAR-Daten durch eine Kooperationsvereinbarung bereitstellen konnte. Die LiDAR-Daten des LVG Bayern bestehen aus den ungefilterten Rohdaten des First Pulse mit Vegetation und Last Pulse ohne Vegetation sowie dem gefilterten DGM1 mit einer 1-Meter-Auflösung (bzw. Messgitterweite). So liegen uns im Rahmen der Untersuchung insgesamt zirka 79.000 einzelnen Dateien vor, die jeweils meist 1km² Geländeabdeckung aufweisen.

Für die Untersuchungsfläche mussten die LiDAR-Datensätze der Dateien interpoliert, georeferenziert in ein geografisches Informationssystem (GIS) eingebunden und ausgewertet werden. Die reine Vorverarbeitung der Interpolation der DGM1-Daten zu GeoTiff-Geländemodellen (mit dem Skript OPALS) benötigte eine manuelle Bearbeitungszeit von ca. 60 Minuten pro 10km², sodass ca. fast 113 Arbeitstage (a 8h Arbeitszeit) reine Rechenzeit alleine für den Bereich Unterfrankens erforderlich waren. Wenn man dies auf die Fläche Deutschlands mit einer Datengröße des Gesamt-DGM1 von ca.100 TB hochrechnet, wären ca. 4500 Arbeitstage reine Interpolationsrechenarbeit eines Mitarbeiters erforderlich, um die Geländemodelle zu erstellen. Moderne handelsübliche Computer können Datensätze bis zu einer Größe von einem Gigabyte noch effektiv in einer annehmbaren Berechnungszeit kalkulieren. Dies entspricht dabei einer Fläche von zirka 100km² mit 100 GeoTiffs im Arbeitsspeicher unseres AIS, im dem diese optisch nach anthropogenen Strukturen, wie Hügelgräber, Wege oder Burgwallbefunde, gesichtet werden. Dies ist manuell nicht mehr zu bewältigen, da es zum einen zu zeitintensiv ist, aber zum anderen die qualitativen Ergebnisse sehr stark vom auswertenden Individuum abhängen, das selektiv (mehr oder weniger systematisch und standardisiert) Bodendenkmale erkennt oder eben nicht erkennt. Die Auswertung erfolgt daher standardisiert anhand eines Vergleichskataloges typischer Bodendenkmale und diskriminierender Merkmalsausprägungen moderner Strukturen, wie Bebauung und Straßen, manuell und benötigt aufgrund der Komplexität zusätzlich ca. einen Bearbeitungstag pro 100km², sodass nun an semi-automatisierten Ansätzen zur effektiveren Eingrenzung archäologischer Verdachtsflächen anhand der LiDAR-Befunde gearbeitet wird. Dazu werden Technologien für ein interaktives Forschungsdaten-Gateway entwickelt, mit dem groß-skalige 3D-Daten in Echtzeit prozessiert, mit Daten aus anderen Quellen fusioniert und intelligent visualisiert werden können. Angewandt auf Laserscandaten sollen damit innerhalb der Landschaftsarchäologie besonders in Waldgebieten bisher unzugängliche und unbekannte Bodendenkmale hocheffektiv entdeckt werden. Die fokussierten Technologien (s. Abb. 2) können Teile der Vorverarbeitung und der Merkmalsextraktion direkt bei der Einspeisung der Daten in das Archiv-Gateway automatisch auf einem HADOOP-Cluster durchführen. Beschleunigungen um den Faktor 100, gegenüber der herkömmlichen Bearbeitung, sind auf einem solchen System realistisch. Die Auswertung der Daten erfolgt interaktiv durch den archäologischen Bearbeiter, wobei aber aufgrund der intelligenten Visualisierung interessante Stellen auch bei sehr großen Skalen in Echtzeit dargestellt werden können. So können Gebiete von mehreren Hundert km² pro Tag erschlossen und mit anderen Karten im AIS abgeglichen werden. Hierzu wird innerhalb der Large Scale Data Management Group am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) an genau solchen Lösungsansätzen gearbeitet, die auf einem interaktiven Web-GIS beruhen, wobei dafür bereits

bestehende Open Source Technologien (wie die Javascript Libraries Leaflet und OpenLayers) auf unsere Bedürfnisse zielgerichtet angepasst werden.

2.2 Fallbeispiel II: Siedlungsstrukturen und Paläowegverbindungen in den Jahrzehnten um die Zeitenwende – Landschaftsarchäologie im AIS

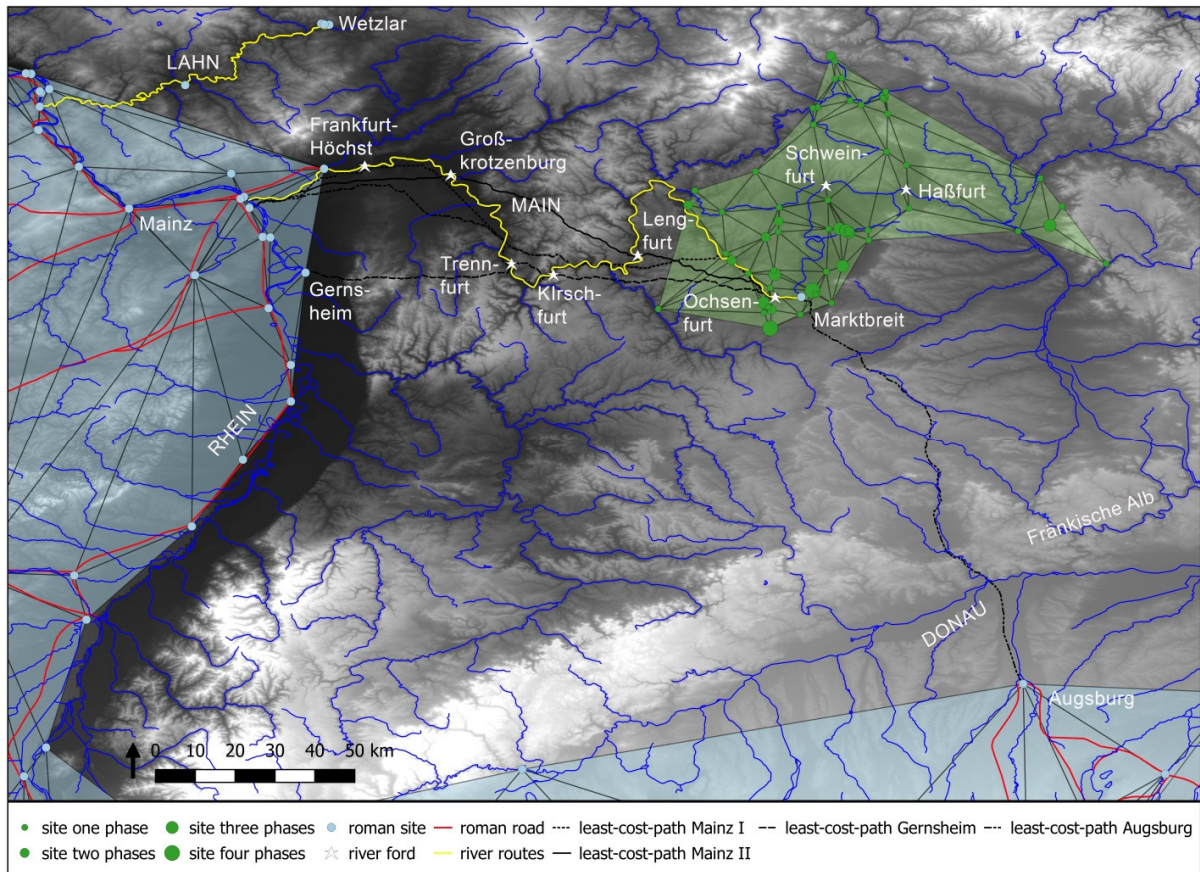


Abb. 3: Untersuchungsregion am mittleren Main zur Zeitenwende (in den Jahren 15 v. Chr. bis 70 n. Chr.). Die germanischen Fundstellen im Barbaricum außerhalb des Limes werden nach Länge der Besiedlungsandauer als entsprechend groß gewichtete grüne Punkte dargestellt, die wahrscheinlich der unterschiedlichen Bedeutung der Siedlungsplätze entsprechen. Im Westen und Süden bestanden im Römischen Reich schon einige gut ausgebaute Straßenverbindungen, die im Barbaricum in dieser Form nicht vorhanden waren. Mit gelben Linien sind Exkursionsrouten der Römer ins Barbaricum auf den Flüssen Lahn und Main hervorgehoben. Vier potentielle Landrouten zum römischen Kastell von Marktbreit im inneren Barbaricum sind mit schwarzen Linien des Weiteren hervorgehoben; Grafik Verfasser

Ausgangslage war hierbei die seit längerem bestehende Fragestellung, ob das römische Kastell von Marktbreit, das weit außerhalb des römischen Limes in mitten einer germanischen Siedlungskammer zielgerichtet angelegt wurde, von Süden her vom römischen Augsburg (Augusta Vindelicorum) oder von Westen her vom römischen Mainz (Mogontiacum) erschlossen wurde. Diesem Desiderat wurden systematisch nachgegangen, indem im AIS plausible Erschließungsrouten kalkuliert und verglichen wurden. Dazu wurden auf dem digitalen

Geländemodell DGM1 im GIS Least-Cost-Path Analysen durch die Einbindung von bestehenden GASS-GIS Algorithmen durchgeführt, die in der Anwendung trainiert werden konnten und deren standardisierter Arbeitsablauf an spezifische Bedürfnisse, wie maximale Steigung, Geschwindigkeit, Passierbarkeit von Gewässern, bzw. Barrieren u.a., anpassbar ist (<https://grass.osgeo.org>).

Die germanische Siedlungskammer am mittleren Main, in deren Zentrum im frühen 1. Jahrhundert das römische Kastell von Marktbreit kurzfristig errichtet wurde, wird durch die Höhenzüge der Mittelgebirge im Norden begrenzt. In der zugehörigen Karte des Höhenreliefs sind diese als helle Bereiche dargestellt (s. Abb. 3), und es wird deutlich, dass sie keinerlei Besiedlung aufwiesen. Die frühgermanischen Siedlungen liegen ausnahmslos in der Niederungszone des Flusslaufes des Mains mit einmündenden Bächen in den Seitentälern. Im frühen 1. Jahrhundert n.Chr. befinden sich der römische Einflussbereich am mittleren Rhein und die germanische Siedlungskammer am mittleren Main über 100km weit voneinander entfernt, wobei beide durch eine unbewohnte Zone, die Berge des Spessarts, getrennt werden. Dieser unbewohnte Grenzsäum stellte durch die Höhenlage und für den Ackerbau ungünstige geökologische Bedingungen eine natürliche Barriere dar.

Der Verlauf bedeutender Fernhandelsrouten konnte innerhalb des Römischen Reiches aus den Angaben der schriftlichen Quellen im Zusammenspiel mit den archäologischen Befunden von Römerstraßen rekonstruiert werden, wenn auch hier oft nicht die exakten Routen, sondern nur die jeweiligen Stationen bzw. Etappen oder Ziele erfasst wurden (vgl. Digital Atlas of Roman and Medieval Civilisation online). Außerhalb des Römischen Reiches ist dies sehr viel schwieriger, da die schriftlichen Quellen, wenn überhaupt, nur sehr spärliche Angaben zum Verlauf der Routen enthalten und entsprechende archäologische Befunde fehlen. Im Rahmen der Least-Cost-Path-Analysen wurden die Schwierigkeitsgrade für den Reisenden bei verschiedenen Wegführungen grundlegend aufgrund der geomorphologischen Geländeoberfläche verglichen. Dies erfolgte anhand des ins AIS eingebundenen, hochauflösenden digitalen Geländemodells (DGM1), an dem zahlreiche hypothetische Verbindungen berechnet wurden, um plausible Wege der Römer im Zuge der Anlage des Kastells von Marktbreit aufzeigen zu können. Das Legionslager wurde weit östlich und nördlich außerhalb des Römischen Reiches während eines Feldzuges gegen die noch weiter östlich ansässigen Markomannen im Barbaricum errichtet und war nur für sehr kurze Zeit, in den Jahren 5 bis 9 n. Chr., in Nutzung, wie die archäologischen Befunde verdeutlichen. Mit einer gelben Farbsignatur ist in der Karte (Abb. 3) als Wasserroute der mittlere Main markiert, der den Römern, ebenso wie die schwarz markierten Landwege, als potenzieller Weg zur Anlage des Legionslagers von Marktbreit gedient haben könnte. Es ist davon auszugehen, dass der mittlere Main (Moenus) schon im frühen 1. Jahrhundert n.Chr. von mittelgroßen römischen Schiffen genutzt wurde, die nachweislich auf dem Rhein und oberen Main verkehrten. Laut den schriftlichen Quellen, wie z.B. Inschriften auf steinernen Bauelementen, wurde am Rhein die römische Schiffsflotte *classis Germanica* um 13 v.Chr. aufgestellt, um einerseits den Rhein als römische Außengrenze zu sichern und um andererseits von dort aus Expeditionen ins Barbaricum östlich des Rheins zu unternehmen (s. Epigraphische Datenbank Heidelberg der Akademie der Wissenschaften online).

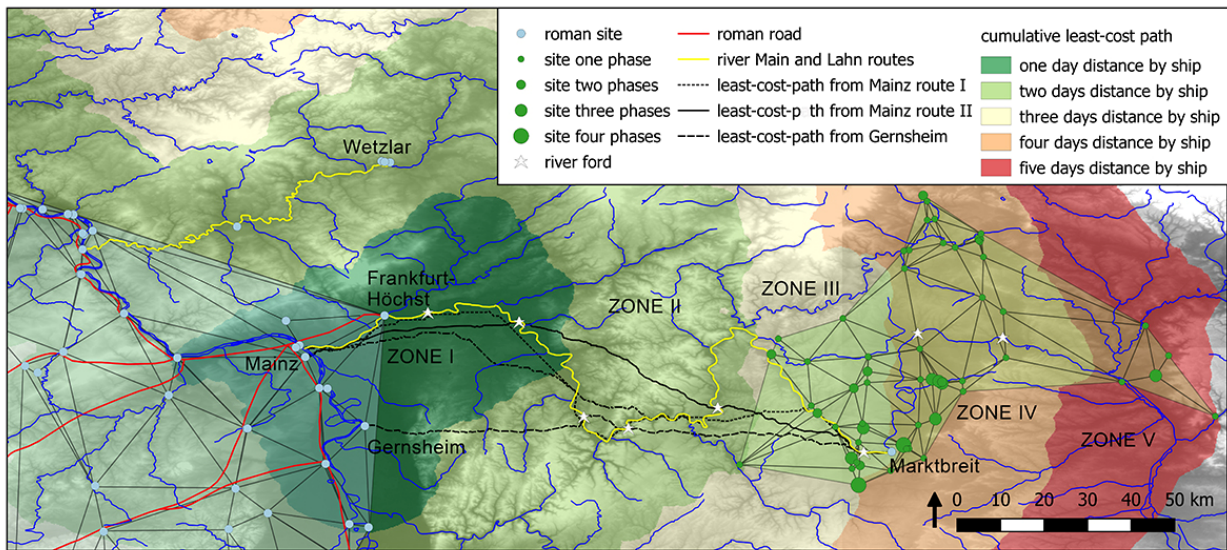


Abb. 4: Roman point of view – Ausgehend vom Auxiliarkastell von Frankfurt-Höchst, das zum Teil mit germanischen Hilfstruppen besetzt war, lag Marktbreit gerade noch in der mittel-gut zu erreichenden Distanzzone III. Die hier in der Abbildung gezeigten fünf Distanzzonen stellen Erreichbarkeitsmodelle dar, die im AIS (GRASS-GIS-Modul) mit kumulativen Least-Cost-Path-Analysen vom Ausgangspunkt Frankfurt-Höchst flächig berechnet und visualisiert wurden (vgl. VERHAGEN et al. 2012). Die Least-Cost-Path-Analysen basieren auf der algorithmischen Auswertung des Digital Surface Modells (DGM1) mit Hangsteigungswerten oder des Netzwerks der größeren Fließgewässern, die ähnlich wie in römischer Zeit existierten, und sie dienen der Berechnung von zusammengefassten Zonen potentiell guter (grün) bis schlechter (rot) Erreichbarkeiten, bzw. geringem (grün) bis hohem (rot) Aufwand in der Erreichbarkeit, wie im gezeigten Fall per Schiff. Sehr interessant ist, dass, bis auf die Ausnahme einer germanischen Fundstelle, alle anderen in den Erreichbarkeitszonen III–V liegen. D.h. aus der Sichtweise Roms waren die nächstgelegenen germanischen Siedlungen am Main potentiell nicht einfach zu erreichen, wobei zielgerichtet das Kastell von Marktbreit unter den Aspekten bestmöglicher Verkehrsanbindung und gleichzeitiger zentraler Lage in der germanischen Siedlungskammer errichtet wurde; Grafik Verfasser

Der Landweg als potenzielle Erschließungsrouten ins Innere des Barbaricums könnte durchaus von großer Bedeutung gewesen sein, da der Main durch geologisch gegebene Furten auch ohne Brücken- oder Floßbau bei temporären Niedrigwasserständen (oder bei Vereisung) leicht zu überqueren war. Interessanterweise haben sich die Hinweise auf natürliche Mainfurten noch in den heute dort existierenden Ortsbezeichnungen erhalten, die – mit Ausnahme von Großkrotzenburg – alle mit dem Suffix „-furt“ enden (s. Abb. 3). Als Ausgangsort für eine römische Expedition ins Barbaricum kommt neben Frankfurt-Höchst auch das bedeutende Legionslager von Mainz (Mogontiacum) mit dem zugehörigen Brückenkopfkastell von Mainz-Kastel (Castellum Mattiacorum = Kastell im Land der Mattiaker) östlich des Rheins in Betracht. Das römische Mogontiacum, das unter Drusus seit 13/12 v. Chr. angelegt worden war, erlangte später Bedeutung als Provinzhauptstadt mit Sitz der Verwaltung und städtischer Infrastruktur. Es wies einige herausragende Monumentalbauten auf und ist auch als ein wichtiger Militärstandort am Rhein zu identifizieren (vgl. ARCHÄOLOGISCHES LANDESMUSEUM BADEN-WÜRTTEMBERG

2005). So bildete Mogontiacum das Tor zum Barbaricum für Schiffstouren auf dem Rhein und Main und ebenso für Landexkursionen.

Eine zweite nördliche Route über Land nach Marktbreit führte an Frankfurt-Höchst im Flachland des niederen Mains vorbei und knüpfte im Westen an eine bereits existierende Römerstraße an. Das dortige Flachland endet östlich erst in der Region um Großkrotzenburg, wo eine natürliche Flussfurt das Überqueren des Mains erleichterte. Erst zwischen 105 und 110 n.Chr. entstand dort ein Kastell, das Garnisonsstandort der *cohors III Vindelicorum* war (vgl. Deutsche-Limeskommission online). Spätestens ab 134 n.Chr., zum Ende der Regierungszeit Kaiser Hadrians, wurde bei dem Kastell eine steinerne, permanente Mainbrücke errichtet, wie dendrochronologische Untersuchungen der archäologisch dokumentierten Fundamentpfähle aus dicken Holzstämmen belegen (vgl. Museen-Mainlimes online). Das Kastell von Großkrotzenburg mit angeschlossenem vicus lag auf der östlichen Mainseite genau gegenüber dem kleinen Numerus-Kastell von Hainstadt am westlichen Ufer, das wohl schon im 1. Jahrhundert n.Chr. erbaut worden war (vgl. GREINER 2005).

Östlich des Mains beginnt dort das hügelige Waldland des Spessarts, das durch seine beachtlichen Höhenlagen und das raue Klima bis in das Spätmittelalter hinein nahezu unbewohnt blieb. Im Bereich des Spessarts sind im hochauflösenden digitalen Geländemodell zahlreiche Altwegesysteme erkennbar, die durch die Bewaldung bzw. den nicht vorhandenen Ackerbau und infolgedessen geringere Bodenerosion erhalten blieben (s. Abb. 5). Die Landroute von Mainz nach Marktbreit führt nach dem Höhenabstieg des Spessarts hin zur natürlichen Mainfurt beim heutigen Ort Lengfurt. Östlich davon ist im Anschluss das Relief weit weniger steil und nur noch hügelig, was geologisch durch den dortigen verwitterten Muschelkalk bedingt ist. Der restliche Weg nach Osten bis nach Marktbreit konnte im südlichen Tal des Mains recht angenehm ohne große Steigungen zurückgelegt werden. Über Land beträgt der Weg ausgehend von Mainz bis nach Marktbreit insgesamt 168km, was ca. fünf Tagesmärschen entspricht, da die römische Infanterie oder Reiterei pro Tag bis zu 30–40km problemlos zurücklegen konnte.

Eine alternative Landroute stellt der Weg ausgehend von Gernsheim dar, das am östlichsten Punkt der Grenze des Römischen Reiches in der Region liegt (s. Abb. 4). In Gernsheim bestand am östlichen Rheinufer vermutlich ein Truppen-Standort mit Hafen, der, wie Funde belegen, ab ca. 70 n.Chr. militärisch genutzt wurde (s. HÜSSEN 2000). Der Landweg nach Marktbreit betrug von hier aus nur 148km, die ca. vier Tagesmärschen entsprechen. Bei dieser Route mussten zudem nicht die Höhenzüge des Spessarts überwunden werden. Bei Trennfurt und Kirschfurt konnte der Main in den dortigen natürlichen Furten durchquert werden. Alternativ ließ sich, wenn man auf diese Abkürzung verzichtete und einen Umweg von ca. 5km in Kauf nahm, Marktbreit auch ganz ohne die gefährliche Maindurchquerung erreichen, indem zwischen Trennfurt und Kirschfurt der flache Auenbereich am südlichen Mainufer als natürlich vorgegebene Route genutzt wurde (vgl. Abb. 3). So ist der Landweg von Gernsheim nach Marktbreit eindeutig die bessere und schnellere Route.

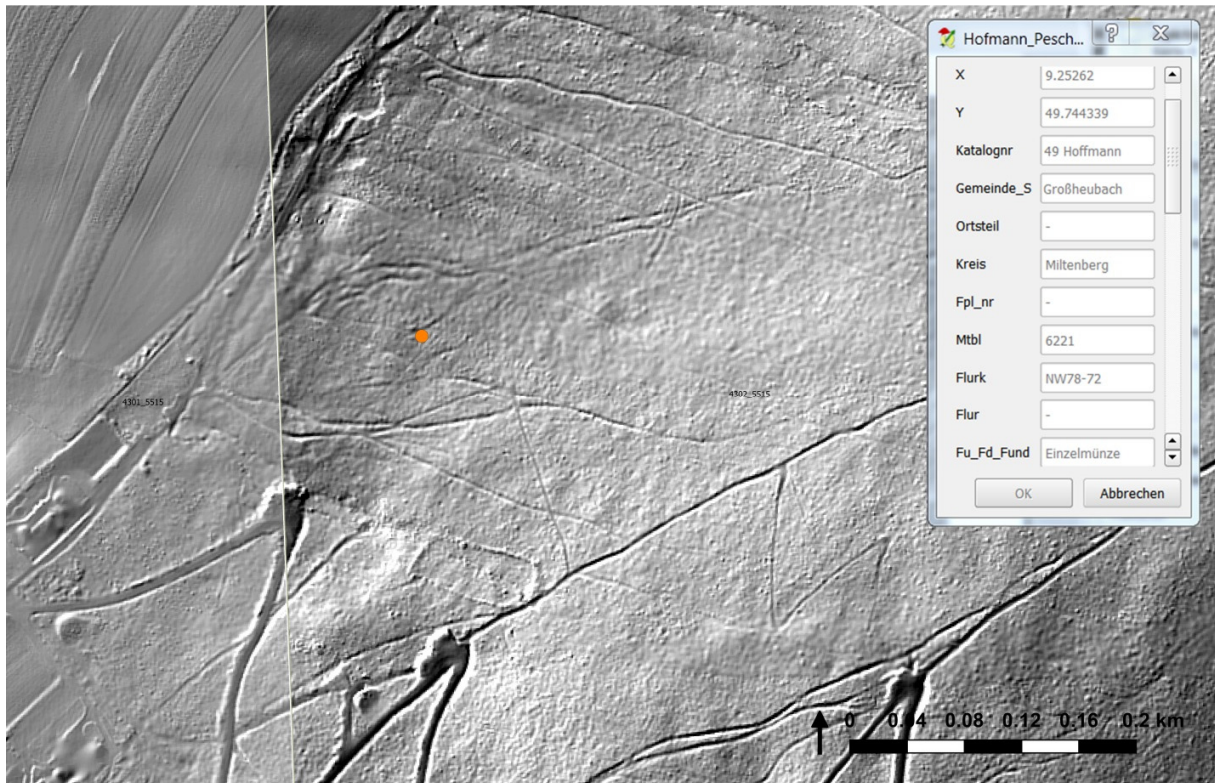


Abb. 5: Hohlwege in einem multiplen Pfadsystem mit temporär genutzten Wegabschnitten, die vom flachen Ackerland (links) zum bewaldeten Plateau (rechts) aufsteigen und deren Datierung allgemein vom Hochmittelalter bis in die Eisenzeit anzusetzen ist. Besonders in Waldgebieten haben sich durch die schützende Baumvegetation, bzw. den nicht vorhanden und durch den Pflug zerstörend wirkenden Ackerbau, neben Altwegesystemen auch vielerlei weitere Bodendenkmale, wie z.B. Hügelgräber, erhalten. Anhand des Fundes einer römischen Münze der späten römischen Kaiserzeit (roter Punkt) erscheint eine entsprechende Feindatierung dieses Wegabschnittes ins späte 3. bis 4. Jahrhundert n.Chr. durchaus realistisch zu sein (ganz rechts oben Fundstelleninformation aus der mit dem GIS verknüpften Datenbank). Folgende geoarchäologische Feldstudien sollen dies verifizieren und die Mehrphasigkeit des multiplen Pfadsystems detailliert untersuchen; Digitales Geländemodell DGM1 des Bayerischen Landesamts für Vermessung und Geoinformation; Grafik Verfasser.

Denkbar ist auch eine Südroute nach Marktbreit, die vom Legionslager Augusta Vindelicorum, der späteren Hauptstadt der römischen Provinz Raetien, im heutigen Augsburg und vom nördlich davon gelegenen Kastell Submuntorium (bei Burghöfe a.d. Donau) ihren Ausgang nahm (s. Abb. 3). Dieses lag unmittelbar südlich der Donau zwar in nur ca. 124 km Entfernung per Luftlinie zu Marktbreit, jedoch musste auf diesem Weg das Nördlinger Ries passiert werden, was mit einer großen Anzahl von zurückzulegenden Höhenmetern einherging. Die Wegstrecke dieser Route Burghöfe-Marktbreit beträgt 142 km (bzw. 157 km bei geringster Steigung) und ist damit interessanterweise ähnlich lang, wie die Route Gernsheim-Marktbreit mit 146 km (bzw. 157 km bei geringster Steigung). Der große Unterschied ist aber ausgehend vom Kastell Burghöfe die zu bewältigende Reliefamplitude und damit einhergehenden, zurückzulegenden Höhenmeter, die durch die Passage über die Ausläufer der Schwäbisch-Fränkischen Alb und Querung des Nördlinger Ries, mit dem steilem Aufstieg aus dem Ries, und weiter nördlich über die

Frankenhöhe bis an den Main bei Marktbreit entstehen. So ist die Summe der zu absolvierenden Höhenmeter wesentlich größer als bei der Route Gernsheim-Marktbreit, die über das Fränkische Schichtstufenland östlich des Odenwalds auf den Höhenzügen parallel im weiteren Umfeld zum Main verläuft. Innerhalb der Strecke von Gernsheim müssen insgesamt 2360 Höhenmeter zurückgelegt werden, wohingegen bei der Strecke von Burghöfe mehr als 3110 Höhenmeter zu absolvieren sind. Daher erscheint die theoretisch mögliche Südroute ausgehend von Burghöfe im römischen Grenzland an der Donau weniger praktikabel gewesen zu sein als die Westroute vom Grenzland im Rhein-Maingebiet.

Neben diesen Landrouten waren aber auch die größeren Flüsse, wie der Main, für die Römer beliebte Verkehrswege: Ausgehend vom kleinen römischen Auxiliarkastell von Frankfurt-Höchst am Main, das bereits um die Zeitenwende datiert, konnte das via Mainroute ca. 275km entfernt liegende Marktbreit per Schiff in ca. drei Tagen erreicht werden (s. Abb. 4). Mit römischen Schiffen konnten mehr als 100km pro Tag zurückgelegt werden, wie zahlreiche auf archäologischen Funden basierende Rekonstruktionen von Römerschiffen mit experimentellen Schifffahrtstouren auf mitteleuropäischen kleineren und größeren Flüssen eindrucksvoll belegen (Römisch-Germanisches Zentral Museum RGZM/ Museum für Antike Schifffahrt Mainz online). Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist von Mainz oder vom Kastell Frankfurt-Höchst aus die dreitägige Schiffsreise auf dem Main bevorzugt worden, da von dort aus eine lange, vier bis fünf Tage dauernde und zudem anstrengend steile sowie durch die Mainfurten gefährliche Landroute an sich weniger realistisch erscheint. Jedoch hatte die Schiffsroute den Nachteil, dass ein Schiff auf dem mittleren Main von den steilen Hängen aus schon von weitem gesehen werden konnte und somit ein leichtes Ziel für mögliche Angriffe darstellte. Daher kann die längere Landroute letztlich für exploratorische Militäraktionen der Römer ins Barbaricum durchaus von Vorteil gewesen sein.

3 Fazit & Ausblick

Als Adaption eines GIS wurde ein archäologisches Informationssystem (AIS) konzipiert und umgesetzt, das sehr heterogene Geo- und Archäo-Daten kontextualisiert und auf die Bedürfnisse der fachspezifischen Anwendung und Analyse ausgerichtet ist (vgl. VOLKMANN 2016). Durch die Zusammenbringung der zuvor sehr verstreut vorliegenden Informationen konnte ein ganz neuer Wissenstand zur Besiedlung in der Antike und im Frühmittelalter am mittleren Main generiert werden, der perspektivisch durch die strikt generische Konzeption sowohl zeitlich als auch räumlich erweitert werden kann. Im Rahmen der multiplen Datenanalyse werden Verfahren der Geoinformatik an den aggregierten archäologischen Fachdaten angewandt. Dabei entstehen u.a. neuartige Besiedlungs-Raummodelle, die wiederum die Ausgangslage für weitere Untersuchungen darstellen. In den vorgestellten Analyseschritten dienen diese Raummodelle der Annäherung bzw. der Rekonstruktion von prähistorischen Kulturlandschaftsmodellen mit plausiblen Paläowegverbindungen sowie dem grundlegenden Verständnis der Konzeption des prähistorischen Raums, was nicht nur in der Untersuchungsregion ein seit langem bestehendes Desiderat darstellte. Diese Forschungslücke ist dabei besonders geeignet mit geoinformatischen Methoden neu hinterfragt zu werden, wie es in unserer Untersuchung erfolgt. So können Theorien zur Zentralörtlichkeit (NAKOINZ 2009) und zu Netzwerkstrukturen (KNAPPETT 2013)

durch die Implementierung entsprechender Module direkt im AIS überprüft und analysiert werden, das somit nicht nur der Datenverwaltung und Visualisierung dient, sondern darüber hinaus der Generierung von grundlegend neuem Wissen dienen kann.

Die Studie ist in die Arbeiten der Nachwuchsforschungsgruppe „Digital Humanities and Cultural Heritage with focus on Archaeoinformatics“ am „Cluster of Excellence Asia and Europe in a Global Context“ an der Universität Heidelberg in Form von zwei Dissertation und einer Habilitation eingebunden. Zusammenarbeiten erfolgen dabei mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) im Rahmen der Large Scale Data Management Group und mit der Geoinformatik der Universität Heidelberg.

Der Verfasser möchte an dieser Stelle ganz ausdrücklich den Kooperationspartnern: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Landesamt für Vermessung und Geoinformation für die großzügige Datenbereitstellung danken, ohne diese die vorliegende Studie nicht möglich gewesen wäre.

4 Literaturverzeichnis

- ARCHÄOLOGISCHES LANDESMUSEUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): Imperum Romanum, Roms Provinzen an Neckar, Rhein und Donau. Theis Verlag.
- BRUGHMANS, T., 2013: Thinking through Networks: A Review of Formal. Network Methods in Archaeology, *Journal of Archaeological Method and Theory* 12/2013, **20**(4), 623-662.
- CONOLLY, J., & LAKE, M. 2008: Geographical Information Systems in Archaeology. Cambridge University.
- DEPARTMENT OF HISTORY AND CULTURAL HERITAGE (Hrsg.), 2015: 43rd Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Annual Conference. Book of Abstracts. University of Siena 2015.
- GREINER, B.-A., 2005: Die Kastellvici am vorderen Limes, ARCHÄOLOGISCHES LANDESMUSEUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) Imperum Romanum. Roms Provinzen an Neckar, Rhein und Donau, Theis Verlag, 165-168.
- HERZOG, I., 2012: Least-cost networks, *Archaeology in the Digital Era. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 2012*, EARL, G., SLY, T., CHRYSANTHI, A. & MURRIETA-FLORES, P. et al. (Hrsg.), 237-249, <http://dare.uva.nl/aup/nl/record/468863>.
- HOFFMANN, K., 2004: Kleinfunde Der Römischen Kaiserzeit aus Unterfranken. Studien Zur Siedlungsgeschichte und kulturellen Beziehung zwischen Germanen und Römern. *Internationale Archäologie* **80**, Verlag VML.
- HÜSSEN, C.-M., 2000: Sicherung der Reichsgrenze. Die Römer zwischen Alpen und Nordmeer, WAMSER, L. (Hrsg.), Verlag Phillip von Zabern, 58-63.
- KNAPPE, C. (Hrsg.), 2013: Network Analysis in Archaeology. New Approaches to Regional Interaction, Oxford University Press.
- OBST, R., 2012: Die Besiedlungsgeschichte am nordwestlichen Maindreieck vom Neolithikum bis zum Ende des Mittelalters. Würzburger Arbeiten zur Prähistorischen Archäologie **4**, Verlag Marie Leidorf.
- PESCHECK, Chr., 1978: Die germanischen Bodenfunde der römischen Kaiserzeit in Mainfranken, C.H. Beck Verlag 1978.

- KAINZ, W., 2002: Fuzzy Logic and GIS. Department of Geography and Regional Research, Universität Wien 2002.
- KAPPAS, M. 2012: Geographische Informationssysteme. Westermann Verlag.
- DE LANGE, N. 2013: Geoinformatik in Theorie und Praxis. Springer-Verlag.
- NAKOINZ, O., 2009: Zentralortforschung und zentralörtliche Theorie. Archäologisches Korrespondenzblatt **39**, 361-380.
- RATCLIFFE, J. H., 2000: Aoristic analysis: the spatial interpretation of unspecific temporal events, *International Journal Geographical Information Science* **14**(7), 669-679.
- VERHAGEN, P., BRUGHMANS, T., NUNINGER, L. & BERTONCELLO, F., 2012: The Long and Winding Road: Combining Least Cost Paths and Network Analysis Techniques for Settlement Location Analysis and Predictive Modelling, CAA2012 Proceedings of the 40th Conference in Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Southampton, United Kingdom, 26-30 March 2012.
- VOLKMANN, A., BOCK, S., SEIBT, D., KÜMMET, S., WEIß, M., DIETZ, E., HUSS, P., HEER, A. & EL HASSAN, N., 2012: Geisteswissenschaft und Geografische Informationssysteme (GIS): Erstellung von Kartierungen mit kommerzieller und Open Source Software im Vergleich, A. Volkmann (Hrsg.) *Digital Humanities*, Universität Würzburg, 2012, 1-116, DOI: urn:nbn:de:bvb:20-opus-74470
- VOLKMANN, A., PFEIFFER, M. & RAUN, K.-H. M., 2016: "Digital mapping" - Detection and prospection through digital and physical landscapes at Koumasa, Crete. *Heidelberger Dokumentenserver*, Universität Heidelberg, 1-24, DOI: urn:nbn:de:bsz:16-heidok-219489
- VOLKMANN, A. & RAUN, K.-H. M., 2015: Semi-automated detection of ground monuments in airborne laser scan data (LiDAR). *LSDAM (Large Scale Data Management) Borschüre* 2015, 1-3.
- VOLKMANN, A., 2014a: Tutorial Geo-referencing of historical maps with QGIS - Georeferenzierung von historischen Karten mit QGIS, Ein Bilderbuch, *Wissenschaftsblog archäologiedigitale*, ISSN 2197-7453, 2014, 11 Seiten, <http://archdigi.hypotheses.org/420>.
- VOLKMANN, A., 2014b: Beyond administrative boundaries: archaeological networks of research, *Cultural Heritage and new Technologies* **18**, 1-9, <http://www.chnt.at/chnt-18-proceedings/>.
- VOLKMANN, A., 2015a: Climate change, environment and migration, A GIS-based study of the Roman Iron Age until the Early Middle Ages in the river Oder region, *PCA Post-Classical Archaeologies* **5**, 2015, 69-94, <http://www.postclassical.it/vol.5.html>
- VOLKMANN, A., 2015b: Archäologische Fundkartierung und Zeichnungs-Georeferenzierung mit QGIS, Seminar Digital Humanities and Digital Cultural Heritage, *Heidelberger Dokumentenserver Heidelberg* 2015, 1–47, DOI: urn:nbn:de:bsz:16-heidok-199295
- VOLKMANN, A., 2016: An Archaeological Information System (AIS) for Digital Cultural Heritage management and research: identify settlement dynamics of the Late Roman Iron Age until the Early Middle Ages in the river Oder region, *Sektion für Slawische Archäologie beim 8. Deutschen Archäologie-Kongress 2014 in Berlin*, *Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte Europas*, Verlag Beier & Beran, 2016, 83-99.
- VOLKMANN, A., 2017: Geografische Informationssysteme in den Digital Humanities, JANNIDIS, F., KOHLE, H., REHBEIN, M. (Hrsg.), *Digital Humanities, Eine Einführung*, Verlag C.B. Metzler, 2017, 300-315.

- VOLKMANN, A., im Druck-1: Perspectives for Network Analyses, Roman roads, ‘Barbarian’ paths and settlement patterns in the borderland at the Limes Germanicus in river Main Region, 21st Annual Meeting of the European Association of Archaeologists (EAA), Session: Uncovering historical routes for a sustainable mobility: methods, tools, Case Studies, Verlag De Gruyter, 19 Seiten.
- VOLKMANN, A., im Druck-2: Methods and perspectives in geoarchaeological site catchment analyses: identify paleoclimate signals from the Iron Age until the Middle Ages in the Oder river region, Digital (Geo-) Archaeology and Digital Cultural Heritage, Natural Science in Archaeology, Verlag Springer, 33 Seiten.