



universität
wien

Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

„GIS in der Numismatik – Analysemethoden in der
Interpretation von Fundmünzen“

Verfasser

Markus BREIER

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, im August 2009

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 455

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Kartographie und Geoinformation

Betreuer:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Kainz

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	9
Kurzfassung / Abstract.....	11
Vorwort	13
1 Einleitung.....	15
1.1 Fragestellungen der vorliegenden Arbeit	16
1.2 Zielsetzung.....	16
1.3 Methodik.....	17
1.4 Recherche des Forschungsstandes.....	17
1.5 Struktur	17
2 Grundlagen der geographischen Informationssysteme	19
2.1 Geschichte von GIS	19
2.2 Begriffsbestimmung	20
2.3 Bestandteile eines GIS.....	26
2.4 Daten.....	35
2.5 Datenqualität und Metadaten.....	40
3 Grundlagen der (antiken) Numismatik	47
3.1 Numismatik	47
3.2 Fragestellungen und Methoden	49
3.3 Fundmünzen	53
3.4 Interpretation von Fundmünzen, Fundmünzenauswertung	56
4 Exkurs: GIS in der Archäologie.....	59
4.1 Theoretische Entwicklungen	59

4.2	Anwendungsbereiche von GIS in der Archäologie	60
5	Die Grundlagen der Modellierung	63
5.1	Kartenalgebra.....	63
5.2	Logistische Regression	65
5.3	Predictive Site Modelling	70
5.4	Least Cost Path	76
6	Numismatische Daten	85
6.1	Das Problem der Daten.....	85
6.2	Die Datenbank der Fundmünzen	86
6.3	Bei den Analysen verwendete Daten.....	88
7	Datenaufbereitung.....	95
7.1	Verknüpfung der Münzdaten mit den Geometriedaten	95
7.2	Zusammenfügen der Höhenmodelle.....	96
7.3	Abgeleitete Daten	97
8	Wo könnten Münzen sein? – <i>Predictive Site Modelling</i>	101
8.1	Datenauswahl.....	101
8.2	Stichprobe	102
8.3	Signifikanztests.....	103
8.4	Modellbildung	105
8.5	Modellgüte und prädiktive Effizienz	107
8.6	Anwendung der Regressionsgleichung im GIS.....	108
8.7	Beurteilung des Modells	109
8.8	Interpretation der Ergebnisse	111
9	Wie kamen die Münzen dorthin? – Zugänglichkeitsanalyse, <i>Least Cost Path</i>	113
9.1	Datenauswahl.....	114
9.2	Isotrope Kostenfaktoren	115
9.3	Anisotrope Kostenfaktoren.....	116
9.4	Accumulated cost surface	117

9.5	Least cost path	118
9.6	Interpretation des Ergebnisses	120
10	Wo wurden die Münzen benutzt? – Münzumlauf und Zirkulationsgebiete.....	121
10.1	Komponenten des Modells	121
10.2	Vereinfachtes Modell des Zirkulationsgebietes	122
10.3	Bewertung der Modelle	123
11	Zusammenfassung und Ausblick	125
11.1	Beantwortung der Fragestellung.....	125
11.2	Konsequenzen.....	127
11.3	Ausblick.....	128
Literaturverzeichnis.....		131
Anhang		137
Lebenslauf		141
Eidesstattliche Erklärung.....		143

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Daten, Informationen und Wissen	21
Abbildung 2: Bestandteile und Grundfunktionen eines GIS.....	27
Abbildung 3: Raster- und Vektordaten	38
Abbildung 4: Triangulated Irregular Network	39
Abbildung 5 : Freie Hammerprägung	52
Abbildung 6: Umgebungen für Fokale Operatoren.....	64
Abbildung 7: Lokale, fokale und zonale Operatoren der Kartenalgebra	64
Abbildung 8: Graph der logistischen Funktion	65
Abbildung 9: Ablaufschema des Modellierungsprozesses.....	71
Abbildung 10: Genauigkeit und Präzision des Models	75
Abbildung 11: Prinzip des least cost path	76
Abbildung 12: Prinzip einer cost of passage map	77
Abbildung 13 : Hangneigung und effektive Hangneigung	78
Abbildung 14: Energieaufwand beim Gehen auf geneigten Flächen.....	80
Abbildung 15: Digitales Höhenmodell	89
Abbildung 16: Artefakte der Interpolation fehlender Höhenwerte	90
Abbildung 17: Administrative Grenzen (Gemeinden und Bezirke).....	90
Abbildung 18: Orte in der Steiermark.....	91
Abbildung 19: Flüsse	92
Abbildung 20: Antike Verkehrswege.....	93
Abbildung 21: Fundorte in der Steiermark	96
Abbildung 22: Raster der Hangneigung.....	98
Abbildung 23: Raster der Exposition	99
Abbildung 24: Distanz zu Flüssen	100
Abbildung 25 : Fundorte und Hintergrundorte	102
Abbildung 26: Exportierte Datentabelle in der Variablenansicht in SPSS 17	103
Abbildung 27: SPSS-Dialog zur logistischen Regression.....	106
Abbildung 28: Modell der Wahrscheinlichkeit für Münzfunde.....	109
Abbildung 29: Vorhersagegenauigkeit des Modells	110
Abbildung 30: Generalisiertes Vorhersagemodell für Münzfunde	110
Abbildung 31: Ablaufschema einer <i>least cost path</i> Analyse	113
Abbildung 32: Start- und Zielorte für <i>least cost paths</i>	114

Abbildung 33: <i>Cost of passage map</i>	116
Abbildung 34: <i>Accumulated cost surface</i>	118
Abbildung 35: <i>Least cost paths</i>	119
Abbildung 36: Münzfunde, römische Straßen und die berechneten <i>least cost paths</i>	120
Abbildung 37: Modell des Zirkulationsgebietes.	122
Abbildung 38: Vereinfachtes Modell des Zirkulationsgebietes	123

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übergeordnete Metadatenelemente der Standards CSDGM und ISO 19115	45
Tabelle 2: Beispielhafte Designvariablen für die Variable "Bodenbedeckung"	69
Tabelle 3: Datenbanktabelle Fundmünzen (COINS)	87
Tabelle 4: Datenbanktabelle Fundorte (FO).....	87
Tabelle 5: Reklassifizierung der Exposition	102
Tabelle 6: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung	104
Tabelle 7: Testergebnisse für metrische Variablen	105
Tabelle 8: Testergebnis für die Exposition (Chi ² -Test)	105
Tabelle 9: Regressionskoeffizienten und Variablen des Modells	107
Tabelle 10: Hosmer-Lemeshow-Test	107
Tabelle 11: Klassifizierungstabelle	108

Kurzfassung / Abstract

Ein Teilgebiet der Numismatik (Münzkunde und Geldgeschichte) untersucht das Vorkommen und die Funktion von Münzen in Raum und Zeit. Trotz dieser deutlich geographischen Fragestellung werden in dieser Disziplin bis jetzt geographische Informationssysteme (GIS) kaum bis gar nicht benutzt.

Diese Arbeit geht der Frage nach, wie sich geographische Informationssysteme in der Numismatik, speziell bei der Interpretation antiker Fundmünzen, nutzen lassen. Es wird dabei auch die Situation der Geodaten in der Numismatik beleuchtet und die Auswirkungen auf den Einsatz von GIS berücksichtigt.

Ausgangspunkt für die Analysen und Modelle ist die Erfahrung der Archäologie mit GIS.

Da die Archäologie ähnliche Fragestellungen wie die Fundmünzennumismatik behandelt, können Methoden, die in der Archäologie üblich sind, auch in der Numismatik angewandt werden.

Für diese Arbeit wird einerseits die Frage nach weiteren potenziellen Münzfundorten gestellt, andererseits wird versucht, zu bestimmen, wie Münzen in entlegene Gebiete gelangt sind. Die Antworten auf diese Fragen werden zur Bestimmung von Zirkulationsgebieten benutzt.

Dafür wurden vorhersagende Fundortmodellierung (*predictive site modelling*) und *least cost paths* als Analysemethoden ausgewählt, die zeigen sollen, dass GIS in der Numismatik eingesetzt werden kann.

The Interpretation of coin finds is a sub discipline of numismatics, which deals with the scientific description of coin finds and hoards, especially their function and its occurrence in space and time. Although function and occurrence in space and time are clearly geographic attributes, up to now this special field of cultural historic research is only rarely taking advantage of the strengths and opportunities which GIS can offer.

This paper investigates the suitability and application of methods proprietary to geographic information systems (GIS) in context with numismatics. One focus is on the situation of numismatic data and its fitness for use in a GIS.

In archaeology, which to a large part is dealing with the dispersal of research objects over space and time, the use of GIS is very much approved by scientists and already widely spread. Archaeologists adopted GIS early in its development, thus there are proven and

comprehensive methods for the use of GIS in archaeology. Some of the methods the archaeologists use can be applied in numismatics as well.

The aim of the analyses is the modeling of areas of circulation of Roman coins in Styria by the means of GIS software. Predictive site modeling is a method for predicting possible places of finding in previously not sampled regions based on the properties of known places of findings. Least cost path analyses can be used to find the most probable route on which the coins were imported to a specific area, especially in the more remote regions. These methods of analyses demonstrate the potential of the use of GIS in numismatics.

Vorwort

Karten übten schon immer eine Faszination auf mich aus. Schon im Geographieunterricht in der AHS mochte ich die großen Wandkarten, auf denen wir Städte, Länder, Flüsse und Berge finden mussten.

Nach meiner Matura stellte sich dann die Frage, was nun? In meiner jugendlichen Begeisterung für Computer inskribierte ich an der Technischen Universität Wien „Informatik“. Ich fand jedoch sehr schnell heraus, dass mich diese intensive Beschäftigung mit dem Computer „um seiner selbst willen“ nicht begeisterte. Als ich mir überlegte, was ich denn jetzt tun sollte, fiel mir wieder der Geographieunterricht ein. Da ich ein primär technisches Interesse hatte, stieß ich zuerst auf die Studienrichtung „Vermessungswesen und Geoinformation“ auf der Technischen Universität. (Aus irgendeinem Grund ist es mir damals entgangen, dass es den Studiengang „Kartographie“ an der Universität Wien gab.)

So sehr mich auch die Idee der Geoinformation und der Kartographie auch faszinierte, so kam mir die sehr stark von der Mathematik bestimmte Zugangsweise an diese Themen nicht sehr entgegen. So wechselte ich nach ein paar Semestern an der TU auf die Universität Wien und inskribierte „Geographie“, wobei mir von Anfang an klar war, dass ich im zweiten Abschnitt „Kartographie und Geoinformation“ studieren würde.

Im Laufe des Studiums lernte ich die verschiedenen Aspekte dieser beiden Wissenschaften kennen und schätzen.

Als mir dann gegen Ende meines Studiums Ass.-Prof. Mag. Dr. Karel Kriz die Möglichkeit anbot, am Institut als Projektmitarbeiter tätig zu sein, nahm ich dieses Angebot an. In weiterer Folge landete ich dann bei dem Projekt „CHIS“, wo ich in erster Linie für die Datenaufbereitung zuständig war. Da ich mich neben Geographie auch schon immer für Geschichte interessierte, und sich in meinem Bekanntenkreis einige Geschichtswissenschaftler und Archäologen befinden, fand ich die interdisziplinäre Arbeit im Rahmen dieses Projektes als sehr faszinierenden Aspekt.

So kam ich auf die Idee, zu untersuchen, ob es Möglichkeiten gäbe, geographische Informationssysteme in Geschichtswissenschaften einzusetzen, die dies bis jetzt noch nicht oder in sehr geringem Umfang tun.

Es war natürlich naheliegend, diese Untersuchung mit einem der Projektpartner durchzuführen, und so kam ich zur Numismatik.

Ich möchte mich in diesem Zusammenhang bei Dr. Klaus Vondrovec vom Münzkabinett des Kunsthistorischen Museums in Wien bedanken, der mir sehr geholfen hat, das Wesen der Numismatik zu verstehen.

Ich möchte mich auch bei meinen Kollegen am Institut für Geographie und Regionalforschung in der Computerkartographie bedanken, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen, und es mir auch ermöglichten, meine Arbeit vor einem Fachpublikum zu präsentieren.

1 Einleitung

Das Projekt „*Cultural History Information System*“ (CHIS)¹ ist ein Teilprojekt des Forschungsprojekts „*Cultural History of the Western Himalaya from the 8th Century*“ (CHWH)². Dieses Projekt findet unter der Leitung von Univ.-Prof. Deborah Klimburg-Salter vom Institut für Kunstgeschichte an der Universität Wien statt und wird vom österreichischen Wissenschaftsfonds FWF gefördert.

Neben dem Projekt CHIS sind noch weitere Gruppen mit Teilprojekten an den Forschungen beteiligt: Kunstgeschichte unter der Leitung von Univ.-Prof. Deborah Klimburg-Salter, tibetische Manuskripte unter der Leitung von Prof. Dr. Helmut Tauscher, tibetische Inschriften unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. Ernst Steinkellner, Philosophie unter der Leitung von Univ.-Doz. Dr. Helmut Krasser sowie Numismatik unter der Leitung von Univ.-Doz. Dr. Michael Alram.

Ziel des Projektes CHIS ist die Erstellung einer kartenbasierten Online-Applikation zur Darstellung kulturhistorischer Inhalte. Durch die geographisch und thematisch weit gestreuten Inhalte wird in diesem Projekt ein Gebiet abgedeckt, das unter anderem Afghanistan, den Norden Indiens, Pakistan, Nepal sowie Teile Chinas (Tibet) umfasst.

Die Zusammenarbeit mit den Numismatikern vom Kunsthistorischen Museum in Wien führte zu der Idee, die Verwendung von geographischen Informationssystemen (GIS) in der Numismatik zu untersuchen.

Nach ersten Gesprächen mit Dr. Klaus Vondrovec wurde bald klar, dass der Einsatz von GIS in der Numismatik kaum üblich ist, die Möglichkeiten, die GIS bieten, für die Numismatik jedoch sehr interessant seien.

Dies führte dann in weiterer Folge zu Überlegungen, wie man GIS in der Interpretation von Fundmünzen (auch Fundmünzennumismatik) einsetzen könnte.

Ursprünglich sollte die Untersuchung mit Daten aus dem Untersuchungsgebiet des Projektes erfolgen. Aufgrund der politischen Situation in Afghanistan und Pakistan war es jedoch nicht Möglich, eine für 2008 geplante Erhebung in Museen und Sammlungen dieser Länder durchzuführen.

Daher wurde beschlossen, diese Untersuchung mit den Daten der römischen Fundmünzen in der Steiermark durchzuführen, da dieser Datenbestand bereits aufgearbeitet ist und in digitaler Form vorliegt.

¹ <http://www.univie.ac.at/chis/>

² <http://athene.geo.univie.ac.at/project/chwh/>

1.1 Fragestellungen der vorliegenden Arbeit

Die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit ergeben sich aus den im vorigen Absatz getätigten Überlegungen.

Wie stellt sich die Datenlage und Datenqualität der numismatischen Daten dar? Welche Probleme ergeben sich für den Einsatz in geographischen Informationssystemen?

Da Daten und deren Qualität ausschlaggebend für geographische Informationssysteme ist, soll auch dieser Aspekt beleuchtet werden. Die Daten, die in der Numismatik vorhanden sind, wurden ursprünglich nicht für die Verwendung in GIS erfasst. Daraus ergeben sich für die Verwendung in GIS Probleme, die bei der Erstellung der Modelle und der Beurteilung ihrer Tauglichkeit berücksichtigt werden müssen.

Wie lassen sich geographische Informationssysteme in der Numismatik einsetzen?

Besonderes Augenmerk soll dabei auf Analysen gelegt werden, die bei der Interpretation von Fundmünzen helfen können. Es sollen hierbei zwei Fragen mithilfe von GIS beantwortet werden:

- Können weitere potenzielle Fundstellen (Fundhoffnungsgebiete) anhand der bekannten Fundstellen modelliert werden?
- Wie kamen Münzen in entlegene Gegenden?
- Ist daraus eine Modellierung der Zirkulationsgebiete möglich und sinnvoll?

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, zu untersuchen, ob geographische Informationssysteme im Kontext der antiken Numismatik erkenntnisbringend eingesetzt werden können und welche Schwierigkeiten dabei auftreten können. Dies wird exemplarisch an zwei Modellierungsverfahren getestet. Es sollen damit die Technologie der geographischen Informationssysteme und die Wissenschaft der Geoinformatik der Numismatik näher gebracht und vorgestellt werden. Es ist nicht das Ziel, ein umfassendes Werk zu verfassen, das alle Möglichkeiten aufzeigen soll, wie GIS in der Numismatik eingesetzt werden kann. Es sollen jedoch die grundsätzlichen Möglichkeiten und Problembereiche dieses Ansatzes dargelegt werden.

1.3 Methodik

Für diese Untersuchung werden bekannte und erprobte Methoden der Geoinformationsverarbeitung, die in der Archäologie üblich sind, benutzt. Die Archäologie setzt GIS bei der Interpretation von Funden ein. Da die Fundmünzennumismatik ebenfalls Funde untersucht und diese zu interpretieren versucht, ist hier eine Themenverwandtschaft zu finden. Diese Themenverwandtschaft rechtfertigt den Einsatz archäologischer GIS-Analysen im Bereich der Numismatik. Ob dieser Einsatz zielführend und sinnvoll ist, soll in dieser Untersuchung an ausgewählten Beispielen untersucht werden. Dabei kommen in der Archäologie übliche Analysemethoden zum Einsatz, die auf eine numismatische Fragestellung angewandt werden.

1.4 Recherche des Forschungsstandes

Geographische Informationssysteme bzw. Geoinformatik in der Numismatik ist ein Thema, das bis jetzt weder in der Geoinformatik bzw. *geographical information science*, noch in der Numismatik behandelt wurde.

Das *Portable Antiquities Scheme*³ in Großbritannien ist ein Versuch, eine Funddatenbank (die unter Anderem auch Münzen enthält) mit kartographischer Visualisierung zu kombinieren. Auch im ViennaGIS ist es möglich, sich die archäologischen Fundstellen (auch hier finden sich Münzen unter den Funden) in Wien auf einem Stadtplan anzeigen zu lassen⁴. Beide Systeme dienen jedoch nur der Visualisierung der Fundorte. Analysefunktionen sind in diesem System nicht vorhanden.

In der Archäologie hingegen ist die Verwendung von GIS weit verbreitet und gut untersucht. (vgl. CONOLLY und LAKE 2006, POSLUSCHNY 2008), auch wissenschaftstheoretische Implikationen von GIS werden untersucht.

Aufgrund der Themenverwandtschaft zwischen Numismatik und Archäologie wird auf den Forschungsstand der Archäologie zurückgegriffen.

1.5 Struktur

Zunächst werden die Grundlagen der geographischen Informationssysteme im gleichnamigen Kapitel erklärt. Es wird kurz die Entstehung und Entwicklung geographischer

³ <http://www.finds.org.uk/>

⁴ <http://www.wien.gv.at/kultur/kulturgut/index.html>

Informationssysteme beleuchtet und wichtige Begriffe definiert und erörtert. Anschließend werden die Bestandteile eines GIS erklärt und Aspekte der Geodaten beschrieben.

In Kapitel 3 werden die Grundlagen der Numismatik dargelegt, wobei ein Schwerpunkt auf der antiken Numismatik liegt. Die Fragestellungen, Methoden und Forschungsschwerpunkte der Numismatik werden vorgestellt. Schließlich wird die Fundmünzennumismatik und die Interpretation von Fundmünzen erklärt.

Der Exkurs in die Archäologie im vierten Kapitel dient dazu, die GIS-Methoden, die in der Archäologie Verwendung finden und deren Hintergrund in dieser Disziplin darzustellen.

Im Kapitel über die Grundlagen der Modellierung werden die allgemeinen theoretischen Hintergründe zu den in den folgenden Kapiteln verwendeten Modellierungsmethoden beschrieben. Dies sind Kartenalgebra, logistische Regression, *predictive site modelling* und *least cost paths*.

In Kapitel 6 werden die Ausgangsdaten für die Modellierung beschrieben. Besonders die Daten, die Ergebnis numismatischer Forschung sind, werden betrachtet.

Im Kapitel „Datenaufbereitung“ wird beschrieben, wie die Daten für die eigentlichen Analysen aufbereitet und verknüpft wurden. Hier wird gezeigt, wie die Daten der Fundmünzen mit Geometriedaten verknüpft wurden und weitere Datensätze aus vorhandenen Datensätzen abgeleitet wurden.

In Kapitel 8 wird die Frage nach weiteren potenziellen Fundorten mittels *predictive site modelling* beantwortet. Dabei wird der eigentliche Modellierungsprozess beschrieben.

Im anschließenden Kapitel wird die Frage untersucht, wie Münzen in entlegene Gebiete gelangt sein könnten. Dafür werden *least cost paths* berechnet.

In Kapitel 10 wird versucht, aus den Modellen der vorangegangenen beiden Kapiteln ein Modell des Zirkulationsgebietes antiker Münzen in der Steiermark zu bilden.

Im letzten Kapitel werden die Ergebnisse der Untersuchung noch einmal zusammengefasst. Es wird erörtert, welche Konsequenzen sich aus den Ergebnissen für den Einsatz von geographischen Informationssystemen ergeben und welche Fragen im Zuge der Arbeit aufgetaucht sind.

Anmerkung zu Bezeichnungen von Personen oder Personengruppen: Die in dieser Arbeit verwendeten Bezeichnungen für Personengruppen wie z.B. Anwender oder Wissenschaftler sind geschlechtsneutral zu verstehen.

2 Grundlagen der geographischen Informationssysteme

2.1 Geschichte von GIS

Ausschlaggebend für die Entwicklung von geographischen Informationssystemen war die Einführung der Vektorgraphik Anfang der 1950er Jahre. (BILL 1999a, S. 16) Sie gab den Ausschlag für Pilotprojekte der digitalen Kartierung. Zusätzlich war die Quantitative Revolution in der Geographie ein Antrieb. (STAR und ESTES 1990, S. 19)

Die Entwicklung von eigentlichen GIS beginnt in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts. Neben Fortschritten in der digitalen Bildverarbeitung und der Methodik der digitalen Geländemodelle begann 1962 in Kanada die Entwicklung des „Canada Geographical Information System“ (CGIS) unter der Leitung von Roger Tomlinson im Auftrag des Canada Land Inventory. (GREINER 2007) Ein Jahr später fand die erste Konferenz über „Urban Planning Informations Systems and Programs“ statt, die zur Gründung der „Urban and Regional Information Systems Association“ führte. Auf das CGIS folgte 1967 das „New York Landuse and Natural Resources Information System“. (STAR und ESTES 1990, S. 21)

Aufgrund der hohen Kosten und der technischen Schwierigkeiten war die Benutzung von GIS bis Anfang der 90er Jahre staatlichen Organisationen und Universitäten vorbehalten. BILL (1999a, S. 17f) bezeichnet die Zeit von 1975 -1985 deshalb als die „Zeit der Behörden“, die Zeit bis dahin als die „Zeit der Pioniere“

In den späten 70er und frühen 80er Jahren begann die Entwicklung von kommerziellen GIS. ESRI (Environmental Systems Research Institute) und Integrgraph, bis heute in diesem Bereich marktführend waren unter den ersten kommerziellen Anbietern von GIS Software. (KAINZ 2004, S. 15) So veröffentlichte ESRI die erste Version von ARC/INFO 1982. (ESRI 2008a)

Weitere Fortschritte wurden zum einen durch die immer größere Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig fallenden Preisen der Computer, zum anderen durch Fortschritte in der Entwicklung räumlicher Datenstrukturen und Algorithmen ermöglicht. Ab Mitte der 80er Jahre erschienen auch Bücher zum Thema GIS, Fachzeitschriften wurden gegründet und Symposien abgehalten. Gleichzeitig wurde auch wahrgenommen, dass Theorien fehlten, um GIS als Wissenschaft zu etablieren. (BLASCHKE 2003, KAINZ 2004, S. 16)

Seit Anfang der 90er Jahre entwickelten sich GIS zu allgemein benutzten Werkzeugen zur Verarbeitung raumbezogener Daten. (BILL 1999a, S. 17)

2.2 Begriffsbestimmung

Mittlerweile ist der Bereich der Geoinformation ein recht weites Feld, Geodaten spielen in Zeiten des Webs 2.0 eine immer größere Rolle. In diesem Bereich der Geodatenverarbeitung haben sich neue Begriffe für Disziplinen und Technologien etabliert, die jedoch nicht immer leicht zu trennen sind und oft synonym verwendet werden. Diese Begriffsbildung erklärt sich zum Teil auch aus der Geschichte der Geoinformationssysteme.

Besonders die Begriffe Geoinformation, Geoinformatik und Geographische Informationssysteme (GIS) werden oft benutzt. Im englischen Sprachraum ist das Akronym GIS mehrdeutig, es wird nicht nur das Werkzeug der geographischen Informationssysteme damit bezeichnet, auch die Deutungen *Geographic(al) Information Science*, *Geographic(al) Information Society* oder *Geographic(al) Information Studies* sind üblich. (CHRISMAN 1999, S.177) Im Nachfolgenden sollen diese Begriffe sowie die Abgrenzungen zueinander erläutert werden. Dabei ist auch zu beachten, dass hier geringe Unterschiede zwischen deutschen und englischen Begriffen bestehen (BLASCHKE 2003), auch wenn diese oft nicht berücksichtigt werden.

2.2.1 Geodaten und Geoinformation

Als Geodaten (Englisch: *geographical data*, *spatial data*) werden all jene Daten bezeichnet, „die einen Raumbezug aufweisen, über den ein Lagebezug zur Erdoberfläche hergestellt werden kann“ (BOLLMANN 2002). Daten selbst werden oft als (digital) codierte Information bezeichnet und sind in erster Linie zur Weiterverarbeitung gedacht. (Über die verschiedenen Datenmodelle, die in der Geoinformatik üblich sind siehe Kapitel 2.4 „Daten“)

Analog werden jene Informationen, die einen geographischen, also räumlichen, Bezug aufweisen, als Geoinformationen (Englisch: *geographical information*, *spatial information*) bezeichnet. Diese Information soll in einem Kommunikations- und Handlungskontext bedeutsame Aspekte der Umwelt vermitteln. (BOLLMANN 2002)

„In unserem Sinn kann man von Information dann sprechen, wenn auf eine spezifische Frage eine Antwort gegeben wird, die das Verständnisniveau des Fragenden erhöht [...]“ (BARTELME 2005, S. 13)

Diese Definition gibt schon Aufschluss über den (oft vernachlässigten) Unterschied zwischen (Geo-)Daten und (Geo-)Information.

Im Gegensatz zu Informationen, die sowohl strukturelle (syntaktische), inhaltliche (semantische) und anwendungsrelevante (pragmatische) Aspekte aufweisen, sind Daten

weniger strukturiert und der semantische Aspekt ist codiert. Der pragmatische Aspekt ist meist überhaupt nicht vorhanden. (BARTELME 2005, S. 13). Als nächsthöhere Stufe wird hier auch noch das Wissen erwähnt, dass aus Kombination und Vergleich von Einzelinformationen entsteht. (siehe Abb. 1)

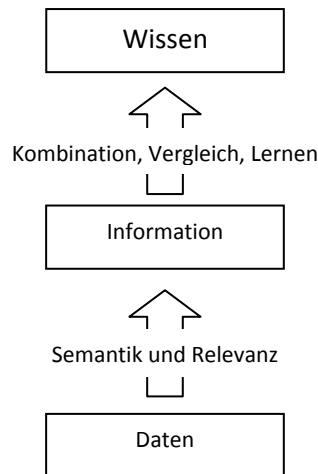


Abbildung 1: Daten, Informationen und Wissen (nach BARTELME 2005, S. 15)

DE LANGE bezeichnet Informationen als Nachricht zusammen mit ihrer Bedeutung für den Empfänger. Daten hingegen sind kodierte Informationen „*Daten sind Zusammensetzungen aus Zeichen oder kontinuierlichen Funktionen, die auf der Basis von Konventionen Informationen darstellen.*“ (DE LANGE 2006, S. 10) Es braucht also Konventionen, wie Daten zu lesen sind, um daraus Informationen zu erhalten. Diese Definitionen sind auch in der DIN 44300 festgelegt. (BOLLMANN 2002, DE LANGE 2006, S. 10)

2.2.2 GIS (Geographische Informationssysteme)

Der Begriff „geographische Informationssysteme“ geht auf das „Canada Geographical Information System“ (CGIS) zurück. Es wird oft auch der Begriff Geo-Informationssystem benutzt.

„*Ein Geo-Informationssystem ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst, redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden.*“ (BILL 1999a, S. 4)

Diese Definition von geographischen Informationssystemen (der Begriff Geo-Informationssystem wird synonym benutzt) ist weit verbreitet und Grundlage ähnlicher Definitionen. Sie fasst die grundlegenden Bestandteile und Aufgabenbereiche solcher Systeme zusammen, berücksichtigt jedoch nicht den Kontext, in dem dies geschieht und bezeichnet nur den technischen Teilbereich. In der Online-Hilfe für das Programm ArcGIS Desktop 9.3 (die Software, die in dieser Arbeit für die Analysen herangezogen wird) findet sich eine Definition, die noch enger gefasst ist:

“An integrated collection of computer software and data used to view and manage information about geographic places, analyze spatial relationships, and model spatial processes. A GIS provides a framework for gathering and organizing spatial data and related information so that it can be displayed and analyzed” (ESRI 2008b)

Ein GIS ist also ein Computersystem, das aus mehreren Komponenten besteht. Diese Komponenten sind Hardware, (Programm-)Software, Daten und Anwendungen. Manchmal, besonders wenn auf ein bestimmtes Software-Produkt verwiesen wird, wird auch nur das Computerprogramm, das die Funktionen bereitstellt, als GIS bezeichnet. Diese enge Definition ist für die vorliegende Arbeit ungeeignet.

RIEDL (2003, S. 9) ersetzt die Anwendungen, die ja eigentlich in der Aufzählung der Aufgabenbereiche redundant enthalten sind, durch den Begriff der „Brainware“. Damit sind sozusagen das Know-how, die Kreativität und die Motivation des Benutzers gemeint. Einem ähnlichen Ansatz, wenn auch nicht in einer expliziten Definition, folgen CONOLLY und LAKE (2006), indem sie Hardware, Software und Personen als Hauptkomponenten eines GIS aufzählen. Das hier Daten nicht extra aufgezählt werden, ist legitim, da sie eine Form von Software darstellen.

Auch andere Ansätze zur Definition von GIS versuchen, den stark technischen Rahmen zu erweitern, und nicht nur Einzelpersonen als Benutzer einzubeziehen, wie zum Beispiel folgende Definition:

“Geographic Information System - A system of hardware, software, data, people organizations and institutional arrangements for collecting, storing, analyzing and disseminating information about areas of the earth” (DUEKER und KJERNE 1989, S. 7-8, zitiert in CHRISMAN 1999, S. 178)

Eine Definition, die geeignet erscheint, wenn man den Einsatz von GIS in Forschungsdisziplinen untersuchen will, die keine Geo-Wissenschaften sind, ist jene von Nicholas Chrisman:

„Geographic Information Systems (GIS) – The organized activity by which people

- *measure aspects of geographic phenomena and processes;*
- *represent these measurements, usually in the form of a computer database, to emphasize spatial themes, entities and relationships;*
- *operate upon these representations to produce more measurements and to discover new relationships by integrating disparate sources; and*
- *transform these representations to conform other frameworks of entities and relationships.*

These activities reflect the larger context (institutions and cultures) in which these people carry out their work. In turn GIS may influence these structures” (CHRISMAN 1997 S.5)

Diese Definition ist losgelöst von der technischen Basis. Die Begriffe Computer, Software oder Hardware fehlen hier ganz. Der Fokus liegt hier weniger auf der Beschreibung, was ein GIS ist. Es wird hingegen stark betont, welche Funktion GIS haben, und in welchem Kontext dies geschieht. Diese Sichtweise wird dem Ansatz gerecht, den die Geographical Information Science verfolgt.

Chrisman selbst komprimiert später seine Definition auf einen Satz:

„Geographic Information System (GIS) – Organized activity by which people measure and represent geographic phenomena then transform these representations into other forms while interacting with social structures” (CHRISMAN 1999, S.185)

Der große Unterschied in der Definition von CHRISMAN und BILL liegt darin, wie GIS-BenutzerInnen gesehen werden bzw. in welcher Beziehung das Werkzeug GIS mit seinen BenutzerInnen steht.

BILL erklärt ein technisches System, seine Bestandteile und Aufgaben. Die Benutzer müssen sich die Methoden aneignen, Hardware und Software bedienen können, und wissen, was sie damit tun sollen/können. Die Benutzer müssen sich an das System anpassen.

Chrisman stellt die Benutzer in den Vordergrund. Seine Formulierung geht davon aus, dass Personen GIS benutzen, um in sozialen Strukturen zu agieren. Das System ist ein Hilfsmittel

und hat sich den Bedürfnissen der Benutzer anzupassen. Dieser Unterschied ist wichtig, wenn man mit GIS in Wissenschaften gehen will, die an sich keinen geographischen Fokus haben, so wie die Numismatik.

Dennoch sollten beide Definitionen nicht entgegengesetzt, sondern als einander ergänzend betrachtet werden. So könnte man für diese Arbeit GIS folgendermaßen definieren:

Ein geographisches Informationssystem (GIS) ist ein System organisierter Tätigkeit, bei der Personen räumliche Phänomene messen und repräsentieren, diese dann in Abhängigkeit des sozialen und institutionellen Kontextes in andere Formen transformieren. Dazu wird ein rechnergestütztes System aus Hardware, Software und Daten benötigt, das als Grundfunktionen das Erfassen, Bearbeiten, Speichern, Analysieren und Modellieren sowie die Darstellung der Daten besitzt.

2.2.3 Geomatik, Geoinformatik und Geographical Information Science

Die beiden Begriffe Geomatik und Geoinformatik werden oft synonym benutzt. Teilweise wird die Geomatik aber auch als übergeordnete Disziplin verstanden, und die Geoinformatik als technische, anwendungsorientierte Teildisziplin. (BOLLMANN 2002, MÜLLER 2002) Zum Vergleich sind hier unterschiedliche Definitionen wiedergegeben, die auch die unterschiedlichen Auffassungen der Disziplinen zeigen:

„Mit der Geoinformatik ist ein neues interdisziplinäres Fachgebiet entstanden, das eine Brückenfunktion zwischen Informatik, Geographischen Informationstechnologien und Geowissenschaften oder raumbezogen arbeitenden Wissenschaften ausübt.“ (DE LANGE 2006, S. 1)

Im Lexikon der Kartographie und Geomatik (BOLLMANN 2002) wird die Geoinformatik als Teilbereich der angewandten Informatik beschrieben.

„Schwerpunkt der Forschung und Lehre bilden die technischen Grundlagen von Geoinformationssystemen und die Konzeption von anwendungsbezogenen Lösungen zur Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation von Geodaten.“ (BOLLMANN 2002)

„Geomatik [...] ist das Wissenschaftsgebiet, das technologische Erkenntnisse zur Gewinnung und Verarbeitung georäumlicher Daten, einschließlich ihrer wissenschaftlichen Grundlagen

und Anwendungen zusammenführt. [...] Das internationale Normierungskomitee ISO/TC 211 zur Standardisierung von Geodaten und Geoinformation verwendet die Begriffe [Geomatik und Geoinformatik] allerdings wieder synonym, wenn auch darauf hingewiesen wird, dass die Geomatik in ihrer Entstehung und Ausrichtung den Bereichen Geodäsie und Vermessungswesen zuzuordnen ist, während die Geoinformatik im Schwerpunkt die Entwicklung von Geoinformationssystemen betreibt.“ (MÜLLER 2002)

BARTELME (2005) hingegen sieht die Geoinformatik als theoretische Basis für Geoinformationssysteme. „*Geoinformatik setzt sich systematisch mit dem Wesen und der Funktion von Geoinformation, mit ihrer Bereitstellung in Form von Geodaten und den darauf aufbauenden Anwendungen auseinander.*“ (BARTELME 2005, S. 15)

Diese Beschreibungen deuten auf gewisse Auffassungsunterschiede hin. Bei Bollmann und Müller ist die Geoinformatik noch stärker auf die technischen Aspekte beschränkt. Dies geschieht wohl auch, um einen Kontrast zwischen Geomatik und Geoinformatik zu schaffen. Für sie ist die Geomatik sozusagen die übergeordnete Disziplin, die Geoinformatik ist eindeutig der praxisorientierte, technische Aspekt.

Im Englischen hat sich der Begriff der *Geographical Information Science* herausgebildet. Dieser Begriff wurde 1992 von Micheal F. GOODCHILD (1992) propagiert. Er entstand durch Umdeutung der Abkürzung GIS von *Geographical Information Systems* zu *Geographical Information Science*. Deshalb ist auch hierfür die Abkürzung GIS üblich. (Um die Abkürzungen dennoch zu unterscheiden, wird *Geographical Information Science* auch mit GISc oder GIScience abgekürzt.)

BLASCHKE (2003) weist darauf hin, dass es einen Unterschied zwischen der deutschsprachigen Geoinformatik und der englischen *Geographical Information Science* gibt. So beschäftigt sich die Geoinformatik hauptsächlich mit technischen Aspekten wie der Auflistung und Implementierung von Algorithmen, während kaum eigene Theorien entwickelt werden. Theoretische Überlegungen werden hauptsächlich aus den Nachbardisziplinen wie Informatik, Geodäsie oder Kartographie übernommen. Dies entspricht der Definition eines interdisziplinären Fachgebietes von BARTELME und DE LANGE. (siehe oben)

Geographical Information Science hingegen ist die Wissenschaft bzw. Forschung über Geographische Informationsverarbeitung und -systeme. (BLASCHKE 2003, CHRISMAN 1999,

GOODCHILD 1992). Diese Begriffs- und Disziplinbildung stellt eine „*nachträgliche theoretische Fundierung Geographischer Informationssysteme*“ (BLASCHKE 2003, S. 97) dar. Dies hat zur Folge, dass GISc auch umfassender verstanden wird als Geoinformatik.

„Auch im deutschsprachigen Raum taucht der Begriff GIScience immer häufiger auf, insbesondere wenn es sich um Forschung über GIS und Geoinformation handelt, z.B. um Mensch-Maschine Interaktion, Kognition, Wissenschaftstheorie. International wird der Begriff „Geographic Information“ (GI) dem assoziativ Technik-behafteten Begriff „Geoinformatik“ vorgezogen.“ (BLASCHKE 2003, S. 98)

2.2.4 Begriffsverwendung in der vorliegenden Arbeit

Nachdem in den vorhergehenden Kapiteln einige synonyme Begriffe verwendet wurden, sind ein paar Bemerkungen zur Begriffs- und Abkürzungsverwendung in der vorliegenden Arbeit notwendig.

- Sofern nicht anders angegeben, wird in weiterer Folge die Abkürzung GIS für geographische Informationssysteme nach der Definition von BILL (1999a) und CHRISMAN (1999) verwendet.
- *Geographic(al) Information Science* wird mit GISc abgekürzt und steht für die Forschung über GIS.
- Geoinformatik wird in der Definition von BLASCHKE (2003) und DE LANGE (2006) verstanden, d.h. als interdisziplinäres Fachgebiet, dass sich in erster Linie mit der Standardisierung und Implementierung von Algorithmen zur Verarbeitung von Geodaten und Geoinformationen befasst.

2.3 Bestandteile eines GIS

Wie oben erwähnt, besteht ein GIS aus den Komponenten Hardware, Software, den Daten und den Anwendungen bzw. Anwendern. Dieses Modell wird auch als das Vierkomponenten-Modell bezeichnet. (BILL 1999a, DE LANGE 2006) Es soll hier ein Überblick über die wichtigsten Bestandteile dieser Komponenten gegeben werden, wobei auf die Daten und die speziellen Anwendungen in gesonderten Kapiteln eingegangen werden soll, da diese für die vorliegende Untersuchung von besonderem Interesse sind.

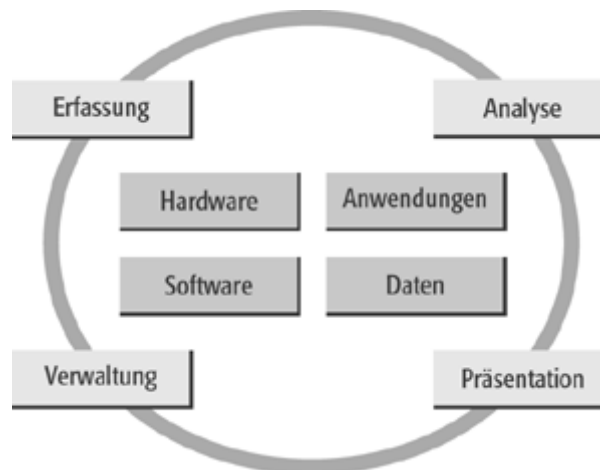


Abbildung 2: Bestandteile und Grundfunktionen eines GIS nach dem Vierkomponenten-Modell
(BOLLMANN 2002)

2.3.1 Hardware

Hardware bezeichnet alle physischen Bestandteile eines Computersystems, also alles, was sichtbar und greifbar ist. Das inkludiert die Zentraleinheit des Computers (Prozessor, Arbeitsspeicher usw.) sowie Peripherie, die notwendig ist, um Eingaben zu tätigen, Daten zu speichern oder Ausgaben zu erhalten.

War es von der Anfangszeit der GIS bis in die 1990er Jahre noch notwendig, die GIS-Software auf Großrechnern laufen zu lassen, so sind heute handelsübliche Desktop- oder Notebook-Computer ausreichend.

Hier soll aus Platzgründen nur ein Überblick über die wichtigsten Hardwarekomponenten eines GIS gegeben werden.

Datenerfassung

Datenerfassungsgeräte sind meistens nicht fix mit dem GIS verbunden, sie gehören aber genauso zu einem GIS, da sie die Daten liefern. Zur Unterscheidung in Geräte zur Datenerfassung und Eingabegeräte dient hier das Kriterium, dass Datenerfassungsgeräte hauptsächlich Primärdaten liefern, während Eingabegeräte zur Steuerung des Computers bzw. zur Erfassung von Sekundärdaten dienen. (siehe auch Kapitel 2.4 „Daten“)

Kameras: Kameras sind Geräte, die photographisch Bilder entweder auf Film oder in digitaler Form festhalten. Sie spielen in der Geoinformation eine untergeordnete Rolle, obwohl vor allem in Internetapplikationen (z.B. Google Earth) auch Bilder mit Koordinaten versehen werden.

GPS Empfänger: GPS (Global Positioning System) ist ein satellitengestütztes System zur dreidimensionalen Lagebestimmung auf der Erdoberfläche. Die meisten GPS Empfänger können Punkte und Routen speichern, die dann in ein GIS übertragen werden können.

Laserscanner: Laserscanner sind Erfassungsgeräte, die automatisch die Entfernung zu einer Vielzahl von Punkten messen. Dabei entstehen so genannte Punktwolken, die mit spezieller Nachbearbeitung in ein 3D Modell umgewandelt werden können.

Elektronische Tachymeter: Tachymeter sind Geräte, die im Vermessungswesen zur Punktbestimmung verwendet werden. Mit ihnen können Horizontal- und Vertikalwinkel sowie Strecken sehr präzise gemessen werden. Bei elektronischen Tachymetern besteht (im Gegensatz zu rein optischen Geräten) die Möglichkeit, die Daten (Winkel, Strecken und auch abgeleitete Koordinaten) zu speichern und an ein GIS zu übertragen. Moderne Tachymeter sind oft mit einem GPS-Empfänger kombiniert. (KAHMEN 1997)

Fernerkundungssysteme: Unter Fernerkundungssystemen werden im Allgemeinen Fernerkundungssatelliten und Luftbildkameras zusammengefasst, also jene Systeme, die die Erdoberfläche aus großer bis sehr großer Entfernung abtasten. Satellitenbilder entstehen seit Anfang der 70er Jahre ausschließlich digital (BOLLMANN 2002), während Luftbilder noch immer auch analog aufgenommen werden. (FRANZEN 2005) Diese Systeme nehmen sowohl Bilder im Bereich des sichtbaren Lichts auf, als auch in Spektralbereichen, die außerhalb des sichtbaren Bereichs liegen (Infrarot, Mikrowellen).

Fotogrammetrische Auswertegeräte: Fotogrammetrische Auswertegeräte dienen der Auswertung von fotogrammetrischen Aufnahmen (Luftbilder, Messbilder). Dabei können aus den Aufnahmen Koordinaten rekonstruiert und gespeichert werden. (FRANZEN 2005)

Eingabegeräte

Scanner: Für die Eingabe von Daten und Befehlen gibt es mehrere Möglichkeiten. Zur Digitalisierung von gedruckten oder gezeichneten Vorlagen gibt es Scanner. Hierbei wird die Vorlage mittels Fotozellen abgetastet, und das Ergebnis als Pixelbild abgespeichert.

Digitalisiertisch bzw. Digitalisiertablet: Digitalisiertische (oder die kleinere Form der Digitalisiertablets) werden benutzt, um Vorlagen (z.B. Karten) als Vektordaten zu digitalisieren. Dazu werden die einzelnen Objekte mittels eines stift- oder mausartigen Gerätes mit Fadenkreuz vom Benutzer digitalisiert.

Maus: Die Maus (oder ähnliche Zeigegeräte wie Touchpads, Trackballs oder Trackpoints) werden mit der Hand benutzt und dienen in erster Linie der Steuerung des Computersystems. Die steuert im Allgemeinen Zeiger auf dem Bildschirm.

Tastatur: Die Tastatur dient zur Eingabe von alphanumerischen Zeichen, sowie zur Systemsteuerung

Touchscreens: Touchscreens sind Bildschirme, die registrieren, wenn sie berührt werden. Sie ermöglichen es dem Benutzer, Elemente direkt auf dem Bildschirm anzutippen. Dadurch kann auf eine Maus (und meistens auch auf eine Tastatur) verzichtet werden. Sie sind damit zugleich Eingabe- als auch Ausgabegerät.

Zentraleinheit

Als Zentraleinheit wird der eigentliche Kern des Computers, in dem die Datenverarbeitung stattfindet, bezeichnet. Man könnte auch sagen, dass es sich dabei um all jene Bestandteile eines Computers handelt, die sich mit dem Hauptprozessor (CPU) in einem Gehäuse befinden. (RIEDL, RIEDL 2003, S. 11) Dies trifft bei Notebook-Computern jedoch nur sehr bedingt zu, da sich hier auch Teile der Peripherie in demselben Gehäuse befinden. Folgende Komponenten werden zur Zentraleinheit gezählt:

Hauptprozessor (CPU, central processing unit): Dies ist der zentrale Baustein des Computers. Hier wird ein Hauptteil der Berechnungen durchgeführt. Die Hauptbestandteile eines Prozessors sind Rechenwerk, Steuerwerk und Cache. Im Rechenwerk werden die eigentlichen logischen Operationen ausgeführt, das Steuerwerk steuert einerseits das Rechenwerk, andererseits die Kommunikation mit anderen Bestandteilen des Computers. Der Cache ist ein Zwischenspeicher für häufig benötigte Daten. (DE LANGE 2006, WINKLER 2006) Moderne Desktop- und Notebook-CPU's besitzen zwei (Dual Core) oder vier (Quad Core) Prozessorkerne. Diese Kerne sind jeweils eigenständige Prozessoren, die auf einem Chip untergebracht sind. Für Workstations und Server sind auch Prozessoren mit mehr als vier Kernen verfügbar.

Mainboard: Das Mainboard (oft auch Motherboard genannt) ist die Hauptplatine des Computers. Mit ihm sind alle Elemente wie Prozessor, Arbeitsspeicher, Grafikkarte (sofern diese nicht ebenfalls in das Mainboard integriert ist), Speicherlaufwerke und Peripheriesteuerung verbunden. Diese stecken oft in speziellen Sockeln bzw. Steckplätzen, die auf dem Mainboard untergebracht sind. Auch die grundlegende Computersteuerung (BIOS, Basic Input Output System) ist auf dem Mainboard zu finden.

Hauptspeicher (RAM, random access memory): In Hauptspeicher werden Betriebssystem, die gerade aktiven Programme und von diesen benutzte Daten geladen. Daher wird er oft auch als Arbeitsspeicher bezeichnet. Der Hauptspeicher ist im Gegensatz zu Massenspeichergeräten als Halbleiterspeicher konstruiert und weist daher eine höhere Zugriffsgeschwindigkeit auf. Die Größe des Hauptspeichers entscheidet über die

Arbeitsgeschwindigkeit des Computersystems. Der Hauptspeicher ist ein flüchtiger Speicher. Das heißt, dass die gespeicherten Inhalte bei Unterbrechung der Stromversorgung gelöscht werden.

Grafikkarte: Die Grafikkarte ist für die Ausgabe auf einem Bildschirm zuständig. Grafikkarten besitzen einen Grafikprozessor, der oft auch 3D-Berechnungen übernimmt und so den Hauptprozessor entlastet, und einen eigenen Speicher für Grafikdaten.

Speicherlaufwerke: Hierunter zählt man Festplatten, Solid State Drives (SSD), aber auch Laufwerke für Disketten und CD bzw. DVD Laufwerke oder Brenner (Wechselmedien). Blu-Ray Laufwerke gehören zurzeit noch nicht zur Standardausrüstung eines Computers, dies wird sich in den nächsten Jahren jedoch ändern.

Speichermedien

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an Speichermedien, jeweils mit verschiedenen Vorzügen und Nachteilen. Sie alle dienen der Aufbewahrung von Daten und Programmen.

Disketten: Die 1,44 Megabyte fassende 3,5“ Diskette wird heute kaum mehr benutzt, dennoch gibt es viele Computer, die noch mit passenden Laufwerken ausgestattet sind. In den nächsten Jahren ist zu erwarten, dass sie gänzlich vom Markt verschwinden werden, wie zuvor schon die 5,25“ Disketten.

Magnetbänder (Streamer): Magnetbänder in schrankgroßen Stationen waren in der Frühzeit der Computer das vorherrschende Speichermedium, heute dienen sie in kompakter Form aufgrund der langsamen Zugriffszeit und des nur sequentiellen Lesens als Datensicherungsmedium.

Festplatten (Harddisk): Festplatten sind die häufigste und gängigste Form der Massenspeichermedien. Sie sind in nahezu jedem Computer zu finden. Sie haben eine kurze Zugriffszeit und bieten den zurzeit günstigsten Preis pro Speichereinheit. Die Daten werden dabei auf magnetischen Platten gespeichert.

Optische Speichermedien: zu den optischen Speichermedien zählen CD-ROMs, DVD-ROMs und Blu-Ray-Discs (BD). Eine CD-ROM fasst bis zu 800MB, eine DVD-ROM 4,7GB bzw. 8,5GB (Dual Layer). Eine einschichtige BD-ROM fasst 25GB, eine zweischichtige BD-ROM 50GB. All diese Medien gibt es in gepresster Form (in großen Stückzahlen gefertigte bespielte Datenträger), als einmal beschreibbare Medien, und als mehrfach beschreibbare Medien.

Optische Medien dienen zur Auslieferung von Software und zur Datensicherung bzw. zum Datentransfer, da sie wesentlich unempfindlicher zu transportieren sind, als Festplatten.

Flash-Speicher (Flash-EEPROM): Flash-Speicher benutzt als Speichermedium Halbleiter-Chips. Im Gegensatz zum RAM, der den Hauptspeicher bildet, ist der Flash-Speicher nicht flüchtig, d.h. die gespeicherte Information bleibt auch ohne Stromversorgung erhalten. Flash-Speicher gibt es in mehreren Formen. Die Hauptformen sind sogenannte USB-Sticks, die zusätzlich zum eigentlichen Speicherchip einen USB-Anschluss besitzen (USB = Universal Serial Bus) und somit direkt an den USB-Anschluss eines Computer angesteckt werden können, und Speicherkarten, die unter anderem in Digitalkameras oder GPS-Empfängern eingesetzt werden können. Von letzteren gibt es unterschiedliche Bauformen, die jedoch alle nach demselben Prinzip arbeiten.

Solid State Drives (SSD): SSDs sind Massenspeichergeräte, die auf der Flash-Technik basieren, jedoch wesentlich größere Kapazitäten aufweisen. Sie sind als Ersatz zu den magnetischen Festplatten konzipiert. Vorteile gegenüber der Festplatte sind die schnellere Zugriffszeit, höhere Ausfallsicherheit und geringere Empfindlichkeit durch das Fehlen mechanischer Komponenten, geringerer Energiebedarf (was sich vor allem im mobilen Betrieb mit längeren Akkulaufzeiten bemerkbar macht). Demgegenüber steht jedoch zur Zeit noch ein deutlich höherer Preis pro Speichereinheit als bei den Festplatten, und auch die maximale Kapazität einzelner SSDs reicht noch nicht an die der Festplatten heran. Mittelfristig ist jedoch zu erwarten, dass durch fallende Preise SSDs immer mehr Festplatten ersetzen werden. (CROTHES 2009)

Ausgabegeräte

Bildschirme (oder Monitore): Bildschirme sind Ausgabegeräte, die digitale Daten visuell ausgeben. Die Ausgabe erfolgt unmittelbar, weshalb der Bildschirm auch als Anzeige der Computerfunktion und somit als Element der Benutzerschnittstelle fungiert. Bis vor einigen Jahren waren hier Bildschirme vorherrschend, die auf der Röhrentechnik basieren, heute sind diese jedoch von Flachbildschirmen mit Flüssigkristallanzeigen (LCD, liquid crystal display) weitgehend abgelöst.

Für die Arbeit mit GIS empfehlen sich Bildschirme mit großer Bilddiagonale (mindestens 19 Zoll) oder Computersysteme mit 2 Bildschirmen.

Es gibt auch (besonders für den mobilen Einsatz) berührungsempfindliche Bildschirme (Touchscreens) die Eingabe- und Ausgabegeräte in einem sind.

Drucker: sowohl Drucker als auch Plotter liefern Ausgabe auf Papier oder Folie. Dabei gibt es verschiedene Arten von Druckern. Am gebräuchlichsten sind heute Laser- oder Tintenstrahldrucker. Thermodrucker und Nadeldrucker spielen bei GIS keine Rolle.

Plotter: Ursprünglich sind Plotter Ausgabegeräte, die Vektorgrafik direkt auf (großformatiges) Papier bringen können, ohne diese in Rastergrafik umzuwandeln, da sie einen in einen Wagen eingespannten Stift über das Papier bewegen. Diese Geräte fanden vor allem beim Zeichnen von Plänen Anwendung. Heute wird die Bezeichnung Plotter für Drucker benutzt, die größere Formate als A3 bedrucken können. Sie sind meist ebenfalls in Tintenstrahl- oder Lasertechnik ausgeführt. Der Papiervorrat ist dabei meist auf einer Rolle aufgerollt.

2.3.2 Software

„Eine Software ist ein Programm mit seinen dazugehörigen Daten.“ (WINKLER 2006, S. 765)

Programme sind Software-Produkte, die Funktionsanweisungen enthalten. Hierbei kann man wiederum in Anwendungsprogramme und Systemprogramme unterscheiden. Zu den Systemprogrammen gehören unter anderem Betriebssysteme und Hardware-Treiber.

Anwendungsprogramme sind z.B. Textverarbeitung, Tabellenkalkulationen, Datenbankmanagementsysteme (DBMS) oder eben auch GIS-Programme.

GIS-Programme sind Software-Produkte, die die Funktionalitäten zur Erfassung, Speicherung, Verwaltung, Analyse und Darstellung der Daten, zur Verfügung stellen.

Eigentlich sind auch Daten Software, aufgrund ihrer speziellen Bedeutung für GIS werden sie aber extra erwähnt.

GIS-Programme haben zur Datenverwaltung oft ein eigenes Datenbankmanagementsystem integriert. Sie können sich jedoch meistens auch mit externen Datenbanksystemen verbinden und so diese Daten nutzen.

War es in den 90er Jahren nicht ungewöhnlich, dass bestimmte GIS-Programme entweder mit Vektordaten oder mit Rasterdaten umgehen konnten und das jeweils andere Datenmodell nur rudimentär unterstützten, so können heutige GIS-Programme meist mit beiden Datenmodellen gut umgehen.

Es gibt sowohl kommerzielle GIS-Software, wie z.B. ArcGIS⁵ oder MapInfo⁶, als auch Open Source GIS-Software wie GRASS GIS⁷ oder Quantum GIS⁸.

Da CAD-Programme (Computer Aided Design) ähnliche grafische Funktionen besitzen wie GIS-Software, gibt es auch Zusatzprogramme, die CAD-Systeme zu GIS-Systemen erweitern.

⁵ <http://www.esri.com/>

⁶ <http://www.mapinfo.com/>

⁷ <http://grass.osgeo.org/>

⁸ <http://www.qgis.org/>

Neben den vollwertigen GIS-Programmen, die sehr umfangreiche Editier- und Analysefunktion besitzen, gibt es Programme, die speziell auf die Anforderungen von Business GIS bzw. Geomarketing ausgelegt sind. (BOLLMANN 2002) Diese Software weist gegenüber den vollwertigen GIS-Programmen eine eingeschränkte Funktionsvielfalt auf, dafür sind sie leichter zu bedienen und erfordern kein speziell geschultes Personal. Ein Beispiel wäre hierfür Microsoft MapPoint⁹.

2.3.3 Anwendungen, Anwender

Obwohl in vielen Definitionen (z.B. BILL 1999a, S. 4) das Wort „Anwendungen“ vorkommt, ist danach immer von Anwendern, also den BenutzerInnen die Rede. Natürlich sind Anwendungen und Anwender untrennbar miteinander verknüpft. (DE LANGE 2006, S. 325)

Zum Einen sind mit den Anwendungen die Grundfunktionen gemeint, zum Anderen auch die „typischen“ Anwendungsbereiche, wobei GIS in immer weitere Anwendungsbereiche dringt. Die Grundfunktionen nach dem Vierkomponenten-Modell (siehe auch die Definitionen) sind Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation (von Geodaten bzw. Geoinformationen).

Mit **Erfassung** ist primär die Erfassung bzw. Eingabe von Geodaten gemeint. Dies kann entweder durch Primärerfassung (dem Erfassen von Primärdaten, siehe Kapitel 2.4.1 „Primär- und Sekundärdaten“) geschehen, oder durch Digitalisierung von Daten, die bereits in anderer Form erfasst und bearbeitet wurden, z.B. durch Digitalisierung von Karten. Auch das Einspielen von Sachdaten gehört zur Erfassung.

Da die Daten in einem GIS oft recht umfangreich sind und auch bearbeitet werden müssen, sind umfangreiche Funktionen zur **Datenverwaltung** notwendig. Da die Daten im Normalfall in Datenbanken gespeichert werden, ist dazu ein Datenbankmanagementsystem (DBMS) notwendig.

Je nach Datentyp werden unterschiedliche Datenbankstrukturen genutzt. So werden Vektordaten meistens in relationalen Datenbanken gespeichert, Rasterdaten hingegen in dateibasierten Datenbanken. (HENNERMANN 2006, S. 69) Das DBMS eines GIS sollte mit diesen unterschiedlichen Datenbankstrukturen zurechtkommen.

Die **Analysefunktionen** sind die Besonderheiten eines GIS und unterscheiden es von anderen Informationssystemen. In aktuellen Systemen sind diese sehr umfangreich. Grundsätzlich lassen sie sich in folgende Gruppen unterteilen (RIEDL und RIEDL 2003, S. 24ff):

Informationsabfrage: Hierzu gehören Suchfunktionen, sowie Sortier- und Verknüpfungsfunktionen. Auch statistische Funktionen sind in einem GIS integriert. Die

⁹ <http://www.microsoft.com/germany/mappoint/>

Informationsabfrage ist die grundlegende Funktion eines GIS. Die Ausgabe kann sowohl in tabellarischer als auch in grafischer Form geschehen.

Messfunktionen: Diese Funktionen ermöglichen das Zählen, Berechnen und Messen von Strecken, Flächen und Volumina.

Verschneidungsfunktionen (Overlay): Diese Funktionen gehören zu den wichtigsten Funktionen eines GIS zur Informationsgewinnung. (BILL 1999b, S.88) Durch logische Operationen auf zwei oder mehr Informationsebenen werden neue Informationen gewonnen. Hierbei werden Flächenebenen mit anderen Flächen-, Punkt- oder Linienebenen verschnitten. Diese Funktionen spielen besonders in der Standortplanung eine große Rolle.

Pufferfunktionen: Diese Funktionen erlauben es, eine Zone (Puffer) mit einem bestimmten Abstand um ein Objekt zu erzeugen. Bei Flächen ist auch ein Abstand nach innen möglich. Puffer dienen oft als Grundlage für Overlay-Operationen.

Interpolationen: Interpolationen dienen der Modellierung von Oberflächen oder Isolinien (z.B. Höhenlinien). Dabei werden die Flächen aus Punktwolken berechnet. Es werden verschiedene Interpolationsverfahren angewandt, wie z.B. Inverse Distance Weighting oder Kriging.

Netzwerkanalysen: Netzwerke sind Graphen nach der mathematischen Graphentheorie, also Knoten und Kanten. Sie werden unter Anderem benutzt, um Verkehrssysteme, Energieversorgungsnetze oder Flussnetze darzustellen. Ein Beispiel einer sehr häufig benutzten Netzwerkanalyse ist die Berechnung der schnellsten Route von Ort A nach Ort B (Routenplaner).

Geländemodellierung: Unter Geländemodellierung wird die Abbildung eines Teils der Erdoberfläche mittels dreidimensionaler Koordinaten verstanden. Dies geschieht meistens in Form eines Rasterbildes, deren Rasterzellen Höhenwerte besitzen. Das Ergebnis sind Digitale Höhenmodelle (DHM), die die topographische Oberfläche des Geländes wiedergeben. Eine andere Möglichkeit, ein Gelände digital darzustellen sind sogenannte TINs (*Triangular Irregular Network*). Dabei wird die Oberfläche als Netz aus unregelmäßigen Dreiecken repräsentiert. Die Knoten der Dreiecke besitzen dreidimensionale Koordinaten.

Ergebnisse aus den Analysen sollen natürlich auch entsprechend **präsentiert** werden. Im Normalfall werden diese Ergebnisse und Informationen in Form von kartenähnlichen Darstellungen, Karten oder Diagrammen präsentiert. Wichtig ist hier auch die Funktion der Signaturengenerierung. So können Signaturen, die quantitative Ebenen wiedergeben, automatisch skaliert werden. Legenden, Maßstabsleisten und ähnliche können sehr leicht über

interaktive Hilfsmittel generiert werden. Auch Karten zur visuellen Datenexploration (HAKE, GRÜNREICH und MENG 2002, MACEACHREN 2004) können mit GIS leicht erstellt werden. Obwohl GIS-Programme wie z.B. ArcGIS 9.3 schon recht weitreichende Funktionen zur kartographischen Gestaltung mitbringen, genügen die damit erreichbaren Ergebnisse meist nicht professionellen kartographischen Ansprüchen. Hierzu ist weiterhin die Nachbearbeitung in einem Kartographie- oder Grafikprogramm notwendig. (RIEDL und RIEDL 2003, S. 7). Dies gilt im Besonderen, wenn hochwertige topographische Karten für den Druck erstellt werden sollen.

2.3.4 Ebenenprinzip (Layer)

Das Ebenenprinzip ist historisch auf das Übereinanderlegen verschiedener transparenter Folien bei der Herstellung analoger Karten zurückzuführen (BILL 1999a, S. 271)

Dabei werden die Geometriedaten nach Thematik getrennt in verschiedenen Ebenen (Layer) angelegt und gespeichert. Dies hat den Vorteil, dass Thematiken einfach in der Ansicht ein- und ausgeblendet werden können und so schon auf rein visuelle Art Zusammenhänge erkannt werden können. Es macht außerdem die Verwaltung von Analysen mit vielen unterschiedlichen Datensätzen übersichtlicher. Letztendlich ist dieses Prinzip auch bei der kartographischen Gestaltung der Ergebnisse hilfreich.

2.4 Daten

Daten sind die Grundlagen für Analysen mit GIS. Die Art der Daten entscheidet über die möglichen Analysemethoden. Zunächst liegt hier der Schwerpunkt auf geographischen Daten bzw. Geodaten, also Daten, die einen Raumbezug aufweisen.

Daten sind eine Abbildung der Realität in digitaler Form. In der modernen GIScience fand Mitte der 90er Jahre eine „Ontologisierung“ statt. Das heißt, dass die Objekte in GIS Darstellungen der Konzeptualisierung der Realität sind, und nicht Darstellungen der Realität selbst. (GRUBER 1993)

2.4.1 Primär- und Sekundärdaten

Grundsätzlich lässt sich je nach Datenquelle nach Primärdaten (auch Originärdaten) und Sekundärdaten unterscheiden.

Primärdaten sind Daten, die durch Primärerfassung erhalten werden. Dabei werden die Daten am Objekt selbst oder dessen unbearbeitetem Abbild unmittelbar gewonnen. (BILL 1999a, S. 171)

Dies trifft auf Daten zu, die z.B. durch Tachymetermessung, Laserscanning, Fernerkundung oder mittels GPS Empfänger gewonnen werden. Im Bereich der Sachdaten wären das z.B. (unverarbeitete) Messwerte oder Felderhebungen. Sie sind meist kosten- und zeitaufwändiger zu gewinnen als Sekundärdaten.

Sekundärdaten (abgeleitete Daten) sind Daten, die bereits eine Bearbeitung erfahren haben, bevor sie für das GIS erfasst werden. Sie wurden im Normalfall bereits früher für einen anderen Zweck erfasst. (HENNERMANN 2006, S 47) Das heißt, dass bei der Erfassung von bereits existenten Produkten ausgegangen wird. Eine sehr häufige Methode zur Sekundärdatengewinnung ist das Digitalisieren von Karten. Auch statistisch bearbeitete Daten zählen zu den Sekundärdaten.

2.4.2 Datenmodelle

Für Geometriedaten gibt es im Bereich der Geodaten zwei unterschiedliche Datenmodelle. Dies sind Vektordaten und Rasterdaten. Diese Unterscheidung ist grundlegend, manche Thematiken lassen sich besser als Vektordaten darstellen, andere besser als Rasterdaten. Beide Modelle haben Vor- und Nachteile gegenüber dem anderen. Es gibt jedoch für jeden der beiden Datentypen unterschiedliche Algorithmen und Analyseverfahren bzw. benötigen verschiedene Analyseverfahren auch unterschiedliche Datenmodelle.

Allgemein (jedoch nicht ausnahmslos) kann gesagt werden, dass sich Rasterdaten besser zur Darstellung kontinuierlicher Phänomene, wie z.B. Geländeoberflächen, eignen, Vektordaten hingegen für diskrete Objekte, z.B. Gebäude oder Straßen. Eine Konvertierung zwischen beiden Datenmodellen ist möglich, jedoch nicht immer einfach. Im Normalfall ist es jedoch meist weniger problematisch, Vektordaten in Rasterdaten zu konvertieren, als umgekehrt. Während ersteres meist eine einfache automatische Operation ist, ist beim Konvertieren von Raster zu Vektor oft aufwendige Handarbeit bzw. Benutzereingabe notwendig.

Die meisten heute erhältlichen GIS-Programme können mit beiden Datenmodellen umgehen. Dies war jedoch nicht immer so, es gab Programme, die primär mit Rasterdaten umgehen konnten, und Programme, die auf Vektordarstellung spezialisiert waren.

Raster- und Vektordaten sind die häufigsten Datenmodelle, daneben gibt es jedoch auch weitere Datenmodelle, wie zum Beispiel TINs (Triangulated Irregular Networks)

2.4.3 Rasterdaten

Bei Rasterdaten wird das Gebiet, das von Interesse ist, in regelmäßige rechteckige Zellen (Pixel), die in Reihen und Spalten angeordnet sind, unterteilt. Diese Zellen werden mit dem

Wert des relevanten Attributes gefüllt (z.B. dem Höhenwert oder dem codierten Wert eines Objektes). Der Koordinatenursprung des Rasters wird dabei durch Lagekoordinaten und Orientierung ausgedrückt und festgelegt. Die Pixel werden durch Zeilen- und Spaltenindex identifiziert. (DE LANGE 2006, S.332)

So hat jede Zelle in diesem Raster einen Wert. Rasterdatensatz ist im Wesentlichen einer mathematischen Matrix gleichzusetzen.

Auch die Topologie (die Nachbarschaftsbeziehungen) sind durch die Datenstruktur des regelmäßigen Rasters bereits vorgegeben. (DE LANGE 2006, S.332)

Die Vorteile des Rastermodells sind unter Anderem die einfache Datenstruktur, die einfache Erfassung mittels Scanner und einfache logische und algebraische Funktionen. Nachteile des Rastermodells sind der große Speicherverbrauch, vor allem bei engmaschigen (hochauflösenden) Rastern, die schlechte Skalierbarkeit und aufwendige Koordinatentransformationen. Auch ist die Lage- und Formtreue bei Objekten nur bis zur Größe der Pixel gegeben, d.h. ein Pixel in einem Raster kann immer nur einen Wert haben. Befinden sich zwei Objekte auf der Fläche eines Pixels, kann nur eines davon auch dem Pixel seinen Wert geben. In der Regel ist dies jenes Objekt, das den größeren Teil des Pixels besetzt. Und auch die Form kann nur in ganzen Pixeln wiedergegeben werden.

2.4.4 Vektordaten

Bei Vektordaten werden Objekte als Punkte, Linien oder Flächen (Volumina im dreidimensionalen Raum) gespeichert. Der Informationsträger, das grundlegende Datenelement, ist jedoch der Punkt (BARTELME 2005, S. 73), der durch Lagekoordinaten in einem räumlichen Bezugssystem definiert wird. „Die Koordinaten kennzeichnen Einzelpunkte sowie Anfangs- und Endpunkte von gerichteten Strecken, d.h. von Vektoren.“ (DE LANGE 2006, S. 328f) Linien und Flächenobjekte werden durch mehrere Punkte bzw. Vektoren gebildet. Flächen werden durch Begrenzungslinien gebildet, Linien durch einzelne Liniensegmente, die jeweils zwei Punkte verbinden. Kompliziertere Linienverbindungen, wie Bézier-Kurven oder Splines, die in Grafikprogrammen möglich sind, werden in Geodaten kaum benutzt, da viele Berechnungen um ein vielfaches komplizierter wären. (CHRISMAN 1997, S. 62)

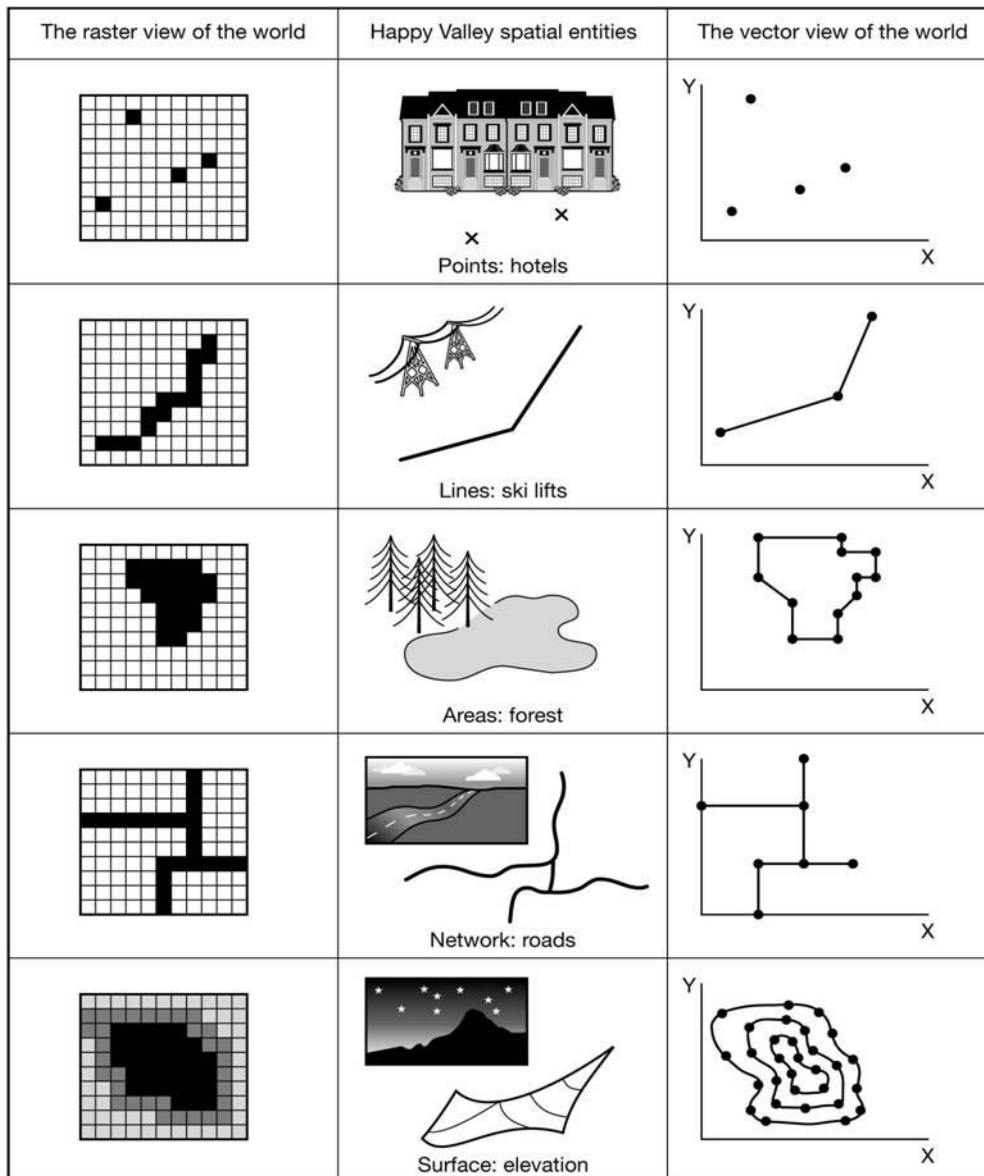


Abbildung 3: Raster- und Vektordaten (HEYWOOD, CORNELIUS und CARVER 1998, Fig. 3.4, S. 48)

2.4.5 Triangulated Irregular Network (TIN)

Durch Dreiecksvermaschung können Oberflächenmodelle auf Vektorbasis berechnet werden. Dabei entsteht durch Triangulation ein Netz aus Dreiecksflächen mit den Koordinaten (x_i, y_i) in der xy -Ebene. Jedem Eckpunkt der ebenen Dreiecke kann ein Attributwert z_i zugewiesen werden, der als Höhe dargestellt werden kann. Werden durch diese Höhenpunkte Ebenen gelegt, spricht man von einem dreidimensionalen Netz unregelmäßiger Dreiecksflächen (triangulated irregular network, TIN). Die Dreiecksvermaschung geht von einzelnen Punkten aus. Dabei werden nach der Delaunay-Triangulation die Dreiecke so gewählt, dass innerhalb des Umkreises eines Dreiecks kein weiterer Messpunkt liegt. Dabei können jedoch bei der Berechnung z.B. von Isohypsen Plateau-Effekte auftreten, wenn drei Punkte einer Linie näher

liegen, als die der benachbarten Iso-Linie. Dies kann durch das hinzufügen weiterer Messpunkte ausgeglichen werden. (DE LANGE 2006, S. 361ff, WISE 2002, S. 131ff)

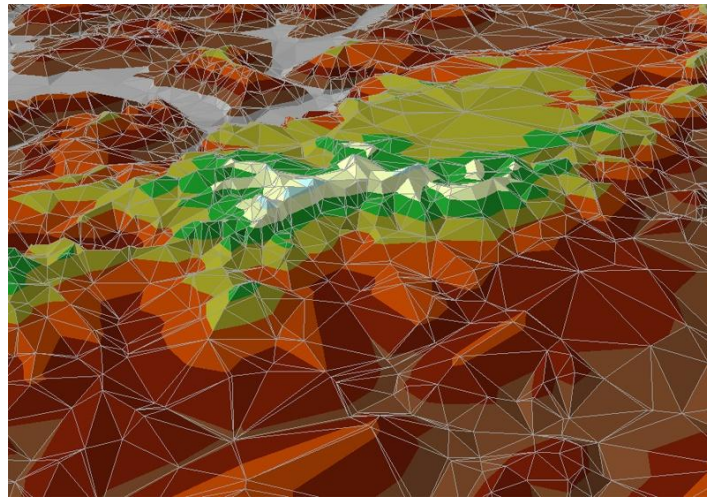


Abbildung 4: Triangulated Irregular Network

2.4.6 Attribute, thematische Daten oder Sachdaten

Die Stärke von GIS liegt in der Möglichkeit, die Geometriedaten mit Attributen (oft auch als Sachdaten, thematische Daten, Merkmale oder semantische Informationen bezeichnet (RIEDL und RIEDL 2003, S. 32)) zu verknüpfen und gemeinsam zu verarbeiten und zu analysieren.

„Ihre Erfassung erfolgt i.d.R. in einem fachspezifischen Zusammenhang zur Erledigung von speziellen Fragestellungen; [...]“ (BILL 1999a, S. 26) Dabei gelten als Attribute all jene Daten, die einen bestimmten, nicht-geometrischen Sachverhalt darstellen, wie z.B. Messwerte, Namen, Eigenschaften, Objektkategorien und vieles mehr. Attribute können alle Datentypen aufweisen. Sie können numerische Daten, alphanumerische Daten, Zeit- oder Datumsangaben oder auch binäre Daten sein.

Bei Rasterdaten kann einer Zelle immer nur ein Attribut zugewiesen werden. Zur Darstellung von mehreren Attributen gibt es die Möglichkeit, mehrere Raster zu kombinieren (Multi-Band-Raster) oder zusammengesetzte Attribute zu berechnen.

Bei Vektordaten können ganze Attributstabellen über Objekt-Identitätsnummern einzelnen Objekten zugewiesen werden.

2.4.7 Skalenniveaus

Die Attribute können verschiedene Eigenschaften haben. Es kann sich dabei z.B. um Messwerte oder um Kategorien der Bodennutzung handeln. Je nachdem welcher Inhalt dargestellt wird, können diese Attribute unterschiedliche Skalenniveaus haben, die unterschiedliche Vergleichsoperationen und damit Analysen und Aussagen erlauben.

Im Allgemeinen werden Nominal-, Ordinal-, Intervall- und Rationalskala unterschieden.

Die **Nominalskala** ist eine reine Benennung. Es ist dabei keine Ordnung vorhanden. Als Vergleichsoperation ist nur zulässig, ob zwei oder mehrere Elemente gleich oder ungleich sind. Beispiele für nominale Daten sind Namen, Zahlen als Codierung für verschiedene Klassen, Straßennummern,...

Die **Ordinalskala** (oder Kardinalskala) erlaubt eine Ordnung der einzelnen Elemente. Es ist auch möglich zu vergleichen, ob ein Element größer oder kleiner als ein anderes ist. Beispiele für ordinal skalierte Daten sind Schulnoten, Ränge, Bewertungsstufen. (DE LANGE 2006, S. 165)

Intervall- und Rationalskala werden als metrische Skalen bezeichnet. Dies sind die Skalenniveaus, die Messwerte haben. Dabei ist bei der **Intervallskala** der Nullpunkt nicht eindeutig festgelegt, bzw. willkürlich festgelegt, wie z.B. im Falle einer Temperaturangabe in Grad Celsius. Als Operationen sind Addition und Subtraktion möglich. Es ist jedoch nicht richtig, zu sagen, „20° C sind doppelt so viel wie 10° C“ (dies wäre eine Multiplikation, die Aussage „15° C ist um 5° C wärmer als 10° C“ ist hingegen korrekt).

Bei der **Rationalskala** liegt hingegen ein eindeutiger Nullpunkt vor, als Operationen sind zusätzlich zu allen vorher genannten auch Multiplikation und Division möglich. Auch das Vergleichen von Verhältnissen ist erlaubt. Beispiele wären die Temperatur in Kelvin, Alter in Jahren oder die Länge in Meter.

2.5 Datenqualität und Metadaten

Ein wichtiger Faktor für die Aussagekraft und Qualität der GIS-Analysen ist die Datenqualität. Für die Interpretation der Analyseergebnisse ist es wichtig, die Qualität der Daten, die die Grundlage bilden, zu berücksichtigen. Qualität im Allgemeinen bezeichnet die Menge der Eigenschaften eines Produktes, die sich auf die Fähigkeit des Produktes, Bedürfnisse zu befriedigen, beziehen. (KAINZ 1999, S. 84) Umgelegt auf Geodaten bedeutet Qualität die Eignung der Daten (das Produkt) für bestimmte Einsatzzwecke (Bedürfnisse).

Diese Überlegungen sind vor allem auch für diese Untersuchung relevant, da die Datenqualität der numismatischen Daten Probleme aufwirft (siehe Kapitel 6 „Numismatische Daten“) Es ist jedoch auch zu bedenken, dass Datenqualität immer relativ ist, und vom Zweck, für den diese Daten verwendet werden sollen, abhängt. (ALBRECHT 2007, S. 17) So ist eine großmaßstäbige (1:50.000) topographische Karte, die eine sehr genaue Darstellung der Straßen enthält, nur bedingt geeignet, wenn der schnellste Weg von Wien nach Paris gesucht wird.

Metadaten hingegen helfen, Daten zu finden, zu verwalten und auch hinsichtlich ihrer Qualität und Tauglichkeit einzuschätzen.

2.5.1 Genauigkeit und Präzision

Zunächst muss zwischen den beiden Begriffen *Genauigkeit* und *Präzision* unterschieden werden.

Die **Genauigkeit** (engl. *accuracy*) gibt an, wie sehr das codierte Ergebnis dem entspricht, was codiert werden sollte. (ALBRECHT 2007, S. 17), oder anders ausgedrückt, wie gut die Daten die Realität wiedergeben.¹⁰ Genauigkeit kann sich auf die Geometriedaten, zeitliche Komponenten und Attribute (thematische oder semantische Genauigkeit) beziehen.

Die **Präzision** (engl. *precision*) bezieht sich auf die Detailliertheit geometrischer, zeitlicher oder sachlicher Daten. In Bezug auf Geometriedaten wird die Präzision häufig auch als *Auflösung* bezeichnet. (ALBRECHT 2007, S. 18)

Präzision ist indirekt mit der Genauigkeit verbunden, da sie das Maß ist, an dem die Genauigkeit gemessen wird. So haben Daten, die eine geringere Präzision aufweisen, auch meist eine geringere Anforderung an die Genauigkeit. (ALBRECHT 2007, S. 18)

2.5.2 Elemente der Datenqualität

Die *International Cartographic Association* (ICA) hat im Rahmen der *Commission on Spatial Data Quality* als Elemente der räumlichen Datenqualität *lineage* (Herkunft), *positional accuracy* (Lagegenauigkeit oder geometrische Genauigkeit), *attribute accuracy* (Attributgenauigkeit oder thematische Genauigkeit), *completeness* (Vollständigkeit), *logical consistency* (logische Konsistenz), *semantic accuracy* (semantische Genauigkeit) und *tremportal information* (zeitliche Information) definiert. (GUPTILL und MORRISON 1995) In der ISO-Norm 19113 sind Vollständigkeit, logische Konsistenz, Positionsgenauigkeit, zeitliche Genauigkeit und thematische Genauigkeit als Elemente der Datenqualität normiert, wobei es für jedes dieser Elemente auch Unterelemente gibt. Daneben existieren noch weitere Qualitätsmerkmale für Geodaten, die allerdings keiner Normierung unterliegen. Dies sind die Verwendung, Zweck und Homogenität Zuverlässigkeit, Zugänglichkeit und die Identifizierbarkeit. (KAINZ 1999, S. 87f, BARTELME 2005, S. 246f)

Die **Herkunft** (engl. *lineage*) gibt Auskunft über die Verarbeitungsgeschichte des Datensatzes. Es sollten hier alle Bearbeitungsschritte von der Datenerfassung an angegeben

¹⁰ Der Begriff der *Realität* ist hierbei eigentlich nicht korrekt, da die Realität an sich mit den Daten nicht wiedergegeben werden kann. Eigentlich ist hier immer von Konzeption der Realität bzw. ein bestimmter Aspekt der Realität gemeint.

sein. So kann hier festgehalten werden, ob der Datensatz von Primär- oder Sekundärdaten abstammt, welchen geographischen Transformationen oder Formatkonvertierungen er unterzogen wurde, usw.

Die **Lagegenauigkeit** (engl. *positional accuracy*) ist die geometrische Genauigkeit der Daten. Sie gibt an, wie gut die gespeicherten Koordinaten die tatsächliche Lage darstellen.

Die **Attributgenauigkeit** (engl. *attribute accuracy*) ist ein Maß für die Genauigkeit der Attribute und „gibt an, wie gut die Attribute im Datensatz den tatsächlichen Attributen der entsprechenden Objekte in der Wirklichkeit entsprechen“ (KAINZ 1999, S. 87)

Die **Vollständigkeit** (engl. *completeness*) gibt an, in welchem Ausmaß alle der Thematik entsprechenden Objekte und ihre Attribute auch tatsächlich im Datensatz vorhanden sind. Als Maß wird die prozentuelle Anzahl der fehlenden (bzw. nicht dazugehörigen) Elemente verwendet. (KAINZ 1999, S. 87) Es gibt jedoch auch den Fall, dass zu viele Objekte vorhanden sind, etwa durch Inkonsistenzen in der Datenbank (doppelt digitalisierte Objekte) oder dadurch, dass das Objekt in der Realität nicht mehr existiert, der Datensatz jedoch noch nicht aktualisiert wurde.

Die **logische Konsistenz** (engl. *logical consistency*) gibt an, wie sehr sich ein Datensatz an die durch die zur Speicherung gewählten Datenstruktur vorgegebenen Regeln hält. Es kann hierbei zwischen Bereichs-, Format- und topologischer Konsistenz unterschieden werden.

Wenn für Daten ein Wertebereich definiert wurde, müssen alle Werte in diesem Bereich liegen. Die Bereichskonsistenz gibt Auskunft darüber, ob alle Daten in diesem Wertebereich liegen. So können z.B. geographische Längenangaben nur Werte zwischen -180° und $+180^\circ$ annehmen. (KAINZ 1999, S.88)

Die Formatkonsistenz bezieht sich auf die Einhaltung der Regeln des Datenformates, in dem die Daten gespeichert sind.

Von topologischer Konsistenz ist die Rede, wenn es darum geht, korrekte Nachbarschaftsbeziehungen (topologische Relationen) zwischen den einzelnen Elementen zu beschreiben. Zur Gewährleistung der topologischen Konsistenz eines Vektordatensatzes aus Knoten (Punkten), Kanten (Linien) und Flächen müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- „ 1. Jede Kante hat einen Start- und Endknoten
2. Zu jeder Kante gibt es eine Fläche, die links bzw. rechts (in Richtung vom Start- zum Endknoten) der Kante liegt.
3. Jede Fläche ist durch eine alternierende geschlossene Folge von Knoten und Kanten begrenzt.

4. *Um jeden Knoten gibt es eine alternierende geschlossene Folge von Kanten und Flächen (eine Art Schirm)*
5. *Wenn Kanten einander schneiden, dann tun sie das immer in einem Knoten.*“ (KAINZ 1999, S. 88)

Semantische Genauigkeit (engl. *semantic accuracy*) wird oft mit Attributgenauigkeit gleichgesetzt (siehe KAINZ 1999), ist aber von der ICA als das Maß definiert, mit dem die geographischen Objekte in Übereinstimmung mit dem gewählten Modell beschrieben sind. Sie wird auch als übergeordnetes Qualitätsmerkmal begriffen, die sich aus anderen Qualitätselementen zusammensetzt. (SALGÉ 1995)

Zeitliche Informationen (engl. *temporal information*) umfassen alle zeitrelevanten Informationen eines Datensatzes. Dies umfasst einerseits die Zeit und das Datum der Erfassung, aber auch die Art und Häufigkeit von Aktualisierungen oder die Gültigkeitsdauer von Objekten und Daten. (GUPTILL und MORRISON 1995)

Die **Zuverlässigkeit** (engl. *reliability*) ist ein Maß dafür, ob in einem Modell Fehler durch Kontrollmessungen gefunden werden können.

Die **Zugänglichkeit** (engl. *accessability*) gibt an, wie einfach der Zugriff auf ein bestimmtes Objekt oder Attribut ist. Es geht dabei einerseits um rechtliche oder administrative Zugänglichkeit, andererseits aber auch um den technischen Zugriff auf einzelne Objekte oder Attribute. (BARTELME 2005, S. 247)

Die **Identifizierbarkeit** (engl. *identifiability*) gibt an, wie gut einzelne Objekte einer Klasse von anderen Objekten derselben Klasse unterscheidbar sind.

Ein Datensatz kann unter Umständen nicht über den gesamten Bereich die gleichen Qualitätswerte aufweisen. Die **Homogenität** gibt an, wie gleichmäßig diese Werte im Datensatz verteilt sind.

2.5.3 Metadaten

Metadaten werden auch oft als „Daten über Daten“ bezeichnet. Tatsächlich sind Metadaten Angaben über die im Datensatz vorhandenen Daten bzw. deren Entstehung, Informationsgehalt und Qualität.

„Die Verfügbarkeit von Daten alleine ist völlig unzureichend, wenn nicht ausführliche Beschreibungen vorliegen, nach welchen Verfahren oder Genauigkeitsvorgaben, aus welchem Anlass, zu welchem Zeitpunkt und von welchem Bearbeiter diese erstellt wurden. Unter dem Begriff Metadaten werden solche Angaben verstanden, die zum Nachweis und Zugriff auf

Datenbestände erforderlich sind, bzw. in formalisierter Form die Beschreibung komplexer Informationen erlauben.“ (DE LANGE 2006, S. 207)

Metadaten beinhalten verschiedene Datenelemente, die verschiedenen Zwecken dienen. Sie geben Auskunft über die Verfügbarkeit (welche Daten existieren für ein bestimmtes Thema oder geographisches Gebiet?), die einsatzgerechte Eignung (Sind die Daten für den geplanten Einsatz geeignet?), die Zugriffsmöglichkeit (Wie sind die Daten zu bekommen?) und den Transfer der Daten (Wie kann ich die Daten benutzen?). (GUPTILL 1999, S. 678)

In Metadaten werden demnach Angaben zur Datenqualität getroffen, aber auch über den Zweck, die Form, den Ursprung, die Entstehungsgeschichte und administrative bzw. rechtliche Details der Daten.

Metadaten können in unterschiedlichen Kontext benutzt werden. GUPTILL (1999, S.678) unterscheidet drei Möglichkeiten: die Benutzung als Datenkatalog, als Hilfsmittel zum Datenmanagement und als Begleitung zum eigentlichen (Geo-)Datensatz.

Aufgrund der Aufgaben und Einsatzgebiete von Metadaten ergibt sich die Notwendigkeit, den Aufbau der Metadaten zu standardisieren.

Um Metadaten effizient nach Informationen zu durchsuchen, muss der Inhalt und die Struktur der Metadaten standardisiert werden. Da jedoch je nach Datentyp Inhalt unterschiedliche Elemente vorhanden sind, ergibt sich eine recht komplexe Struktur solcher Metadatenstandards. Dabei sind die verschiedenen Metadatenelemente in hierarchische Strukturen unterteilt. Die zwei häufigsten Standards, die verwendet werden, sind der amerikanische *Content Standard for Digital Geospatial Metadata (CSDGM)* und der internationale Standard ISO 19115. Der *CSDGM* wurde vom *Federal Geographic Data Committee (FGDC)*, einer US-amerikanischen Behörde zur Koordination der Entwicklung und Verwaltung von Geodaten entwickelt, der ISO-Standard von der *International Organization for Standardization* entwickelt. Tabelle 1 zeigt die übergeordneten Metadatenelemente nach diesen Standards.

CSDGM	ISO 19115
identification information spatial reference status information metadata reference information source information processing history distribution information entity/attribute Information contact information	identification data quality spatial data representation information spatial reference feature and feature attribute distribution metadata reference

Tabelle 1: Übergeordnete Metadatenelemente der Standards CSDGM und ISO 19115 (nach GUPTILL 1999)

3 Grundlagen der (antiken) Numismatik

3.1 Numismatik

Es soll hier an dieser Stelle keine umfassende Darstellung der Numismatik gegeben werden, da dies den Umfang der Arbeit sprengen würde. Es wird jedoch ein Überblick über die für die Fragestellung dieser Arbeit relevanten Bereiche der Numismatik gegeben.

„Numismatik ist also der übliche Fachausdruck für Münzkunde, für die Wissenschaft von der Münze“ (ALFÖLDI 1978, S. 1)

Im Lexikon der Numismatik (KROHA 1997) wird die Numismatik zunächst ebenfalls als die Wissenschaft der Münze angegeben, es wird aber gleichzeitig darauf verwiesen, dass die Numismatik über den deutschen Begriff der Münzkunde hinausgeht. Und auch in einem aktuellen Lexikon der Münzen (KAHNT 2005) wird die Numismatik umfassender beschrieben:

„Numismatik (von griech. Nomisma = Münze): Disziplin der historischen Wissenschaften, deren Gegenstand die Zahlungsmittel in allen ihren geschichtlichen, ökonomischen, politischen, juristischen, kulturellen und technischen Beziehungen sind [...] Eine Einschränkung auf die Münzkunde ist also nicht zutreffend“ (KAHNT 2005, S.318)

Nach GÖBL (1978, S. 19) gliedert sich die Numismatik in vier Hauptteile der Stoffgliederung:

1. Münzkunde
2. Münzgeschichte
3. Geldgeschichte
4. Methodenlehre

Die Münzkunde ist das Fachgebiet, dass sich mit der Münze an sich, also der Beschaffenheit, der Herstellungstechnik und der Ikonographie befasst. Sie wird als Grundlage der Numismatik verstanden und bildet die Voraussetzung für die anderen Teilbereiche.

Die Münzgeschichte beschäftigt sich mit dem *„Ablauf der Entwicklung nach dem chronologischen und geographischen Prinzip.“* (GÖBL 1978, S. 19) Weiter ist hier auch die gegenseitige Beeinflussung der Elemente der Münzkunde von Interesse.

Die Geldgeschichte untersucht die Beziehungen der Geldformen untereinander.

Die Methodenlehre ist die Sammlung aller in der Numismatik üblichen Methoden zur Auswertung numismatischer Quellen.

Nach dieser Gliederung und Beschreibung erscheint besonders der Bereich der Münzgeschichte für die vorliegende Untersuchung geeignet.

3.1.1 Was ist eine Münze?

Die Münze ist eine Erscheinungsform des Metallgeldes. Die Form, die sich gegenüber anderen Varianten durchgesetzt hat, ist die zweiseitig geprägte (mehr oder weniger) kreisrunde Scheibe. Der Staat (der im Regelfall die für die Münzprägung zuständige Institution ist) garantiert den standardisierten Feingehalt und das Gewicht der Münze. Dadurch ist die Münze als allgemeines Zahlungs- und Zirkulationsmittel geeignet. Sie verkörpert auch einen festgelegten nominalen Wert bzw. einen Teil oder ein Vielfaches davon. (KAHNT 2005, S. 294f)

Eine Münze ist jedoch nicht nur Zahlungsmittel, obwohl dies natürlich eindeutig ihre primäre Funktion ist. (KAHNT 2005, S. 295) Eine Münze hat zudem auch noch die Funktion eines Massenkommunikationsmittels und kann dadurch Mittel politischer Propaganda sein.

Als Gegenstand der Numismatik und anderen Wissenschaften besitzt die Münze die Funktion eines kulturhistorischen Dokumentes.

Weitere Funktionen sind ihre ästhetische Funktion (Gegenstand künstlerischer Gestaltung) und die Möglichkeit der Einnahmequelle für die Münzherren mit Hilfe der Verschlechterung des Münzfußes (die gesetzliche Regelung über Gewicht und Edelmetallgehalt)

3.1.2 Antike Numismatik

GÖBL (1978, S. 19) beschreibt die antike Numismatik als Wissenschaft vom Geldwesen der antiken Welt, wobei er selbst zugibt, dass die Grenzen der antiken Numismatik (im Gegensatz zur Numismatik des Mittelalters und der Neuzeit) sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Hinsicht fließend sind. Im Allgemeinen wird der Beginn der Antike in der Numismatik mit dem ersten Erscheinen von Münzen im 7. Jahrhundert vor Christus angenommen. Das Ende und damit den Übergang zur Numismatik des Mittelalters bildet – zumindest für den europäischen Gesichtskreis – die Kupfergeldreform des Anastasius im Jahr 498 nach Christus. Sowohl GÖBL (1978, S. 20) als auch ALFÖLDI (1978, S. 2f) sehen dieses Datum kritisch, da hier nur ein Teil des Geldwesens reformiert wurde und kein Bruch stattfand. Deshalb wird von diesen beiden Autoren die zeitliche Grenze der antiken Numismatik im 8. Jahrhundert n.

Chr. angesiedelt, als mit den Karolingern das antike Münzsystem überholt wurde. (ALFÖLDI 1978, S. 3)

Es fallen also sowohl die Münzen, die im Rahmen des Projektes CHWH von Interesse sind, als auch die Fundmünzen der römischen Zeit in Österreich in den zeitlichen Bereich der antiken Numismatik.

3.2 Fragestellungen und Methoden

Aufgaben der Numismatik sind nach KAHNT (2005)

- *Erarbeitung von Prinzipien und Methoden zur Auswertung von Münzfunden und zur Münzbeschreibung, Registrierung sowie historische und territoriale Einordnung des numismatischen Materials*
- *Erforschung der verschiedenen historischen Erscheinungsformen von Münzen und anderen Geldformen*
- *Erforschung der Gesetzmäßigkeiten, besonderen Erscheinungen und Auswirkungen des Prozesses der Münzverschlechterung*
- *Erforschung der metrologischen Bedingungen des Münzwesens*
- *Erforschung der Geschichte der Herstellung von Münzen (Münztechnik) und der Organisationsform des Münzbetriebs*
- *Erforschung der Geschichte des Münzrechts, der Münzgesetzgebung und der Münzkonventionen*
- *Ermittlung der Verbreitungsgebiete von Münztypen als Ausdruck von Handelsbeziehungen* (KAHNT 2005, S. 318)

Es handelt sich bei der Numismatik demnach um eine umfassende Wissenschaft, die sich mit sämtlichen Aspekten des Geld- und Münzwesens beschäftigt. In der antiken Numismatik ist die Münze als vorherrschende Form des Geldes zu sehen, weshalb der Fokus der Forschung auf den Münzen liegt.

Für GÖBL (1978) ist die Münzkunde, also die Beschäftigung mit Stoff, Physis, Herstellungstechnik, Metrologie und Ikonographie, die Grundlage für alle weiteren Teile der wissenschaftlichen Numismatik. Eine der Grundlagenfrage der antiken Numismatik und Ausgangspunkt für alle weiteren Fragestellungen ist die Rekonstruktion der *Prägesysteme* (die Prägepläne und der organisatorische Ablauf der Münzprägung).

Grundlage der numismatischen Forschung ist das Sammeln¹¹, Aufbewahren und Dokumentieren von Münzen. Dazu gehört auch das Anlegen von Münzkarteien und Datenbanken, bei denen die Münzen auch fotografisch abgebildet sind. Die Beschreibung der Münzen ist der nächste Schritt und ist der Beginn einer Systematisierung.

3.2.1 Münzbeschreibung

Natürlich sind zuerst einmal die Bilder bzw. die Schrift auf der Vorder- oder Hauptseite (*Avers*) und Rückseite (*Revers*) Gegenstand der Beschreibung. Was bei einer Münze Vorder- und Rückseite ist, ist nicht immer eindeutig. Meist wird jedoch die Seite als Hauptseite angenommen, die das Zeichen des Inhabers der Münzhoheit enthält, das die Echtheit garantiert. (z.B. Staatswappen)

Das *Münzbild* ist das bildliche Gepräge einer Münze. Je nach Periode sind unterschiedliche Motive üblich. Frühe Münzen zeigen Tiere, Pflanzen oder Geräte als eine Arte Wappen der Stadtstaaten, später werden religiöse und mythische Motive üblich. Herrscherbildnisse werden nach dem Tod Alexanders des Großen (323 v. Chr.) üblich, aber auch die Darstellung geschichtlicher Ereignisse findet sich auf den Münzen. (KAHNT 2005, S. 293f)

Die Schrift auf einer Münze wird als *Legende* bezeichnet. Sie wird, je nach Position auf der Münze, in *Umschrift*, *Inschrift* und *Randschrift* unterteilt. Die Umschrift verläuft längs des Randes der Münze. Die *Inschrift* ist die horizontale oder vertikale Schrift auf der Münze. Sie kann mehrzeilig sein, oder auch aus einzelnen Zeichen bestehen. Die *Randschrift* ist die Schrift, die auf dem Rand der Münze geprägt ist. (KAHNT 2005, S. 291f)

Gewicht, Abmessungen, Legierung und Nominal (Nennwert oder Nenngröße) einer Münze sind wichtige Kenngrößen, die zu jeder Münzbeschreibung gehören. Bei der Angabe der Abmessungen muss berücksichtigt werden, dass antike Münzen nicht wirklich kreisrund sind. Meist wird auch die Stempelstellung (Stellung der Vorder- und Rückseite zueinander, siehe Kapitel 3.2.5 „Münztechnik“) angegeben. (ALFÖLDI 1978, S. 20ff)

3.2.2 Erscheinungsformen von Geld und Münzen

Neben den Münzen gibt es noch andere Formen von Geld. Einige davon sind älter, andere neuer. Bei jüngeren Geldformen besteht jedoch immer ein Bezug zur Münze. (GÖBL 1987, S. 20)

¹¹ Auch wenn das private Münzsammeln, wie es (vergleichbar mit dem Briefmarkensammeln) als Hobby betrieben wird, oft ebenfalls als Numismatik bezeichnet wird, sind hier Münzsammlungen im wissenschaftlichen Kontext gemeint.

Als prämonetäre Geldformen werden auch *Naturalgeld* (aus pflanzlichen oder tierischen Produkten, wie z.B. Getreide und Vieh), *Barren* (aus denen sich die Münzen entwickeln), *Hackgeld* (Metallgegenstände, von denen Teile zur Bezahlung abgetrennt wurden), *Gerätegeld* (Metallwerkzeuge wie Hacken, Messer oder Pfeilspitzen bzw. Stellvertreterformen, also Geräte die ihrer eigentlichen Funktion enthoben wurden) und *Schmuckgeld* (Schmuck aus Horn, Bein, Metall) bezeichnet.

Neuer Geldformen beinhalten unter anderem Papiergeld, Zahlungsanweisungen sowie „[...] alle neueren staatsrechtlich wie bankmäßig definierten Geldmittel (Scheck, Wechsel Anleihe, Obligation, Kreditkarte u.a.m.) [...]“ (GÖBL 1987, S. 20)

3.2.3 Münzverschlechterung

Die *Münzverschlechterung* ist eine Abwertung der Münzen. Dies geschieht durch die Verringerung des *Münzfußes*. Der *Münzfuß* ist die gesetzliche Regelung des Gewichts und des Edelmetallgehalts einer Münze. Die *Münzverschlechterung* ist unter den Bedingungen der Münzwirtschaft eine permanente Erscheinung und zieht sich von der Antike bis ins 19. Jahrhundert. Ursachen für die *Münzverschlechterung* gibt es mehrere. Zum einen gibt es meist Unterschiede zwischen dem Tauschwert (Eigenwert bzw. Metallwert) einer Münze und dem Nominalwert. Dies entsteht unter anderem dadurch, dass ein Stück Edelmetall durch die Prägung zur Münze seinen Metallwert nicht erhöht¹², das Prägen jedoch Kosten verursacht. (Herstellung von Prägestempel und Münzplatten, Werkstattkosten, Löhne,...) Diese Kosten versucht der Münzherr durch Verringerung des *Münzfußes* zu kompensieren. Es gab jedoch auch Münzherren, die den *Münzfuß* in betrügerischer Absicht herabsetzten. Ein weiterer Grund war die Abnutzung von sich in Umlauf befindender Münzen. (KAHNT 2005, S. 305f)

3.2.4 Metrologie

Die *Metrologie* ist das Messwesen, oder die Wissenschaft von Maß, Gewicht und Zahl. In der Numismatik ist das Ziel der Metrologie die Erforschung der antiken bzw. mittelalterlichen *Münzfüße* sowie deren Nominaleinteilung, Gewichtseinheit des Währungsmetalls und des Feingehalts der Münzen.

¹² Es entsteht jedoch sehr wohl ein Mehrwert der Münze, da eben der Feingehalt garantiert wird. Außerdem war dadurch die Liquidität des Münzherrn gegeben, der sich somit z.B. Soldaten leisten konnte, die in der Regel bar bezahlt wurden.

3.2.5 Münztechnik

Die *Münztechnik* umfasst alle Mittel und Prozesse zur Herstellung von Münzen. Es gibt zwei grundsätzliche Fertigungstechniken für Münzen: Gießen und Prägen.

Das Gießen war bis zum 19. Jahrhundert die in China übliche Methode zur Herstellung von Münzen. Die weitaus häufigere Technik ist jedoch das Prägen der Münzen, obwohl die ungeprägten Rohformen (*Rohling* oder *Schrötling*) in der Antike durch Gießen hergestellt wurden. (Später wurden die Rohlinge durch Schmiedetechniken erzeugt.) Beim Prägen wird der Rohling zwischen zwei *Stempel* (*Ober-* und *Unterstempel*) gelegt. Durch einen Schlag (zunächst mit einem Hammer, später mithilfe von Maschinen) auf den *Oberstempel* werden die Formen, die als Negativ in die *Stempel* graviert sind, auf die Münze übertragen. In der Antike bis etwa ins 15. Jahrhundert war die *freie Hammerprägung* üblich. Dabei wurde der *Unterstempel* in einem massiven Stock eingesetzt. Der *Schrötling* wurde darauf gelegt. Der *Oberstempel* wurde, frei mit einer Hand gehalten, aufgesetzt. Durch einen Hammerschlag auf den *Oberstempel* wurde die Münze geprägt. Die Stellung des *Oberstempels* im Vergleich zum *Unterstempel* ist die *Stempelstellung*. (KAHNT 2005)

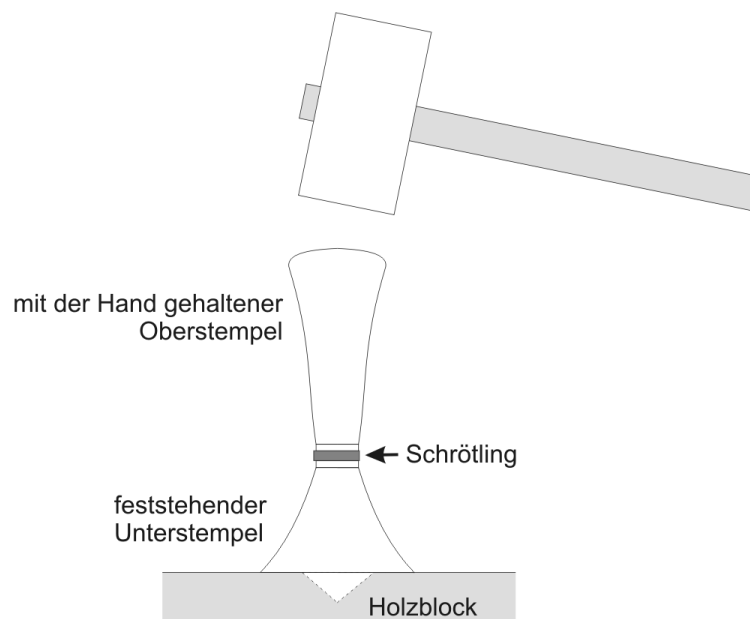


Abbildung 5 : Freie Hammerprägung

3.2.6 Münzrecht und Münzkonventionen

Das *Münzrecht* (das Recht, Münzen zu prägen) ist ein wichtiges staatliches Hoheitsrecht und steht generell der Zentralgewalt zu. Es kann vom Inhaber der Zentralgewalt auch delegiert oder verliehen werden. In Zeiten schwacher Zentralgewalt kann das Münzrecht auch in den

Händen mächtiger Feudalherren oder der Städte liegen. In allen heutigen Staaten liegt das Münzrecht in der Hand der staatlichen Zentralmacht. (KAHNT 2005, S. 302)

Münzkonventionen sind Übereinkommen mehrerer Münzherren oder Staaten, ihr Münzwesen nach einheitlichen Merkmalen zu organisieren. (KAHNT 2005, S. 299)

3.3 Fundmünzen

Die Fundmünzennumismatik oder auch Münzfundauswertung ist eine Methode der Numismatik, die erst seit jüngerer Vergangenheit intensiver betrieben wird. (ALFÖLDI 1978, S. 57) Hierbei wird weniger die Münze als Einzelobjekt betrachtet, sondern die Gesamtheit des Fundmaterials betrachtet. Dabei ist die Funktion der Münze im Umlauf von Interesse.

Alram schreibt im Vorwort von Schachingers Buch über die Fundmünzen der Steiermark (SCHACHINGER 2006): „Die Münze wird hier nicht nur als solche betrachtet, sondern vornehmlich in ihrer Funktion in Raum und Zeit gewürdigt“ (ALRAM 2006, S. 9)

„**Fundmünze:** Münze, die aus einem Einzelfund, einer Fundmasse oder einem Schatzfund stammt. Der Begriff Fund beinhaltet, dass der gefundene Gegenstand längere Zeit unbekannt und unzugänglich war, schließt also in bewusster Verwahrung gehaltene Münzen aus“ (KAHNT 2005, S. 145)

Fundmünzen unterscheiden sich somit grundlegend von ausgesuchten Sammlungsbeständen. Bereits die korrekte Bestimmung der Fundmünzen stellt eine Herausforderung an die wissenschaftlichen Bearbeiter dar. (VONDROVEC 2007, S.58)

Es werden, je nach Art und Kontext des Fundes, mehrere Arten von Funden unterschieden, wobei hier je nach Autor unterschiedliche Gliederungen anzutreffen sind:

- Einzelfunde, Streufunde
- Schatz- oder Hortfunde
- Grabfunde
- Weihefunde

3.3.1 Einzelfunde, Streufunde

„*Einzelfund:* Fund einer oder mehrere einzelner Münzen ohne sichtbaren Zusammenhang im Boden, in Brunnen oder Bauwerken.“ (KROHA 1997, S. 134)

Das heißt also, dass die Münzen eben vereinzelt bzw. verstreut gefunden werden. Meistens handelt es sich dabei um Münzen, die verloren wurden. Sie machen den Hauptteil der

Fundmünzen in der Steiermark aus. (SCHACHINGER 2006, S. 16) Es handelt sich dabei in erster Linie um Kleinmünzen, „*die leichter zu verlieren und schwerer zu finden sind, ebenso von Münzen niedrigen Wertes, die nicht von Belang sind, ferner von Prägungen, die über eine lange Periode umliefen und über einen entsprechend längeren Zeitraum verloren gehen konnten, [...]*“ (HOWGEGO 2000, S. 122) Einzelfunde können auch darüber Auskunft geben, ob eine Stelle begangen wurde. Bei größerer Funddichte ist es möglich, auf Verkehrswege zu schließen. (GÖBL 1978, S. 226)

3.3.2 Schatzfunde

„*Sind Münzfunde von größerem Umfang. Sie werden vielfach in Behältnissen[...], Ruinen oder Archäologischen Grabungsgebieten entdeckt.*“ (KROHA 1997, S. 305)

Schatzfunde haben eine sehr große geldgeschichtliche Bedeutung. Sie geben Aufschluss über Währungsverhältnisse und Umlaufdauer von Münzen. Je nach den vorherrschenden wirtschaftlichen und politischen Verhältnissen zur Zeit des Versteckens sowie den Rücklagegewohnheiten der Schatzeigentümer unterscheiden sich die Zusammensetzung verschiedener Schatzfunde. Oft werden Schatzfunde mit Krieg oder sonstigen Gefahren in Verbindung gebracht, was jedoch nicht immer der Fall sein muss. Auf jeden Fall konnte der ursprüngliche Eigentümer den Schatz, aus welchem Grund auch immer, nicht mehr bergen. Besonders interessant bei Schatzfunden ist die *Schlussmünze*. Dies ist die jüngste Münze im Schatz. Sie geben jedoch nicht unbedingt auch das *Schlussdatum* an, also den Zeitpunkt des Vergrabens oder Versteckens, sondern nur den frühest möglichen Zeitpunkt des Versteckens. (GÖBL 1987, S. 54)

3.3.3 Grabfunde und Weihefunde

Grabfunde sind Münzen, die in Begräbnisstätten gefunden werden. Dabei handelt es sich um Grabbeigaben. Dem zugrunde liegen meist religiöse Vorstellungen, wie z.B. im Falle des Charon-Obolus, mit dem der Fährmann bezahlt werden soll, der den Toten in die Unterwelt führt. (ALFÖLDI 1978, S. 59) Ihre Beurteilung ist meist nur gemeinsam mit anderen Grabbeigaben möglich. (GÖBL 1978, S. 226)

Bei den Weihefunden handelt es sich um religiöse Opfergaben. Es kann in der Antike zwischen zwei Typen unterschieden werden, den Quell- oder Wasseropfern und den Bauopfern. Ersteres sind Opfergaben an Gottheiten in Heilquellen, Brunnen oder Flussübergängen. Diese Opfergaben erfolgen oft über lange Zeiträume und können so Aufschluss über die Dauer und Häufigkeit dieser Bräuche geben. (GÖBL 1978, S. 226).

Bauopfer hingegen sind einmalige Opfergaben bei der Errichtung eines Bauwerkes (meist bei der Grundsteinlegung), die den Bestand des Bauwerkes sichern sollen. Diese Münzen stammen meist aus dem jeweilig aktuellen Münzumschlag. Manchmal weist die hinterlegte Prägung einen direkten Bezug zur Grundsteinlegung auf. (GÖBL 1987, S. 55)

3.3.4 Distribution, Zirkulation und *coin drift*

Unter *Distribution* von Münzen werden der Weg, die Art und Weise und die Zeitdauer verstanden, wie eine Münze vom Prägeort in die Umlaufregion gelangt. Die *Zirkulation* ist der Geldumschlag als solches, wenn die Münzen als Tauschmittel benutzt werden. Die *Zirkulationsdauer* ist die Zeitdauer, in der die Münze in Umlauf ist, also die Zeitdauer zwischen Prägung und Verlust. Der *coin drift* beschreibt ebenfalls das Umlaufverhalten einer Münze. Der Begriff wird jedoch nicht immer gleich benutzt. Im Allgemeinen umfasst er die Zeitspanne zwischen der Ausgabe einer Münze und dem Eintreffen in einer bestimmten Region, sowie die Dauer des Umlaufhöhepunktes (die Zeit der maximalen Verbreitung) und den Zeitraum bis zum Verschwinden der Münze. (VONDROVEC 2007)

3.3.5 Verlust, Verstecken und Auffindung

Einzel- oder Streufunde sind meist Münzen, die von ihrem Besitzer verloren wurden, Schatzfunde wurden meist bewusst versteckt. Daher sind auch Fundmünzenbestände unterschiedlich zusammengesetzt. So handelt es sich bei Einzelfunden, wie bereits in Kapitel 3.3.1 erwähnt, hauptsächlich um Kleinmünzen, sowohl was die Größe als auch den Wert betrifft, da dieser leichter verloren werden und auch nicht solche Mühen aufgewendet werden, sie wieder zu finden. Die genauen Verlustumstände sind meist unbekannt und können höchstens aus dem Umfeld (z.B. bei Grabungen) erschlossen werden.

Schätze wurden im Normalfall absichtlich versteckt. (Auch hier gibt es natürlich Ausnahmen, wie z.B. Münzschatze auf gesunkenen Schiffen.) Da Edelmetallmünzen wertbeständiger sind, bestehen Schätze meist aus Gold- und Silbermünzen. (HOWGEGO 2000, S. 101) Werden in einer Region aus einer Zeit mehrere Schätze gefunden, man spricht dann von einem *Fundhorizont*, so lässt dies Rückschlüsse auf die politische und wirtschaftliche Situation zu. Die Zusammensetzung der Münzen kann auch Aufschluss über den Vergrabenden geben. (vgl. GÖBL 1978, S. 225)

Antike Münzen können auf verschiedene Arten gefunden werden. Neben dem zufälligen Finden von Münzen (*Lesefund*) werden auch viele Münzen nach gezielter Suche mit

Metalldetektoren gefunden (*Detektorfund*). Auch bei archäologischen Ausgrabungen werden Münzen gefunden.

Obwohl in Österreich Meldepflicht besteht¹³, wird ein Großteil der von Privatpersonen gefunden Münzen nicht gemeldet und ist daher für die Wissenschaft verloren. VONDROVEC (2007, S. 64) gibt an, dass Anzahl der in Österreich jährlich gefundenen antiken Münzen etwa 10.000 bis 20.000 beträgt, jedoch nur 1% davon gemeldet werden.

3.4 Interpretation von Fundmünzen, Fundmünzenauswertung

Der erste Schritt in der Bearbeitung und Auswertung der gefundenen Münzen ist die Dokumentation der Münzen und der Informationen um die Fundumstände. In den meisten Fällen ist auch eine Restaurierung oder Konservierung notwendig. (VONDROVEC 2007, S. 64)

Die genaue Bestimmung und Dokumentation der Münzen ist die Grundvoraussetzung für eine spätere Auswertung. Da jedoch die Auswertung von Fundmünzen eine relativ junge Teildisziplin ist, (ALFÖLDI 1978, S. 57) und sich viele statistische Methoden erst mit der Verbreitung von EDV in der Numismatik etabliert haben, ist diese Dokumentation vor allem älterer Funde für manche Auswertungsmethoden nicht ausreichend, da zu der Zeit, in der sie erstellt wurden, diese Auswertungsmethoden noch nicht angedacht waren. (siehe dazu auch Kapitel 6.1 „Das Problem der Daten“) Die Dokumentation wird als Kartei oder digitale Datenbank gespeichert und oftmals als Katalog publiziert. (VONDROVEC 2007, S. 64f)

Alle Tätigkeiten in der Numismatik, die über das Dokumentieren und Sortieren des Materials hinausgehen, werden als Auswertung verstanden. Die Vorlage des Materials ist die Grundvoraussetzung für die Auswertung. Ziel der Auswertungen sind einerseits zusätzliche numismatische Sachverhalte zu erschließen, andererseits aber auch die Akzeptanz der Münze als Quelle für historische Forschungen zu erhöhen. (VONDROVEC 2007)

„Bei nüchterner Betrachtung gelangt man also zu der Erkenntnis, daß die Fundmünzen auf der einen Seite eine Bereicherung der Systemnumismatik und auf der anderen Seite eine neue Facette der Geschichtsforschung darstellen, das eigentliche Ziel jeder Tätigkeit kann aber nur die Erforschung des antiken Geldverkehrs selbst sein.“ (VONDROVEC 2007, S. 58)

Die Auswertung von Münzen kann auf verschiedenen Ebenen erfolgen. Sie kann auf einen Ort konzentriert sein, oder aber auch mehrere Orte miteinander vergleichen. Sie können in

¹³ In Österreich zählen Fundmünzen zu den Bodendenkmälern. Dadurch besteht nach §8 des Bundesdenkmalgesetzes Meldepflicht, d.h. der Fund muss gemeldet werden, um die wissenschaftliche Bearbeitung zu ermöglichen

Beziehung zu historischen und archäologischen Befunden gesetzt werden, auf bestimmte Materialgruppen beschränkt oder auch im Kontext des Prägesystems betrachtet werden. Die Auswertung von Fundmünzen ist zurzeit keine standardisierte Disziplin. (VONDROVEC 2007, S. 65) Dies führt dazu, dass die Vergleichbarkeit verschiedener Auswertungen erschwert ist. Daher wäre es laut VONDROVEC (2007, S. 65) wünschenswert, wenn sich eine auf Berechnungs- und Darstellungsmethode beschränkte Standardisierung durchsetzen würde. Eine unflexible, nach gleichbleibendem Schema durchgeführte Auswertemethode wäre demnach einschränkend.

Die Auswertemethoden, die in den Bänden der FMRÖ benutzt werden, sind Diagramme, die die Verteilung nach Stückzahl und Wert, Nominalverteilung, Gewichte einzelner Nominale auf dessen Prägezeit, Stückgewichtsverteilung und die Münzstättenverteilung eines Bestandes darstellen. Es werden im Allgemeinen absolute Fundzahlen benutzt, statistische Berechnungen gibt es kaum. (VONDROVEC 2007, SCHACHINGER 2006)

4 Exkurs: GIS in der Archäologie

Die Archäologie ist eine Geschichtswissenschaft, die versucht, vergangenes menschliches Leben und Kultur anhand materieller Hinterlassenschaften zu erforschen. (LANG 2002)

„Die Artefakte selbst sind nicht die Geschichte: Erst unsere Analyse der Artefakte öffnet Wege in die Vergangenheit.“ (LANG 2002, S. 12)

Um aussagekräftige Analysen zu erstellen, sind geeignete Analysemethoden und –werkzeuge notwendig. Da in der Archäologie auch räumliche Fragestellungen behandelt werden, sind Werkzeuge für räumliche Analysen notwendig. Aus dieser Sicht ist es verständlich, dass ArchäologInnen GIS verwenden, da es sich hier um eine gute Werkzeugsammlung zur räumlichen Analyse handelt.

4.1 Theoretische Entwicklungen

Die Anwendung von GIS in der Archäologie ist nicht von Überlegungen theoretischer Natur zu trennen. Ebenso wie auch in der (Human-) Geographie ist der wissenschaftstheoretische Hintergrund zu berücksichtigen. So hat in der Archäologie seit den 60er und 70er Jahren eine ähnliche Entwicklung stattgefunden wie in der Geographie (LANG 2002, WEICHHART 2008).

Der *neopositivistische* Ansatz der *New Archaeology* (heute wird dieser Ansatz als *prozessuale Archäologie* bezeichnet) bewegte sich weg von einer Einzelbehandlung der Artefakte (wie es in der kunsthistorisch ausgerichteten traditionellen Archäologie üblich war), hin zu dem Konzept der *materiellen Kultur*, bei der nicht nur die einzelnen Artefakte betrachtet wurden, sondern die Gesamtheit aller archäologischen Quellen betrachtet wird.¹⁴ Die Grundlage dafür bilden problemorientierte Ansätze auf Basis naturwissenschaftlicher Methoden ebenso wie der Systemtheorie. So wurde die Umwelt als System begriffen, das aus Subsystemen, wie z.B. Kultur, besteht. Diese Subsysteme besitzen Komponenten, die in wechselseitiger Beziehung zueinander stehen. Dieses Systemmodell sollte alle archäologischen Prozesse erklären und besitzt naturdeterministische Züge. (LANG 2002)

Als Reaktion und Kritik auf den strengen Determinismus der prozessualen Archäologie bildeten sich die Strömungen der *postprozessualen Archäologie* heraus. Die Hauptkritikpunkte waren die *„[...] Vernachlässigung des Individuums als handelndes Subjekt in der Gesellschaft, die Annahme universeller Prinzipien im menschlichen Handeln, fehlende Berücksichtigung der [...] Denkweisen der Vergangenheit, das positivistische Denkmodell,*

¹⁴ Hier finden sich parallelen zur Fundmünzennumismatik.

die Hervorhebung der etischen Perspektive und der einseitigen Anpassung der Menschen an ihre natürliche Umwelt.“ (LANG 2002, S. 66)

In den postprozessualen Ansätzen wird dem Individuum eine größere Bedeutung zugeschrieben. Es wird versucht, durch die materielle Kultur auf individuelles Verhalten zu schließen. Der räumliche und zeitliche Kontext bestimmt die Funktion von Objekten. Zum Verständnis der Veränderungen der Kulturen in der Vergangenheit ist es erforderlich, ihre Ideenwelt, also die Kultur aus ihrer Innenperspektive, zu verstehen. Auch die Auffassung, dass nicht die Vergangenheit selbst beschrieben wird, sondern die Vergangenheit in der Gegenwart durch den Archäologen als Subjekt konstruiert wird, ist Teil der postprozessualen Archäologie. (LANG 2002)

Die Anwendung von GIS in der Archäologie ist im Spannungsfeld zwischen prozessualer und postprozessualer Archäologie zu sehen. So wird oft kritisiert, dass GIS eine positivistische bzw. naturdeterministische Sicht fördert. (CONOLLY und LAKE 2006, S.8) Viele ArchäologInnen widmen sich Untersuchungen, wie GIS im Sinne der postprozessualen Archäologie eingesetzt werden können. Die Ansätze gehen meist in die Richtung, die Sichtweise und Wahrnehmung der Individuen einzubeziehen. (vgl. CONOLLY und LAKE 2006)

4.2 Anwendungsbereiche von GIS in der Archäologie

Die Anwendungsbereiche von GIS in der Archäologie sind vielfältig. In ihrem Lehrbuch für GIS in der Archäologie geben CONOLLY und LAKE (2006) vier übergeordnete Arten von Anwendungen von GIS in der Archäologie an. Dies sind Kulturdenkmal-Verwaltung, GIS im Umfeld von Ausgrabungen, Landschaftsarchäologie und die räumliche Modellierung vergangenen menschlichen Verhaltens. GIS kann in anderen Bereichen der Archäologie ebenfalls angewandt werden, diese vier Bereiche geben jedoch einen guten Überblick über die Verwendung von GIS in der Archäologie

4.2.1 Kulturdenkmal-Verwaltung

Kulturdenkmal-Verwaltung oder Kulturdenkmalpflege (engl. *cultural resource management, CRM*) dient zur Verwaltung und Erhaltung von Kulturdenkmälern und wird meist von Behörden (In Österreich das Bundesdenkmalamt) betrieben. Einer der Hauptzwecke dieser Verwaltung ist es, beurteilen zu können, ob größere Bauvorhaben Kulturdenkmäler gefährden. Da archäologische Funde zu den Kulturdenkmälern (meist Bodendenkmäler, ebenso wie Fundmünzen) gehören, ist die Kulturdenkmal-Verwaltung auch ein Bereich der Archäologie.

Wie auch die Verwaltung anderer räumlicher Phänomene, profitiert die Kulturdenkmalpflege von der Verwendung von GIS. (CONOLLY und LAKE 2006, S. 33ff)

4.2.2 Ausgrabungen

Eine der traditionellen Disziplinen der Archäologie ist das Durchführen von Grabungen. Neben den eigentlichen Grabungsarbeiten ist die Dokumentation der Funde die wichtigste Tätigkeit, um die Funde auch auszuwerten. Traditionellerweise gibt es eine Trennung zwischen Grabungstätigkeiten und Tätigkeiten nach der Grabung. Durch den technologischen Fortschritt in der Computertechnik und die Möglichkeit, GIS auf Notebooks auszuführen, ist es mittlerweile möglich, die Datenerfassung und Datenverarbeitung direkt im Feld durchzuführen. Da viele der erfassten Grabungsdaten räumliche Komponenten aufweisen (z.B. Grabungskartierungen) und vermehrt mit digitalen Methoden aufgenommen werden (z.B. GPS), ist GIS ein sehr hilfreiches Werkzeug. Durch die Möglichkeit, räumliche Muster noch im Feld zu visualisieren und analysieren, wird die Datensammlung zum iterativen Prozess. (CONOLLY und LAKE 2006, S. 36f)

Es gibt jedoch viele Situationen, wo die Daten in drei Dimensionen aufgenommen werden. Da die meisten GIS-Programme jedoch kein echtes 3D beherrschen, sondern lediglich die dritte Dimension durch ein z-Attribut repräsentieren (CONOLLY und LAKE 2006, S. 38), sind sie für diese Aufgaben nur bedingt geeignet.

4.2.3 Landschaftsarchäologie

Bei der Landschaftsarchäologie steht der Mensch in seinem Naturraum im Vordergrund.

„Ihr Ziel ist eine Landschaft in ihrem gesamten Erscheinungsbild, also Naturraum ebenso wie der vom Menschen gestaltete Kulturraum, mittels archäologischer, geowissenschaftlicher und archäobotanischer Methoden zu erforschen und zu rekonstruieren“ (LANG 2002, S. 251)

Ein Teilbereich der Landschaftsarchäologie ist die *Siedlungsarchäologie*, die sich mit der räumlichen Verteilung von Siedlungen beschäftigt. Aus diesen Zielsetzungen und Untersuchungsgegenständen ergibt sich der Bezug zu GIS nahezu automatisch. Jedoch weisen CONOLLY und LAKE (2006) darauf hin, dass das Sammeln der Daten noch keine Erklärung liefert, und sich vor allem soziale Landschaften nicht auf naturräumliche Gegebenheiten reduzieren lassen. Auch ist GIS in diesem Bereich nur eines von vielen Werkzeugen.

4.2.4 Modellierung

Die moderne Archäologie versucht, das Verhalten der Menschen in der Vergangenheit zu rekonstruieren sowie die räumlichen Gegebenheiten und Zusammenhänge in der Vergangenheit zu erforschen. Dabei sind räumliche Modelle und Simulationen hilfreiche Werkzeuge. Dabei gibt es vielfältige Anwendungen für Modellierung in der Archäologie. CONOLLY und LAKE (2006) geben als ein bekanntes Beispiel ist die Modellierung des Zusammenhanges zwischen dem Anteil eines Rohstoffes, der in einer archäologischen Versammlung gefunden wurde, und der Entfernung zur Quelle dieses Rohmaterials. Weitere häufige Modelle sind Kostenanalysen, zum Verständnis der Bewegung über die Landschaft (siehe auch Kapitel 5.4 „Least Cost Path“), *predictive site modeling* (siehe auch Kapitel 5.3 „Predictive Site Modelling“), Sichtbarkeitsanalysen von historischen Stätten oder Verteilungsanalysen von Funden. CONOLLY und LAKE 2006, S. 45f)

5 Die Grundlagen der Modellierung

Es gibt eine Vielzahl an Methoden der Modellierung in der Geoinformatik: Auch wenn diese auf die in der Archäologie gebräuchlichen Methoden eingeschränkt werden, ist dies noch immer eine recht große Anzahl. Alle diese Methoden auf ihre Tauglichkeit für die Interpretation von Fundmünzen zu untersuchen, würde den Umfang dieser Arbeit sprengen. Daher werden hier zwei Verfahren ausgewählt, die aufgrund des vorhandenen Datenmaterials und der Fragestellungen der Numismatik als zielführend angesehen werden. Dabei handelt es sich einerseits um eine Kosten-Analyse, die einen Hinweis liefern soll, wie die Münzen an ihre Fundorte gekommen sind, und andererseits um eine voraussagende Fundortmodellierung. Im Folgenden sollen diese beiden Methoden näher erklärt werden. Es werden hier zu einem großen Teil die englischen Fachausdrücke benutzt, da diese Methoden hauptsächlich in der englischsprachigen Literatur geformt wurden und die deutschen Beiträge, die sich damit befassen, meist ebenfalls die englischen Ausdrücke benutzen.

5.1 Kartenalgebra

Eine Methode der kartographischen Modellierung (TOMLIN 1990) ist die Kartenalgebra. Sie basiert auf dem Ebenenprinzip der Kartographie und der Geoinformation (siehe Kapitel 2.3.4 „Ebenenprinzip (Layer)“)

Als *Kartenalgebra* oder *map algebra* werden alle mathematischen Operationen zusammengefasst, die auf einen oder mehrere Rasterdatensätze (Kartenebenen) angewandt werden können. Mehrere Rasterdatensätze bzw. deren Attributwerte derselben Region können auf diese Weise logisch miteinander verknüpft werden. Mathematisch gesehen handelt es sich dabei um Rechenoperationen auf Matrizen. Auf diese Zahlenmatrizen, die eben aus Attributwerten bestehen, werden die Operatoren ausgeführt, deren Ergebnis wieder eine Matrix ist. (DE LANGE 2006, S. 351)

Nach TOMLIN (1990) sind 62 Operatoren notwendig, um alle Verarbeitungsmöglichkeiten von Rasterdaten auszuführen. Dabei können folgende Kategorien von Operatoren unterschieden werden:

Lokale Operatoren beziehen sich jeweils nur auf eine einzelne Zelle eines oder mehrerer Raster. Werte von benachbarten Zellen spielen keine Rolle. Dazu gehören logische und algebraische Operatoren, wie z.B. Addition oder Vergleich von Attributwerten und Reklassifizierung.

Fokale Operatoren arbeiten ebenfalls Zelle für Zelle ab, beziehen jedoch in die Berechnung eine definierte Umgebung der betreffenden Rasterzelle mit ein. Häufig werden die Umgebungen nach den Schachfiguren benannt, die diese Zellen auf einem Schachbrett erreichen könnten (Rook's move, Queen's move, Knight's move), nach der Anzahl der benachbarten Zellen (N4, N8) oder es wird die Größe in Pixel x Pixel angegeben (z.B. 3x3, 5x5, siehe Abbildung 6). Für die meisten Operationen wird eine 3x3 (N8, queen's move) Umgebung benutzt. Als Beispiel für fokale Operatoren dienen Filteroperationen, die vor allem in der Bildbearbeitung angewandt werden, etwa zur Kantenextraktion oder zur Bildschärfung.

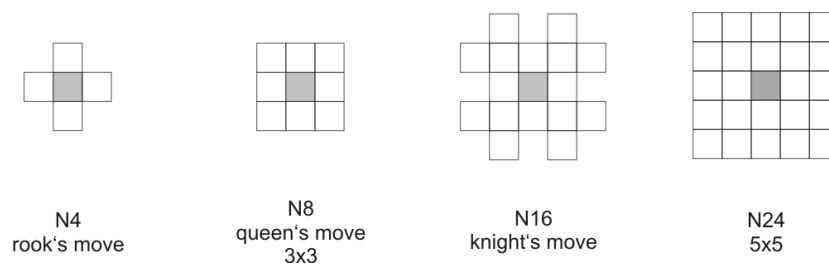


Abbildung 6: Umgebungen für Fokale Operatoren

Zonale Operatoren sind eine Mischung aus lokalen und fokalen Operatoren (ALBRECHT 2007, S. 56). Dabei werden einer Zone der einen Rasterschicht Werte aus weiteren Schichten zugewiesen. Die Zone ist sozusagen eine variable Nachbarschaftsdefinition, die „Werteschichten“ dienen als „Wertelieferanten“. (ALBRECHT 2007, S.56f, DE LANGE 2006, S. 352)

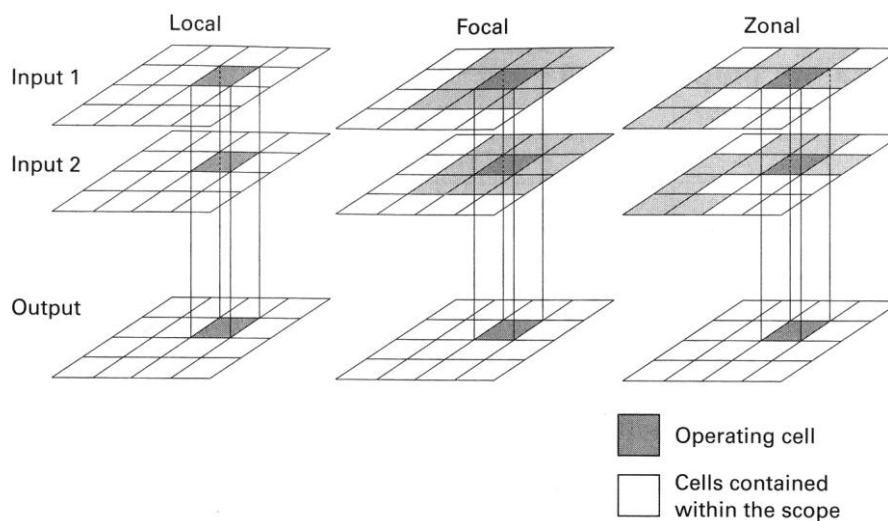


Abbildung 7: Lokale, fokale und zonale Operatoren der Kartenalgebra (ALBRECHT 2007, Fig. 37, S. 52)

Globale Operatoren bestimmen die räumlichen Beziehungen zwischen den Zellen, denen das Interesse gilt. Anders ausgedrückt geht es um die Distanz zwischen den Zellen. Dies kann einerseits die euklidische (räumliche) Distanz sein, oder eine gewichtete Distanz, wie im Fall der Kostenoberflächen ALBRECHT 2007, S. 57f)

Inkrementelle Operatoren werden entlang von vorgegebenen Objekten abgearbeitet.

5.2 Logistische Regression

Die logistische Regression ist eine statistische Modellierungsmethode, die ursprünglich im Rahmen der Epidemiologie entwickelt wurde, aber sich zusehends in anderen Wissenschaften durchgesetzt hat.

Das Ziel der Analyse ist es, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer abhängigen Variable anhand von einer oder mehreren unabhängigen Variablen zu modellieren. Sie ist die statistische Grundlage des *predictive site modelling*.

Da im vorliegenden Fall nur zwei Ausprägungen der abhängigen Variablen möglich sind (Fundstelle oder keine Fundstelle), wird hier die binäre logistische Regression verwendet.

5.2.1 Logistische Verteilungsfunktion

Die Grundlage der logistischen Regression ist die logistische Verteilungsfunktion.

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} = \frac{e^z}{1 + e^z}$$

(e ist die eulersche Zahl, die Basis des natürlichen Logarithmus)

Der Graph der Funktion (siehe Abbildung 8) zeigt, warum diese Funktion in der Modellierung sehr beliebt ist.

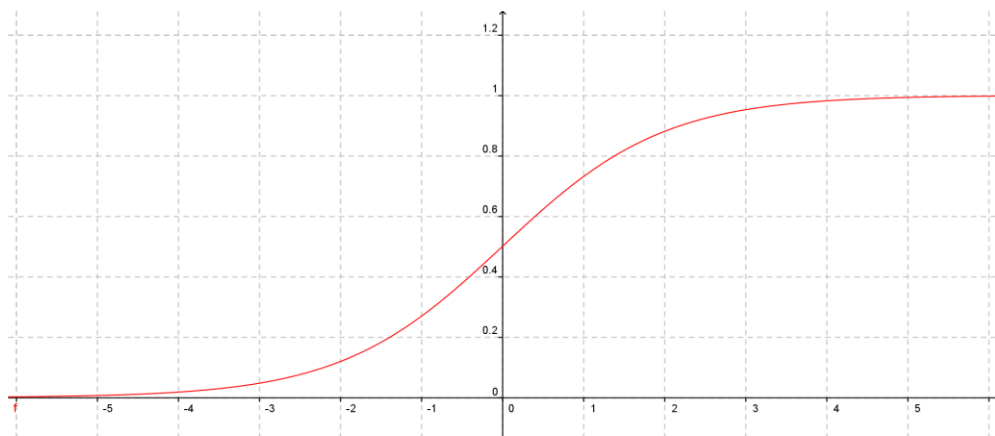


Abbildung 8: Graph der logistischen Funktion

Die Funktionswerte $f(z)$ befinden sich unabhängig von z immer zwischen 0 und 1 und können daher als Wahrscheinlichkeiten interpretiert werden. Durch die S-Form der Wahrscheinlichkeitskurve entsteht, im Vergleich zur linearen Regression, ein recht schneller Übergang zwischen niedriger und hoher Wahrscheinlichkeit. Das bedeutet, dass die unsicheren Bereiche mittlerer Wahrscheinlichkeiten im Vergleich zur linearen Regression relativ klein sind. (KLEINBAUM, KLEIN und PRYOR 2002, S. 5ff)

5.2.2 Logistisches Modell

Um ein Modell zu bilden, müssen die unabhängigen Variablen in eine (mathematische) Beziehung zur abhängigen Variable gebracht werden. Die unabhängigen Variablen werden als $X_1, X_2, \dots, X_M$ bezeichnet.

Das logistische Modell wird hiernach als lineare Summe der Variablen, die mit unbekannten Parametern (Regressionskoeffizienten $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_M$ und Konstante β_0) multipliziert werden, und der Konstante a verstanden. Es ist also βx ein Index, der die Variablen kombiniert:

$$\beta x = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_M X_M$$

Oder in Summenschreibweise:

$$\beta x = \beta_0 + \sum_{m=1}^M \beta_m x_m$$

Wird diese Modellgleichung nun mit der logistischen Verteilungsfunktion kombiniert, indem das z auf der rechten Seite der Verteilungsfunktion durch die lineare Summe βx ersetzt wird:

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \sum \beta_m x_m)}}$$

Wird das Ergebnis als Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines abhängigen Ereignisses Y interpretiert, lautet die Gleichung:

$$P(Y) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \sum \beta_m x_m)}}$$

5.2.3 Parameterschätzung

Da die unabhängigen Variablen bekannt sind, müssen für die Modellbildung die Parameter geschätzt werden. Üblicherweise wird dabei die Maximum-Likelihood-Methode (ML) benutzt.

„Hier werden Parameterschätzungen bestimmt, welche die Wahrscheinlichkeit der beobachteten Daten unter dem parametrisch spezifizierten Modell maximieren.“ (BALTES-GÖTZ 2008, S. 17)

Dazu wird eine konkrete Stichprobenrealisation benutzt. Nach der Modellgleichung können für einen i -ten Fall die Regressorenwerte (als Vektor $\mathbf{x}_i$) als fest gegeben angesehen werden, und die vom Parametervektor $\boldsymbol{\beta}$ abhängige Wahrscheinlichkeit $P(Y_i = 1)$ mit π_i bezeichnet werden.

$$\pi_i := P(Y_i = 1) = \frac{e^{\beta x}}{1 + e^{\beta x}}$$

Für die konkrete Stichprobe $(y_1, y_2, \dots, y_N)$ wobei $y_i \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, N$ der abhängigen variable Y_i mit N unabhängigen Beobachtungen ergibt sich damit folgende Wahrscheinlichkeit:

$$P(Y_1 = y_1, Y_2 = y_2, \dots, Y_N = y_N) = \prod_{i=1}^N \pi_i^{y_i} (1 - \pi_i)^{1-y_i}$$

Werden nun die unbekannten Parameter $\boldsymbol{\beta}$ durch die schätzbaren Werte $b_1, b_2, \dots, b_M$ (als Vektor $\mathbf{b}$) ersetzt, und wird $L_i(\mathbf{b})$ als die Likelihood für $(Y_i = 1)$ bezeichnet, sieht die *Likelihood-Funktion* für die gesamte Stichprobe folgendermaßen aus:

$$L(\mathbf{b}) := \prod_{i=1}^N (L_i(\mathbf{b}))^{y_i} (1 - L_i(\mathbf{b}))^{1-y_i}$$

Bei der Maximum-Likelihood Schätzung gilt es nun, den Vektor $\mathbf{b}$ zu finden, der die Likelihood-Funktion maximiert

Mittels Logarithmisierung der Funktion wird aus dem Produkt in der obigen Gleichung eine Summe, was es ermöglicht, die Extremwertbestimmung mittels iterativer Verfahren durchzuführen.

Das Ergebnis ist der Vektor $\hat{\beta} = (\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_m)$, der die ML-Schätzungen der Parameter enthält und aus dem sich die ML-Schätzung $\hat{\pi}_i$ der Wahrscheinlichkeiten $P(Y_i = 1)$ ergeben:

$$\hat{\pi}_i := \frac{e^{\hat{\beta}x}}{1 + e^{\hat{\beta}x}}$$

Die Likelihood-Funktion sieht demnach folgendermaßen aus:

$$L(\hat{\beta}) := \prod_{i=1}^N \hat{\pi}_i^{y_i} (1 - \hat{\pi}_i)^{1-y_i}$$

(BALTES-GÖTZ 2008, S. 17f)

5.2.4 Auswahl der Variablen

KLEINBAUM und KLEIN (2002, S. 165) gehen davon aus, dass bei vorhersagenden Modellen Computer-Algorithmen geeignet sind, um zu bestimmen, welche Variablen inkludiert werden. (Auch wenn sich ihre Untersuchungen in erster Linie auf epidemiologische Problemstellungen beziehen.)

Zunächst werden Variablen aufgrund der Fragestellung ausgewählt. Dabei ist der aktuelle Forschungsstand ebenso zu berücksichtigen, wie die Theorien und Vorüberlegungen, die zur Untersuchung existieren. Diese Variablen werden zunächst alle in das erste Modell aufgenommen. (KLEINBAUM, KLEIN und PRYOR 2002, S. 164ff)

Nach der ersten Schätzung der Parameter kann die *Signifikanz* der einzelnen Variablen getestet werden. Dabei wird der Frage nachgegangen, ob das Modell, das die fragliche Variable enthält (uneingeschränktes Modell), mehr über die abhängige Variable aussagt, als ein Modell, das die fragliche Variable nicht enthält (eingeschränktes Modell). (HOSMER und LEMESHOW 2000, S. 11)

Sind die vorhergesagten Werte in dem Modell mit der Variable besser oder genauer (was das genau bedeutet, hängt vom jeweiligen Modell ab), ist diese Variable *signifikant*. Dies hängt jedoch nicht mit der Modellgüte, der *goodness-of-fit*, zusammen.

Eine der Möglichkeiten, diese Signifikanz zu überprüfen, bildet der Likelihood-Quotienten-Test, der in jeder Software zur logistischen Regression integriert ist. Der Likelihood Quotient ist das Verhältnis der Likelihood des eingeschränkten Modelles ($L(E)$) zur Likelihood des uneingeschränkten Modelles ($L(U)$). Für die statistischen Tests wird ein mit -2 vormultiplizierter logarithmierter Quotient verwendet:

$$-2\ln\left(\frac{L(E)}{L(U)}\right)$$

Die Statistik-Software SPSS (Version 17) beherrscht die automatische Modellsuche, bei der entweder sukzessive Variablen hinzugefügt werden (vorwärts), oder zunächst alle Variablen integriert werden, und in weiterer Folge insignifikante Variablen ausgeschlossen werden (rückwärts). (BALTES-GÖTZ 2008)

5.2.5 Kodierung nominaler Variablen

Eine der Stärken der logistischen Regression ist die Eigenschaft, auch nominal skalierte Variablen einbeziehen zu können. Diese müssen allerdings kodiert werden. Da eine einfache numerische Kodierung, wie sie oft in GIS benutzt wird (z.B. Bodenbedeckung: Gras = 1, Wald = 2, Asphalt = 3), numerisch und statistisch nicht signifikant ist, muss eine andere Art der Kodierung gewählt werden. Die Methode, die HOSMER und LEMESHOW 2000 vorschlagen, ist die Kodierung als *Designvariablen* (oder *Dummy-Variablen*). Dabei werden mehrere Designvariablen pro unabhängiger, nominaler Variable generiert. Die Anzahl dieser Design-Variablen hängt von der Anzahl der möglichen Ausprägungen der Variable ab. Hat eine Variable k mögliche Ausprägungen, werden $k - 1$ Designvariablen benötigt. So wären es bei dem oben genannten Beispiel, der Bodenbedeckung, die drei Ausprägungen kennt, zwei Designvariablen, D_1 und D_2 . Die Kodierung könnte dann folgendermaßen ausschauen:

	Design-Variablen	
Bodenbedeckung	D ₁	D ₂
Gras	0	0
Wald	1	0
Asphalt	0	1

Tabelle 2: Beispielhafte Designvariablen für die Variable "Bodenbedeckung"

Diese Möglichkeit der Kodierung wird *reference cell coding* genannt. Dabei wird dem niedrigsten Wert der Ausgangsvariable in den Designvariablen überall 0 zugeordnet, den höheren dann bei jeweils einer Designvariable 1. Die Erstellung von Designvariablen und ihre Kodierung erfolgt in Statistik-Software wie SPSS automatisch, es muss jedoch angegeben werden, welche Variablen nominal skaliert sind.

5.2.6 Modellgüte

Die Modellgüte (engl. *goodness of fit*) gibt an, wie gut ein Modell die abhängige Variable beschreibt. Die Hosmer-Lemeshow-Statistik ist eine Test-Methode für Individualdaten (im Gegensatz zu aggregierten Daten). Dabei werden die Daten nach geschätzten Wahrscheinlichkeiten gruppiert und anschließend erwartete und beobachtete Wahrscheinlichkeiten analog zur Pearson χ^2 -Statistik verglichen.

5.3 Predictive Site Modelling

Predictive site modelling (voraussagende Fundortmodellierung) ist die Methode, den Wert bzw. die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens einer abhängigen Variable an einem nicht erfassten Ort durch Verwendung einer oder mehrerer unabhängiger Variablen. In der Archäologie ist damit meistens gemeint, dass die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens archäologischer Siedlungen in nicht erfassten Gegenden auf Basis der quantitativen Beurteilung der örtlichen Charakteristika von bekannten Siedlungen erfolgt. (CONOLLY und LAKE 2006, S. 179) Es ist ein Versuch, herauszufinden, welche Arten historischer Eigenschaften in einer zuvor nicht erfassten Gegend anzutreffen sind. (KAUFMANN 2006, S. 272) Der Zweck solch einer Modellierung liegt meist darin, herauszufinden, wo sich bisher unentdeckte Objekte befinden könnten. Dies ist vor allem von Bedeutung in Fällen, wo größere Bautätigkeiten oder Entwicklungspläne archäologische Quellen bedrohen könnten, (VERHAGEN 2008, S. 285) um abzuschätzen, ob entsprechende Erkundungen notwendig sind. Aufgrund der Möglichkeit, Variablen mit verschiedenen Skalenniveaus zu kombinieren und der Form der Verteilungskurve ist die logistische Regression die bevorzugte Methode zur Erstellung vorhersagender Modelle. (CONOLLY und LAKE 2006, S. 183) Die Erstellung eines vorhersagenden Modells erfolgt in mehreren Schritten (nach DUNCAN und BECKMAN 2000, S. 36):

1. Sammlung der primären Daten
2. Ableitung der sekundären Daten¹⁵
3. Erfassen der Variablen an Fundorten und zufälligen Hintergrundorten (Orte, an denen keine Funde gemacht wurden, non-sites)
4. Statistische Untersuchung und Analyse der zwei Stichproben
5. Durchführen einer logistischen Regression

¹⁵ Primäre und sekundäre Daten sind hier nicht streng im Sinne von Kapitel 2.4.1 zu verstehen. Sekundäre Daten sind jene Daten, die aus den primären Daten abgeleitet werden können, z.B. Hangneigung (sekundär) aus dem Geländemodell (primär)

6. Identifizieren der für das Modell signifikanten Variablen
7. Erstellen einer Modellgleichung
8. Vorhersagende Oberfläche aus der Formel erstellen
9. Internes Testen des Modells anhand der Trainings-Stichprobe
10. Externes Testen des Modells anhand einer Test-Stichprobe

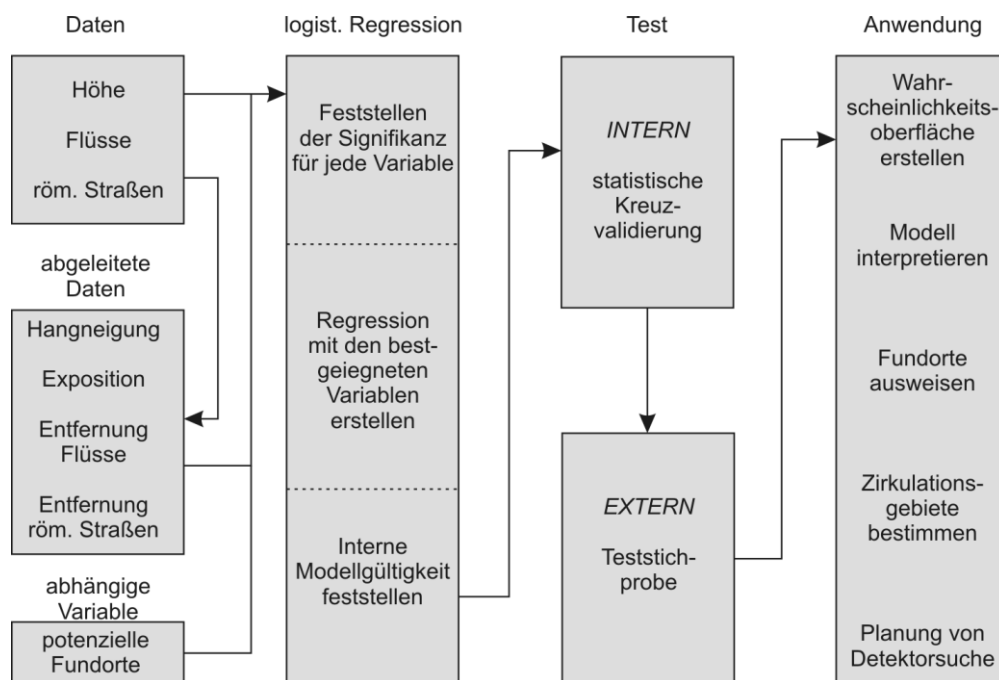


Abbildung 9: Ablaufschema des Modellierungsprozesses (nach WARREN und ASCH 2000, Fig 2.4, bearbeitet)

5.3.1 Daten zur Modellierung

Predictive site modelling geht davon aus, dass es möglich ist, zwischen Bereichen der Landschaft, in denen es Fundorte (*sites*, ($Y_i = 1$)) gibt und Bereichen, in denen es (trotz Untersuchung) keine Fundorte (*non-sites*, ($Y_i = 0$)) gibt, zu unterscheiden. Diese Unterscheidung soll auf einem oder mehreren Attributen der Landschaft basieren. Um dies zu bewerkstelligen, ist es notwendig, einerseits die Fundorte zu kennen, andererseits müssen die relevanten Attribute bzw. deren Verteilung bekannt sein.

Als primäre Daten werden in diesem Zusammenhang Daten bezeichnet, „*which are relatively common to most areas and which can be easily obtained or digitized.*“ (DUNCAN und BECKMAN 2000, S. 36) Die grundlegenden Daten, die in der Archäologie meist benutzt werden, sind Daten zu Höhe, Boden, Hydrologie, Geologie und Bodenbedeckung (Vegetation). Die Fundorte werden hier ebenfalls zu den primären Daten gezählt. Daten, die durch Ableitung aus diesen primären Daten erhalten werden, werden in der Modellierung als

sekundäre Daten bezeichnet. (siehe DUNCAN und BECKMAN 2000, WARREN und ASCH 2000) Dazu gehören unter anderem Hangneigung, Hangrichtung oder die Entfernung zum nächsten Fluss.

Was jedoch allen diesen Daten gemein ist, und etwas, das vor allem bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden sollte, ist, dass sie aus der heutigen Zeit stammen, und daher heutige Verhältnisse widerspiegeln. Sie werden aber (in Ermangelung historischer Daten) zur Modellierung historischer Verhältnisse benutzt.

“Predictive modeling cannot be a productive archaeological pursuit without the explicit realization that statistical tests and correlations can only inform us about coincidences in the present, which must then be linked with the past through the process of explanation.” (EBERT 2000, S.130)

5.3.2 Erfassen der Stichprobe zur Modellierung

Sind die Variablen ausgewählt, die in die Modellierung mit einbezogen werden, müssen diese Variablen an den jeweiligen Fundorten und Hintergrundorten bestimmt werden.

Die Fundorte sind in der Regel bekannt, mit Funktionen in der GIS-Software lassen sich die Attributwerte der jeweiligen Variablen an den Fundorten leicht auslesen und in Tabellen übertragen.

Die Auswahl der *non-sites* ist jedoch nicht ganz unproblematisch. Bei ihrer Auswahl sollte es vermieden werden, beliebige Orte auszuwählen, an denen keine Funde sind, da es sein könnte, dass diese Orte sehr wohl Funde enthalten, die nur noch nicht entdeckt wurden. (CONOLLY und LAKE 2006) Diese Forderung ist jedoch nicht einfach zu erfüllen, da in der Regel Orte, die diese Bedingung erfüllen, nicht in den Datensätzen der Fundorte aufgezeichnet sind. Auch in der Numismatik liegen keine Daten über Orte vor, an denen gründlich nach Münzen gesucht wurde, aber nichts gefunden wurde. (Siehe auch Kapitel 6.1 „Das Problem der Daten“) Die von DUNCAN und BECKMAN 2000 benutzte Bezeichnung *„random background samples“* (zufällige Hintergrundproben) ist hier zutreffender, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass an jenen Orten sehr wohl Münzen sind, die bis jetzt nicht gefunden wurden. Es wäre zwar für das Modell besser, wenn für Orte die Bedingung $Y_i = 0$ eindeutig erfüllt ist, in der Praxis der Numismatik (und meist auch der Archäologie) ist dies jedoch oft nicht a priori festzustellen. Es werden daher zufällig Orte ausgewählt, an denen *angenommen* wird, dass keine Münzen dort gefunden werden oder gefunden wurden. (Wie bereits in Kapitel 3.3 erwähnt, werden nur ca. 1% der Funde in Österreich gemeldet.)

Um eine Möglichkeit zu haben, das Modell zu überprüfen, werden nicht alle Orte in die Modellierung mit einbezogen. Ein zufällig ausgewählter Teil (die Trainings-Stichprobe) wird dazu benutzt, das Modell zu erstellen, die übrigen Orte (die Test-Stichprobe) dient dazu, das Modell zu testen. (CONOLLY und LAKE 2006, S. 181f)

5.3.3 Statistische Analyse

Zunächst ist es wichtig, zu untersuchen, welche der Attribute signifikant zwischen Fundorten und Hintergrund unterscheiden. Dazu eignen sich, je nach Skalenniveau, unterschiedliche statistische Testverfahren, wie z.B. der χ^2 -Test, der Mann-Whitney-U-Test oder der Student's t -Test.

Dabei wird immer eine sogenannte Null-Hypothese (H_0) überprüft. Diese H_0 wird meist entgegen der eigentlichen Erklärungshypothese (in diesem Fall lautet diese, dass die Attribute signifikant zwischen Fundorten und Hintergrund unterscheiden) formuliert. Die Null-Hypothese lautet demnach, dass die Attribute nicht zwischen Fundorten und Hintergrund.

Die Tests überprüfen demnach, ob die H_0 angenommen werden muss (kein signifikanter Unterschied), oder ob sie verworfen werden kann, und damit die Erklärungshypothese zutreffend ist.

Sind diese Test erfolgreich, d.h. ist es möglich die Nullhypothese, dass kein signifikanter Unterschied zwischen Fundorten und Hintergrund besteht, abzulehnen, macht es Sinn, dieses Attribut in den Modellierungsprozess mit einzubeziehen. Diese Tests geben nur Auskunft, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Werten der Variablen an Fundorten und Hintergrund besteht, sie sagen jedoch nichts über die Signifikanz der einzelnen Variablen für das Modell aus.

5.3.4 Logistischen Regression, signifikante Variablen und Modellgleichung

Nachdem die Variablen für die Bildung eines ersten Modelles ausgewählt sind, kann, wie in Kapitel 5.2 beschrieben, ein erstes Modell erstellt werden. WARREN und ASCH (2000) benutzen schrittweise Verfahren, die Variablen zu dem Modell hinzufügen, die signifikant für das Modell sind (*F-to-enter*, vorwärtsgerichtete Modellsuche). Dabei werden unter Umständen auch signifikante Variablen ausgeschlossen, wenn diese mit anderen korrelieren, die noch höhere Signifikanz aufweisen.

Als Ergebnis entsteht eine Modellgleichung, das in eine *Score*-Komponente und eine Wahrscheinlichkeitskomponente unterteilt werden kann (WARREN und ASCH 2000, S. 18ff, CONOLLY und LAKE 2006, S. 182f):

$$\text{Score: } V = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_M X_M$$

$$\text{Wahrscheinlichkeit: } P_i = \frac{e^{V_i}}{1 + e^{V_i}}$$

5.3.5 Erstellen einer Wahrscheinlichkeitsoberfläche

Aus den oben ermittelten Gleichungen kann nun eine Oberfläche erstellt werden, die die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein von Fundstellen am jeweiligen Ort repräsentiert. Zunächst wird der *Score* V über die Kartenalgebra für jede Zelle berechnet. Dieser Wert wird schließlich noch in die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein eines Fundortes umgewandelt.

Das Ergebnis ist ein Raster-Datensatz, dessen Zellenwerte die relativen Wahrscheinlichkeiten sind. Es kann also die Aussage getroffen werden, dass es an einem Ort beispielsweise dreimal so wahrscheinlich ist, dass etwas gefunden werden kann, als dass nichts gefunden wird.

Um absolute Aussagen zu treffen, müsste das Trainings-Sample durch Cluster-Sampling erstellt werden, was aber in den meisten Fällen nicht möglich oder sehr kostenaufwändig ist. (CONOLLY und LAKE 2006)

5.3.6 Testen des Modelles

Es gibt grundsätzlich zwei unterschiedliche Testmöglichkeiten für ein vorhersagendes Modell, die einander ergänzen. Die eine ist das interne Testen des Modells anhand des Trainings-Samples, das die Modellgüte überprüft. (siehe Kapitel 5.2.6 „Modellgüte“) VERHAGEN (2008, S. 287) weist darauf hin, dass diese Methode jedoch nur begrenzt Auskunft über die tatsächliche Qualität des Modells gibt, da sie als Referenz nur die Daten benutzt, die auch bei der Modellbildung beteiligt sind.

Die andere Möglichkeit, das externe Testen, beruht auf der Unterteilung in Trainings- und Teststichprobe (*Split-Sampling*). Nur die Trainingsstichprobe, üblicherweise 50% der vorhandenen Daten, wird bei der Modellbildung berücksichtigt, als Test-Stichprobe die Teststichprobe dient nur zur Überprüfung des Modells und wird bei dessen Bildung nicht mit einbezogen. Das Modell wird mit Hilfe der Trainingsstichprobe erstellt, und die Teststichprobe sollte vom Modell vorhergesagt werden.

Der Nachteil dieser Methode ist, dass die so erstellte Teststichprobe in den meisten Fällen keine tatsächlich unabhängige Stichprobe ist, da sie aus dem gleichen Datensatz stammt wie

die Trainingsstichprobe. Desweiteren ist davon auszugehen, dass Modelle, die auf größeren Stichproben basieren, eine größere Stabilität aufweisen, als solche, die auf kleineren Stichproben basieren, deshalb ist es wünschenswert, alle vorhandenen Daten in die Modellierung mit einzubeziehen. (VERHAGEN 2008, S. 287)

VERHAGEN (2008, S. 287) schlägt daher *resampling* als Testmethode vor. Bei der einfachsten Form, der *Kreuzvalidierung* (engl. *cross-validation*) werden die Daten zufällig in etwa gleich große Untermengen geteilt. Jede dieser Untermengen wird abwechselnd aus dem Modellierungsprozess ausgenommen, bis jede Untermenge einmal weggelassen wurde. Die ausgenommene Untermenge wird dann jeweils mit dem Modell klassifiziert und eine Fehlerrate errechnet. Der Mittelwert dieser Fehlerraten kann als Gesamtfehler des Modells interpretiert werden.

Letztendlich spielt bei der Qualität des Modells auch die Interpretation des Ergebnisses eine Rolle. So macht es einen Unterschied, ab welcher Wahrscheinlichkeit von einer „hohen Wahrscheinlichkeit“ gesprochen wird. Wird diese Schwelle niedrig angesetzt, ist das Modell unter Umständen sehr genau, aber nicht sehr präzise. Wird diese Schwelle höher angesetzt, wird das Modell präziser, aber weniger genau. (siehe Abbildung 10)

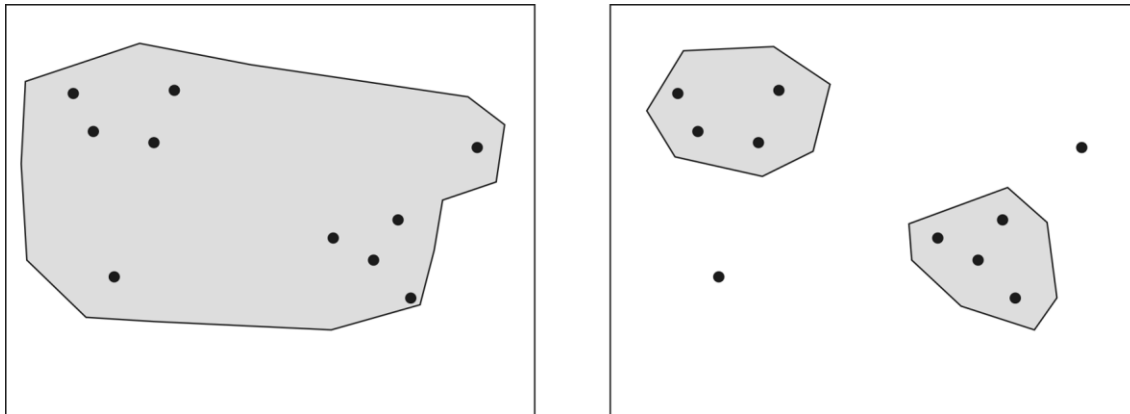


Abbildung 10: Genauigkeit und Präzision des Modells. Das Modell links ist 100% genau, alle Orte sind in der Zone der hohen Wahrscheinlichkeit (grau). Das rechte Modell ist präziser, aber weniger genau. (VERHAGEN 2008, Fig. 1, S. 286)

5.3.7 Kritik

In der Archäologie wird *predictive modelling* teilweise sehr kritisch gesehen. Obwohl es für viele Bereiche sehr nützlich und hilfreich ist, wie z.B. bei der Kulturdenkmal-Verwaltung, ist es doch als erklärendes Modell eingeschränkt und wird sehr oft als natur-deterministisch kritisiert. Menschliches Verhalten, das in der postprozessualen Archäologie sehr wichtig ist, kann mit dieser Modellierungstechnik nur sehr schlecht modelliert werden. (EBERT 2000, GAFFNEY und VAN LEUSEN 1995, CONOLLY und LAKE 2006)

5.4 Least Cost Path

Das Ziel einer *least cost path* Analyse ist es, die kostengünstigste Route von Punkt A zu Punkt B über eine kontinuierliche Oberfläche zu berechnen. Als Kosten werden hierbei nicht nur Kosten im Sinne von finanziellen Kosten, sondern auch andere Komponenten betrachtet, die sich über die Oberfläche verändern. (DE SMITH, GOODCHILD und LONGLEY 2008) Diese Arte der Analyse kann zum Beispiel dazu benutzt werden, um die optimale (die kürzeste, schnellste oder energieeffizienteste) Route für eine Straßentrasse durch das Gelände oder den Weg, den Wasser im Gelände nimmt zu ermitteln. Das dahinterliegende Prinzip ist, dass verschiedenen Regionen verschiedene Kosten zugewiesen werden, die anfallen, wenn diese Regionen überquert werden. DOUGLAS (1994) benutzt die Analogie der Reibung. Diese Kosten übernehmen eine Art Widerstandsfunktion. Je geringer die Kosten, desto leichter ist es, diese Region zu überqueren. Über Algorithmen wird dann der kostengünstigste Weg (*least cost path*) berechnet. Ein Beispiel für das Prinzip der Kosten Analyse (DE SMITH 2003, <http://www.spatialanalysisonline.com/output/html/Costdistance.html>) gibt die Abbildung 11: Es soll eine Straße von Punkt A (0, 2) nach Punkt B (4, 2) gebaut werden. Nimmt man an, dass die Grundstücke auf dem gesamten Gebiet gleich teuer sind, wäre die günstigste Verbindung eine gerade Linie mit 4 Einheiten Länge. Ist die Annahme jedoch die, dass sich die Grundstückspreise verändern (in diesem Beispiel sind Grundstücke im „Süden“ (unten) günstiger als im „Norden“ (oben)) So ist die kostengünstigste Route nicht mehr eine gerade Linie, sondern eine Kurve. (In diesem Beispiel wird ein linearer Kostenanstieg von unten nach oben angenommen.)

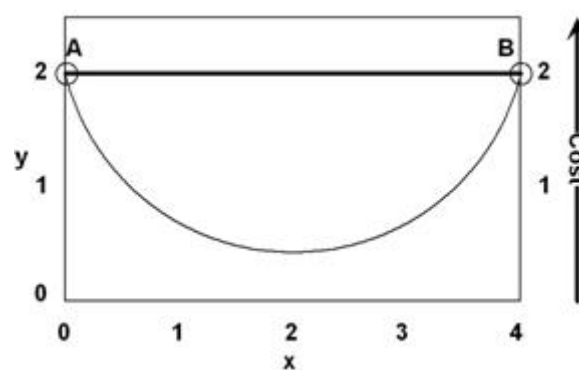


Abbildung 11: Prinzip des least cost path (DE SMITH, GOODCHILD und LONGLEY 2008, <http://www.spatialanalysisonline.com/output/html/Costdistance.html>)

5.4.1 Cost of Passage Maps und Accumulated Cost Surfaces (ACS)

Der erste Schritt einer Kosten-Analyse ist die Erstellung einer *cost of passage map*. Dies geschieht in Form eines Rasters. Jeder Rasterzelle wird ein Wert zugewiesen, der aussagt, wie

kostenaufwändig es ist, diese Zelle zu überqueren. Dieser Wert kann auf unterschiedliche Weise entstehen. Unter anderem spielt die Art der Bewegung eine Rolle (es macht einen Unterschied, ob ein Fluss zu Fuß oder mit einem Boot überquert wird), aber auch die Attribute der jeweiligen Zelle. Sehr häufige Attribute, die eine Auswirkung auf die *cost of passage* haben, sind z.B. die Hangneigung oder die Bodenbedeckung. Bei Straßenbauprojekten kommen jedoch andere Faktoren zum Tragen, wie z.B. Grundstückspreise. Abbildung 12 zeigt das obige Beispiel mit einer *cost of passage map*. (DE SMITH, GOODCHILD und LONGLEY 2008, <<http://www.spatialanalysisonline.com/output/html/Accumulatedcostsurfacesandleastcostpaths.html>>)

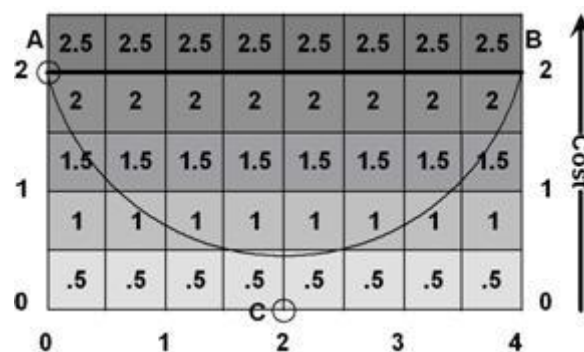


Abbildung 12: Prinzip einer *cost of passage map* (DE SMITH, GOODCHILD und LONGLEY 2008, <http://www.spatialanalysisonline.com/output/html/Accumulatedcostsurfacesandleastcostpaths.html>)

Der nächste Schritt ist die Erstellung einer *accumulated cost surface*. Dieser Schritt muss für jeden Zielpunkt separat erfolgen. Dabei werden die Kosten der *cost of passage map* um einen definierten Zielpunkt herum integriert. Die Werte der Rasterzellen stellen die geringsten Kosten dar, die notwendig sind, um zum Zielpunkt zurückzukehren. Die Berechnung dieses Rasters geschieht mittels einer Ausbreitungsfunktion, die bei dem vorher definierten Zielpunkt des Pfades beginnt (DOUGLAS 1994, S. 41). Dieser Zelle wird der Wert 0 zugewiesen. Der Algorithmus untersucht nun die acht benachbarten Zellen (*queen's move*) mit einer definierten *cost of passage*, und hält bei der ersten, der von diesem Algorithmus noch kein Wert zugewiesen wurde. Von dieser Zelle wird eine weitere Suche der Nachbarn nach der Zelle mit der niedrigsten *cost of passage* durchgeführt. Diese wird zur bisherigen *accumulated cost* hinzugezählt und das Ergebnis der Zelle als neuer Wert zugewiesen. Dies wird solange fortgeführt, bis alle Zellen einen Wert zugewiesen bekommen haben. (DOUGLAS 1994, COLLISCHONN und PILAR 2000)

5.4.2 Isotropie und Anisotropie

Unter Isotropie wird in diesem Zusammenhang die Tatsache verstanden, dass die Kosten von der Richtung unabhängig sind. Anisotropie ist dementsprechend das Gegenteil davon, es also einen Unterschied macht, in welcher Richtung eine Zelle überquert wird. Ein Beispiel für einen richtungsunabhängigen Faktor ist die Bodenbedeckung. Es macht für die Berechnung der Kosten keinen Unterschied, in welche Richtung z.B. dichter Wald durchquert wird. Die meisten Faktoren für menschliche Fortbewegung sind hingegen anisotrop. So ist der Energieaufwand beim Überqueren eines Hanges sehr unterschiedlich, abhängig davon, ob dieser Hang bergab, bergauf oder parallel zum Hang gequert wird.

Zur Modellierung von anisotropen Kosten sind andere Algorithmen notwendig, als für Isotropie. (COLLISCHONN und PILAR 2000, YU, LEE und MUNRO-STASIUK 2003)

5.4.3 Hangneigung und effektive Hangneigung

Ein wichtiger Faktor, vor allem bei der Modellierung von Verkehrswegen, ist die Hangneigung. Zur Berechnung der Hangneigung wird meistens ein digitales Höhenmodell benutzt. Dabei wird die größte Höhenänderung zwischen der Zelle und den acht Nachbarzellen bestimmt. Es besteht jedoch ein Unterschied zwischen der Hangneigung, die durch Berechnungen vom Höhenmodell abgeleitet sind, und der tatsächlichen Hangneigung, wenn der Hang abweichend von der Fallrichtung überquert wird. Dieser zweite Fall wird auch als effektive Hangneigung bezeichnet. (CONOLLY und LAKE 2006, S. 217f)

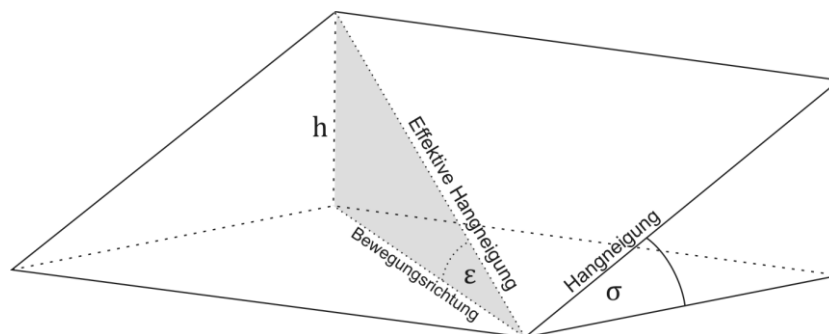


Abbildung 13 : Hangneigung und effektive Hangneigung (nach CONOLLY und LAKE 2006, S. 218)

Weiter muss berücksichtigt werden, dass der Zusammenhang zwischen dem Energieaufwand beim Überqueren eines Hanges und der Hangneigung (in Grad) nicht linear ist. Im Gehen ist der Energieverbrauch am geringsten auf einer Abwärtsneigung von 4°-6°. Er steigt in der Ebene leicht an und erhöht sich dann sehr stark und nicht-linear auf steileren Aufwärtsneigungen. Der Energieverbrauch steigt jedoch auch bei steileren Abwärtsneigungen

an, jedoch nicht so stark, wie beim Bergaufgehen. (CONOLLY und LAKE 2006, S. 218, LLOBERA 2000, S.71)

Für die exakte Berechnung der Kosten muss also sowohl die effektive Hangneigung, als auch die Änderung des Energieverbrauchs bei unterschiedlicher Hangneigung berücksichtigt werden.

VAN LEUSEN (2002, Kapitel 6, S. 7) benutzt eine Formel zur Berechnung des Energieaufwandes beim Gehen:

$$M = 1,5W + 2,0(W + L) \left(\frac{L}{W} \right)^2 + N(W + L)(1,5V^2 + 0,35V \times |G + 6|)$$

Wobei M die Energie in Watt ist, W die Masse des Gehenden, L die Masse einer Last, die getragen wird, V die Geschwindigkeit (in km/h), N ein „Geländefaktor“ und G die Hangneigung in % ist. Der Ausdruck $|G + 6|$ sorgt dafür, dass der minimale Energieaufwand bei einer Hangneigung von 6% auftritt.

Wenn nun die Formel verallgemeinert wird, für eine Person von 70kg und einer Last von 4kg, die sich mit 4,8km/h bewegt und der Geländefaktor nicht berücksichtigt wird ($N = 1$), erhält man folgende Formel der Kostengewichtung für die (effektive) Hangneigung:

$$M = 2258,266 + 124,32 \times |G + 6|$$

Für die Hangneigung in Grad (Gr) ergibt sich folgende Gleichung:

$$M = 2258,266 + 124,32 \times |\tan(Gr + 5^\circ) * 100|$$

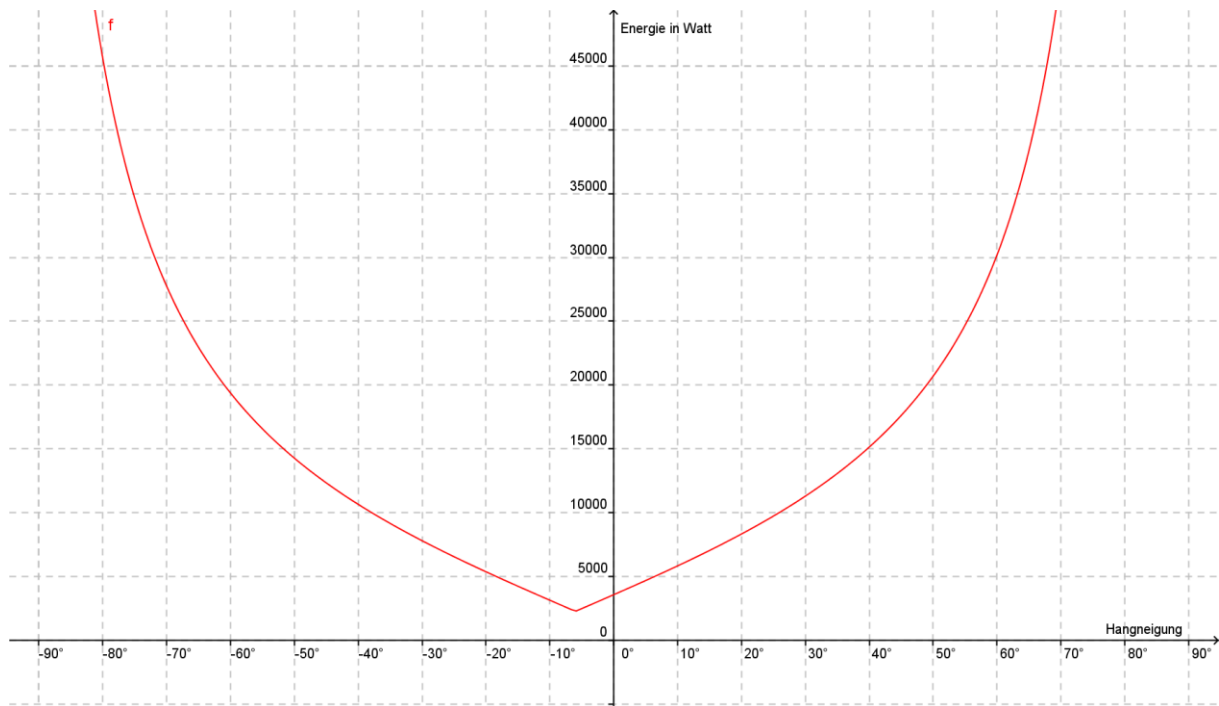


Abbildung 14: Energieaufwand beim Gehen auf geneigten Flächen (Berechnung nach VAN LEUSEN, (2002).)

5.4.4 Implementation in der Software

Die Berechnung von Kosten-Oberflächen wird in verschiedenen GIS-Programmen unterschiedlich implementiert. Dies führt zu leicht unterschiedlichen Ergebnissen bei der Berechnung. (GIETL, DONEUS und FERA 2008). Der Algorithmus von Walter COLLISCHON und Jorge Viktor PILAR (2000) ist bis jetzt in den gängigen GIS-Produkten noch nicht integriert (GIETL, DONEUS und FERA 2008, S. 8), was dazu führt, dass in steilem Gelände die berechneten Wege gerade verlaufen und nicht die typischen Serpentinien aufweisen. Dennoch ist es in aktuellen GIS-Paketen möglich, auch anisotrope Kosten zu modellieren.

In ArcGIS 9.3 Desktop gibt es zwei Module zur Berechnung von *accumulated cost surfaces*: *Cost distance* und *path distance*. (ESRI 2008b) *Cost distance* dient der Modellierung isotropischer Kosten, *path distance* modelliert anisotropische Kosten. Im Folgenden wird speziell auf das Modul *path distance* eingegangen, da vor allem die Hangneigung ein anisotroper Faktor ist.

Sowohl *cost distance* als auch *path distance* benutzen einen Algorithmus, der auf Knoten und Kanten (also Netzwerken) basiert. Dabei wird jede Zelle als Knoten gesehen, die mit ihren Nachbarn durch Kanten verbunden sind.

Das Modul *path distance* ist Bestandteil der Extension *Spatial Analyst* in ArcGIS. Dieses Modul berechnet die Kosten, um von einer Zelle *a* zu Zelle *b* (eine der acht benachbarten Zellen) zu kommen nach der Formel:

$$\begin{aligned}
 & \text{costdistance} \\
 &= \text{cost surface} * \text{surface distance} \\
 & * \frac{\text{friction}(a) * \text{horizontal factor}(a) + \text{friction}(b) * \text{horizontal factor}(b)}{2} \\
 & * \text{vertical factor}
 \end{aligned}$$

(ESRI 2008b)

Cost surface ist dabei die isotrope *cost of passage map*. Sollen mehrere Ausgangsdaten zu kombiniert werden, muss dies vorher mittels Kartenalgebra geschehen.

Die **surface distance** ist die Schrägdistanz zwischen zwei Zellen (bzw. deren Mittelpunkten). Da die Distanz auf einem zweidimensionalen Raster die Horizontaldistanz ist, die tatsächliche Strecke jedoch auch von der Neigung (und damit dem Höhenunterschied zwischen Start- und Endpunkt) der Strecke abhängt, muss zur Berechnung der tatsächlichen Strecke über ein dreidimensionales Gelände die Schrägdistanz ermittelt werden. Als Ausgangsdaten dienen meist Höhendaten. Dabei wird die Strecke nach dem pythagoreischen Satz berechnet:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Wobei *a* die Horizontaldistanz und *b* der Höhenunterschied der benachbarten Zellen sind.

Die anisotropen Kosten werden hauptsächlich über die Parameter *horizontal factors* und *vertical factors* modelliert. Sie beziehen sich immer auf die Kosten, um von einer Zelle zur anderen zu gelangen und werden für jedes Zellenpaar (jede Kante) bestimmt. Dabei gilt auch, dass die Kosten, um von *a* nach *b* zu gelangen nicht identisch mit den Kosten sind, die aufgewendet werden müssen, um von *b* nach *a* zu gelangen.

Die **horizontalen Faktoren** geben an, wie sich die Kosten, von einer Zelle zur nächsten zu gelangen, abhängig von der Richtung ändern. Dabei wird eine vorherrschende Richtung (pro Zelle) angegeben. Diese kann von 0°-360° reichen. Wird eine Zelle abweichend von dieser Richtung überquert, ändern sich die Kosten, abhängig von der Höhe der Abweichung (der *horizontal relative moving angle*, *HRMA*). Dabei wird die Strecke für die Berechnung dabei in zwei Segmente unterteilt. Das erste Segment besteht aus der Strecke vom Zentrum der gerade bearbeiteten Zelle bis zum Rand der Ziel-Zelle (mit der vorherrschenden Richtung

der bearbeiteten Zelle). Das zweite Segment reicht vom Rand der Ziel-Zelle bis zu ihrem Mittelpunkt, wobei für diesen Teil der Berechnung die vorherrschende Richtung der Ziel Zelle herangezogen wird. Die Beziehung zwischen HRMA und den Kosten wird über eine Funktion oder eine Wertetabelle realisiert, die für den gesamten Raster gilt. ArcGIS stellt dafür einige vordefinierte Funktionen zur Verfügung, deren Parameter geändert werden können. Für Fälle, in denen keine der vordefinierten Funktionen passend ist, kann auch eine Wertetabelle erstellt werden. Es können auch Richtungen ausgeschlossen werden, indem der Modifikator für die Kosten auf „unendlich“ gesetzt wird.

Die **vertikalen Faktoren** beziehen sich auf die Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Zellen. Es ist die Entsprechung zur *effektiven Hangneigung*. Sie funktionieren nach einem ähnlichen Prinzip, wie die horizontalen Faktoren. Grundlage ist nicht ein zuvor berechneter Hangneigungsraaster, sondern das Höhenmodell selbst. Dabei wird über die Höhenwerte die Hangneigung (*vertical relative moving angle, VRMA*) zwischen zwei Zellen berechnet. Anschließend wird über eine Funktion der VRMA mit einem Kostenfaktor in Beziehung gesetzt und so die Vertikalen Faktoren berechnet. Auch hier gibt es wieder von ArcGIS vordefinierte Funktionen und die Möglichkeit, Wertetabellen zu definieren. Über den *cut angle* ist es möglich, Neigungen zu definieren, bei deren Über- oder Unterschreiten der Hang als Barriere (vertikaler Faktor unendlich) fungieren.

Als Datensatz für die Ausgangspunkte der Kostenberechnung können sowohl Rasterdaten als auch Vektordaten verwendet werden. Der Datentyp muss jedoch *Integer* (ganze Zahlen) sein. Dabei können auch mehrere Quellzonen angegeben werden.

Es kann auch eine Maximal-Distanz angegeben werden. Alle Zellen, die über diesem Wert liegen, bekommen im Ergebnis den Wert „*NoData*“ zugewiesen.

Als Ausgabe generiert *path distance* ein bis drei Rasterdatensätze. Der erste Raster, der auf jeden Fall erstellt wird, ist die *accumulated cost surface*. (In ArcGIS wird dieser Raster *accumulative cost distance raster* genannt.)

Der zweite Raster, der optional ausgegeben wird, aber für einen *least cost path* benötigt wird, ist der *back link raster*. Dieser Raster speichert für jede Zelle die Richtung zu der benachbarten Zelle, die bei Rückverfolgung zu dem Ausgangspunkt (der den Weg der geringsten Kosten zur Folge hat) die niedrigsten akkumulierten Kosten aufweist. Es ist also die Richtung, aus welcher ein *least cost path* kommen würde, wenn er die jeweilige Zelle passieren würde. Daher ist dieser Raster für die *least cost path* Analyse erforderlich.

Der dritte Raster ist der *cost allocation raster*. In ihm wird für jede Zelle diejenige Quellzone eingetragen, von der aus sie mit den geringsten Kosten zu erreichen ist.

Für das Bestimmen des eigentlichen *least cost path* ist in ArcGIS 9.3 Desktop die Funktion *cost path* zuständig, die ebenfalls Teil der Extension *Spatial Analyst* ist.

Diese Funktion benötigt neben den von *path distance* errechneten *accumulative cost distance raster* und *back link raster* noch einen Raster oder einen Vektordatensatz, der die Zielorte enthält. Zusätzlich ist noch anzugeben, welche Pfade berechnet werden sollen. Drei Möglichkeiten stehen zur Auswahl: *each_cell*, *each_zone* und *best_single*.

Each_cell berechnet zu jeder einzelnen Zelle, die im Zieldatensatz enthalten ist, einen Pfad, auch wenn diese Zellen nebeneinander liegen.

Each_zone berechnet für jede Zone einen Pfad, der bei der Zelle jeder Zone beginnt, die die niedrigsten akkumulierten Kosten aufweist.

Best_single berechnet einen Pfad, der bei der Zelle der Zielzonen beginnt, die die niedrigsten akkumulierten Kosten aufweist.

6 Numismatische Daten

Als Grundlage für Analysen mittels GIS dienen Geodaten. Wenn man davon ausgeht, dass die gewählte Analyse an sich sinnhaft ist, hängen die Qualität des Ergebnisses und damit die Aussagekraft der Analyse von der Art und der Qualität der Ausgangsdaten ab.

6.1 Das Problem der Daten

Dadurch, dass die Numismatik bis jetzt GIS so gut wie gar nicht benutzt hat, sind die vorhandenen Daten auch nicht auf diesen Zweck ausgerichtet. Vor allem die Qualität der Fundortangaben, also die räumlich Komponente der Daten, ist sehr kritisch zu hinterfragen, bevor auf diesen Daten basierende Analysen durchgeführt werden.

Objekte in einem GIS sind Darstellungen der Konzeptualisierung der Realität (GRUBER 1993), daher ist es notwendig, sich Gedanken darüber zu machen, wie die Konzeptualisierung der Realität (eingeschränkt auf Fundmünzen) in der Numismatik aussieht. Oder einfacher Ausgedrückt: Was versteht die Numismatik unter Fundmünzen?

Wie in Kapitel 3.3 bereits erwähnt, sind Fundmünzen Münzen, die längere Zeit verborgen bzw. unbekannt gewesen sind. (KAHNT 2005, S. 145) Gleichzeitig soll hier auch die Funktion der Münzen in Raum und Zeit untersucht werden. (ALRAM 2006, S. 9) Um also aus einem Fundgegenstand (in diesem Fall Münzen) auf seine Funktion in Raum und Zeit schließen zu können, sollte bekannt sein, wo und wann dieser Gegenstand verloren bzw. versteckt wurde. Diese beiden Komponenten können unterschiedlich bestimmt werden. Für den Zeitpunkt des Verlustes gibt es zahlreiche Datierungsmethoden, auf die hier jedoch nicht im speziellen eingegangen werden soll. Es ist im Allgemeinen jedoch einfacher herauszufinden, wann eine Münze geprägt wurde, als den Verlustzeitpunkt zu bestimmen. „*[W]ann die Münzen an ihren Verlustort kamen, kann bestenfalls aus Vergesellschaftungen beziehungsweise ihrem Abnutzungsgrad vermutet werden, [...]*“ (VONDROVEC 2005, S. 182) Unter der Annahme, dass eine Münze nach ihren Verlust ihre Lage nicht mehr verändert hat, kann man den Fundort auch als Verlustort annehmen. Es gibt jedoch Fälle, in denen der Boden, in dem die Münze gefunden wurde, bewegt wurde. Die kann einerseits durch anthropogene Einflüsse wie Ackerbau oder Bautätigkeit geschehen sein oder durch natürliche Bodenbewegungen wie Hangrutschungen, Muren oder ähnlichem. Sind jedoch keine Spuren von derartigen Vorgängen zu erkennen, wird davon ausgegangen, dass der Fundort der Verlustort ist. (REECE 1996, S. 341)

Oft ist es jedoch nicht immer klar, wo denn nun die Münze tatsächlich gefunden wurde, da sie oft nach ihrem Auffinden erst nach mehreren Besitzern einer wissenschaftlichen Bearbeitung unterzogen wird.¹⁶ Dies führt dazu, dass Ortsangaben oft sehr ungenau sind. Dies ist im Sinne der Datenqualität, wie in Kapitel 2.5.1 beschrieben, zu verstehen. Das bedeutet, dass sowohl die Genauigkeit, als auch die Präzision sehr gering sind. So finden sich zum Teil tatsächlich nur sehr grobe räumliche Angaben, wie z.B. der Name eines ganzen Tales. Oft können die Daten auch nur aus älteren Fundpublikationen entnommen werden, die nicht immer korrekte Angaben enthalten, und oft sind diese Funddokumentationen (besonders im Fall von Hort- bzw. Schatzfunden) auch unvollständig in dem Sinn, dass einige der Münzen erfasst sind, der Rest jedoch in irgendwelchen Depots schlummert. (SCHACHINGER 2006, S. 13f)

Aber selbst wenn der Fundort recht genau bekannt ist, so wird dies nicht immer in den Datenbanken oder Münzkatalogen festgehalten. Dies ist sicher auch darauf zurückzuführen, dass bis jetzt kaum GIS-Analysen durchgeführt wurden und die Münzdatenbanken keine räumlichen Datenbanken im Sinne der Geoinformatik sind. So ist zum Beispiel in der österreichischen Funddatenbank dFMRÖ, ebenso wie in der deutschen Funddatenbank NUMIDAT der Fundort als Text angegeben. Meist bezieht sich die Fundortbezeichnung auf bekannte römische Überreste oder auf die Katastralgemeinde, in der die Münze gefunden wurde. Eine exakte Koordinatenangabe, wie es für eine Bearbeitung in einem GIS wünschenswert wäre, findet sich hingegen nicht.

Eine weitere Eigenschaft der Daten ergibt sich aus der numismatischen Forschung: Man kann nicht annehmen, dass die Daten vollständig sind, selbst wenn alle Münzen, die in einer Region gefunden wurden, eingetragen sind. In der Numismatik wird davon ausgegangen, dass das Fundmaterial nicht vollständig ist, sondern niemals alle Münzen, die zu finden wären, auch tatsächlich gefunden werden. (GÖBL 1978, S. 259) Dennoch kann man davon ausgehen, dass bei größerer Fundmenge diese Funde auch mehr oder weniger die Verlustverhältnisse, und damit die zirkulierenden Münzen widerspiegeln (NEWTON 2006).

6.2 Die Datenbank der Fundmünzen

Die Datenbank „digitale Fundmünzen der römischen Zeit in Österreich“ (dFMRÖ) ist die Erweiterung zum Projekt „Fundmünzen der römischen Zeit in Österreich“ (FMRÖ), das seit

¹⁶ In Österreich zählen Fundmünzen zu den Bodendenkmälern. Dadurch besteht nach §8 des Bundesdenkmalgesetzes Meldepflicht, d.h. der Fund muss gemeldet werden, um die wissenschaftliche Bearbeitung zu ermöglichen.

1971 läuft und Fundmünzen in Form von Katalogen publiziert. Die Datenbank ist auch Online verfügbar und abrufbar¹⁷.

Die Daten der Fundmünzen liegen als Microsoft Access Datenbank vor. Für diese Arbeit wurde ein Auszug aus dieser Datenbank erstellt, der die für diese Untersuchung relevanten Daten enthält. Dies besteht aus zwei Tabellen, die über ein ID-Feld verknüpft sind. Diese Tabellen sind die Tabelle mit den Fundorten und die Tabelle mit den Einträgen der Münzen.

Feldname	Datentyp	Beschreibung
MZ_ID	Zahl	ID der Münze
PR_NAME	Text	Name des Prägeherrn
NOM_NAME	Text	Name bzw. Wert der Münze (Nominale)
MZST_NAME	Text	Münzstätte
DAT_VON	Zahl	Früheste Datierung
DAT_BIS	Zahl	Späteste Datierung
DAT_CA	Ja/Nein	Datierung exakt ja oder nein
GEWICHT	Zahl	Gewicht der Münze in g
STST	Zahl	Stempelstellung
DM	Zahl	Durchmesser in mm
THES_FO_ID	Zahl	ID des Fundortes (Verknüpfung mit Tabelle der Fundorte)
F_ZEIT	Text	Datum des Fundes
Fundart	Text	Art des Fundes

Tabelle 3: Datenbanktabelle Fundmünzen (COINS)

Die Tabelle der Fundorte weist eine hierarchische Gliederung der Fundorte auf. So finden sich das Bundesland, die Bezirke und die Gemeinden sowie die Fundorte selbst in derselben Tabelle

Feldname	Datentyp	Beschreibung
THES_REL_ID	Zahl	Fundort ID (Verknüpfung mit Tabelle der Fundmünzen)
PARENT_ID	Zahl	übergeordnete Fundort ID (THES_REL_ID)
TERM	Text	Bezeichnung des Fundortes
TYP	Text	Typ (Fundstelle, Stadt, Gemeinde Bezirk,...)
HIERARCHY_KEY	Text	hierarchischer Schlüssel
S_ORDER_KEY	Text	Sortierschlüssel für Thesaurus

Tabelle 4: Datenbanktabelle Fundorte (FO)

Wie Tabelle 2 zeigt, liegen die Fundorte nur als textliche Beschreibung vor. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um die Angabe der Katastralgemeinde, in der die Münzen

¹⁷ <http://www.oeaw.ac.at/numismatik/projekte/dfmroe/dfmroe.html>

gefunden wurden. Nur in den wenigsten Fällen ist eine genauere Ortsangabe vorhanden. In diesem Zustand können die Münzdaten nicht in einem GIS visualisiert werden, da keine Geometriedaten vorhanden sind. Es muss erst eine Verknüpfung mit Geometriedaten erfolgen.

6.3 Bei den Analysen verwendete Daten

Neben den Daten aus der Münzdatenbank werden bei der Analyse weitere Geodaten verwendet. Diese Daten stammen aus unterschiedlichen Quellen und mussten demnach aneinander angeglichen werden. Als Referenzsystem wurde die UTM-Projektion ausgewählt, da dies das aktuell gültige Referenzsystem in Österreich ist.

6.3.1 Digitales Höhenmodell

Innerhalb der Grenzen Österreichs liegt ein digitales Höhenmodell vom österreichischen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) vor. Dieses Höhenmodell existiert ursprünglich mit einer Auflösung von 10m. Diese hohe Auflösung ist jedoch einerseits aufgrund der daraus resultierenden Datenmenge umständlich zu handhaben, andererseits ist eine so hohe Auflösung für die vorliegende Untersuchung auch nicht notwendig, da die numismatischen Daten nicht annähernd die entsprechende Genauigkeit aufweisen.

Aus diesem Grund wurde das Höhenmodell rechnerisch auf eine Auflösung von 25m reduziert.

Außerhalb der Grenzen Österreichs kommen SRTM-Daten in einer Auflösung von 90m (Eigentlich 3 Bogensekunden) zum Einsatz. Die SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)-Daten wurden im Februar 2000 vom Space Shuttle „Endeavour“ mittels Radar (InSAR, Interferometric Synthetic Aperture Radar) aufgenommen. In der Höhe sind auch Gebäude und Vegetation inkludiert. (REUTER, NELSON und JARVIS 2007, S. 984f) Die NASA stellt diese Daten kostenlos als Public Domain auf ihrem FTP-Server zu Verfügung¹⁸.

¹⁸ <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/>

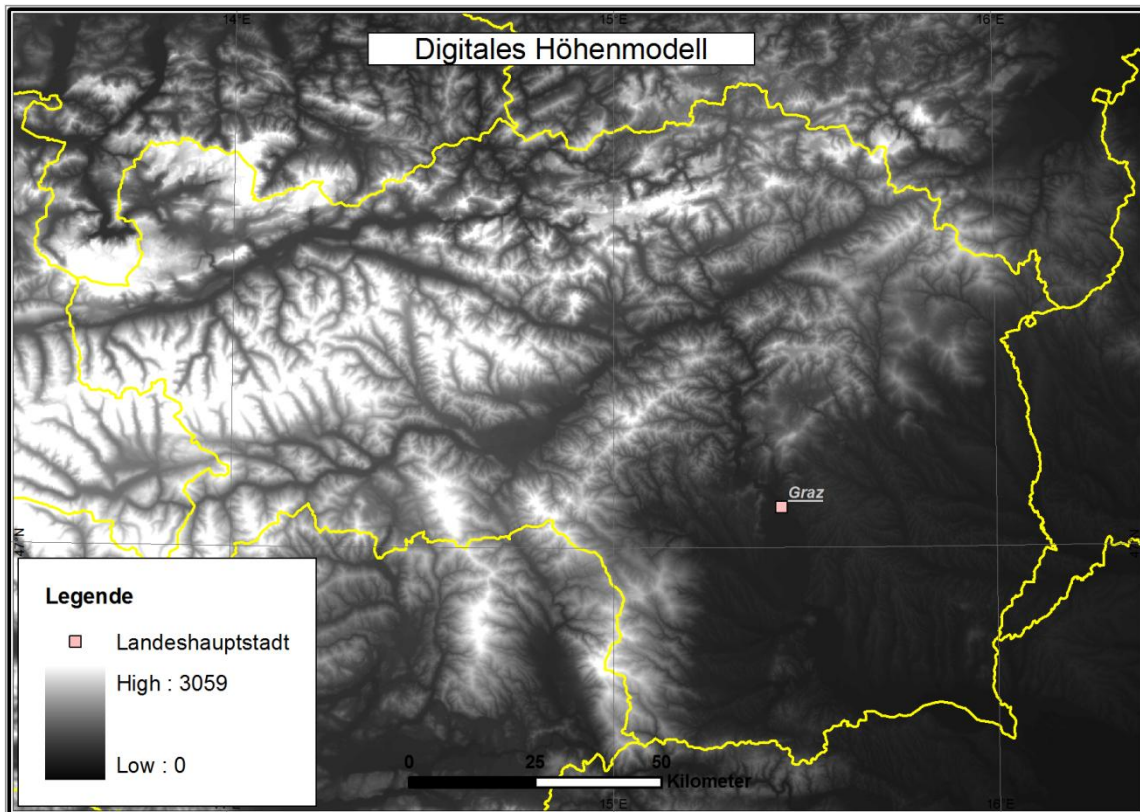


Abbildung 15: Digitales Höhenmodell

SRTM Daten weisen jedoch aufgrund der Aufnahmemethode (Radarabschattung, unzureichende Reflexion bestimmter Oberflächen) Fehlpixel auf. Werden diese Fehlstellen durch Interpolation gefüllt, entstehen Artefakte (siehe Abbildung 16) und die tatsächlichen Verhältnisse werden nur unzureichend wiedergegeben. Neuere Interpolationsmethoden (REUTER, NELSON und JARVIS 2007) liefern bessere Ergebnisse. Das „*Consortium for Spatial Information*“ (CGIAR-CSI) bietet auf seiner Homepage¹⁹ SRTM-Daten an, die mit diesen Interpolationsmethoden korrigiert wurden. Die bessere (aber auch aufwendigere) Methode ist es, die fehlenden Stellen mithilfe topographischer Karten zu rekonstruieren und im Höhenmodell zu füllen. Im Internet gibt es Seiten, die Daten anbieten, die mithilfe von topographischen Karten diese Fehlstellen auffüllen²⁰.

¹⁹ <http://csi.cgiar.org/index.asp>

²⁰ <http://www.viewfinderpanoramas.org/dem3.html>



Abbildung 16: Artefakte der Interpolation fehlender Höhenwerte

6.3.2 Administrative Grenzen

Der Datensatz der Administrativen Einheiten stammt von der GIS-Abteilung des Landes Steiermark (GIS-Steiermark²¹). Diese können von der Homepage heruntergeladen werden. Die Administrativen Einheiten (Landesgrenzen, Bezirke, Gerichtsbezirke und Gemeinden) liegen als Polygone im ESRI Shapefile Format vor. Als zusätzliche Attribute weisen sie Namen, Fläche und Regionalcodes (Landes, Bezirks- und Gemeindecodes) auf. Sie wurden für den Maßstab 1:15.000 generalisiert (Gerichtsbezirke für 1: 50.000)

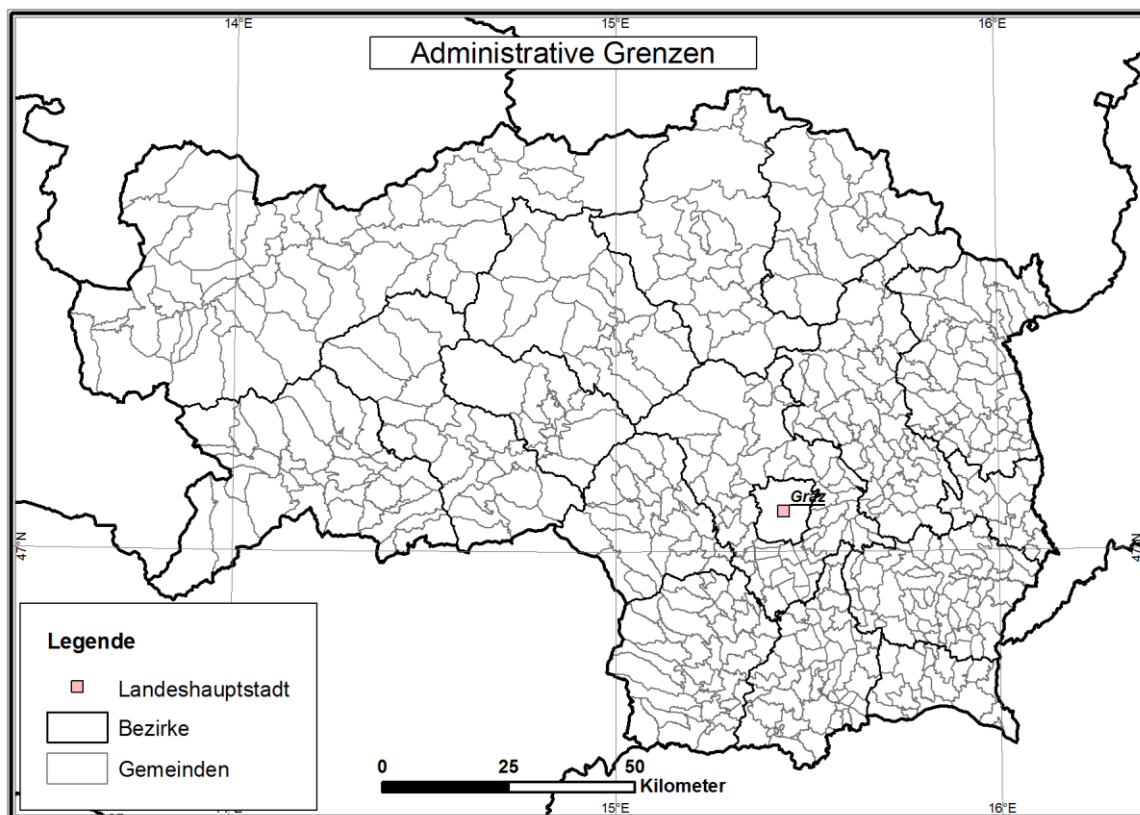


Abbildung 17: Administrative Grenzen (Gemeinden und Bezirke)

²¹ <http://www.gis.steiermark.at/>

6.3.3 Siedlungen

Der Datensatz der Siedlungen, die als Punkte im ESRI Shapefile Format vorliegen, stammt ebenfalls von der Homepage der GIS-Steiermark. Es finden sich Name, Kurzname und Art der Siedlung (Bezirkshauptort, Hauptort von Gemeinde, Haupt- oder Nebenort einer Katastralgemeinde) in den Attributen. Die Orte wurden anhand der ÖK 50 (Amtliche Karte des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen im Maßstab 1:50.000) digitalisiert. Als Koordinaten wurden entweder die Koordinaten der (wichtigste) Kirche eines Ortes oder die einer große Straßenkreuzung im Zentrum des Ortes angenommen.

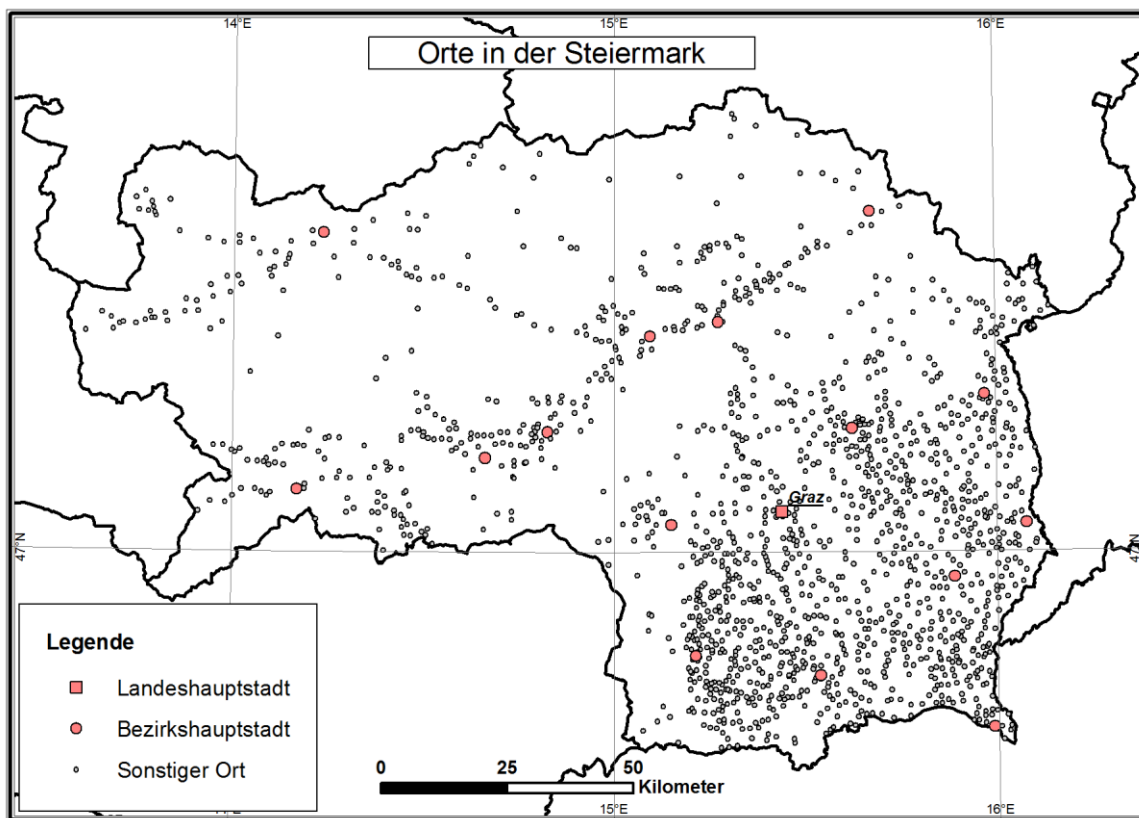


Abbildung 18: Orte in der Steiermark

6.3.4 Flüsse

Auch der Datensatz der Hauptgewässer stammt von GIS-Steiermark und liegt im ESRI Shapefile Format vor. Die Liniendaten besitzen als Attribute lediglich die Namen der Flüsse. Sie wurden für den Maßstab 1:50.000 generalisiert.

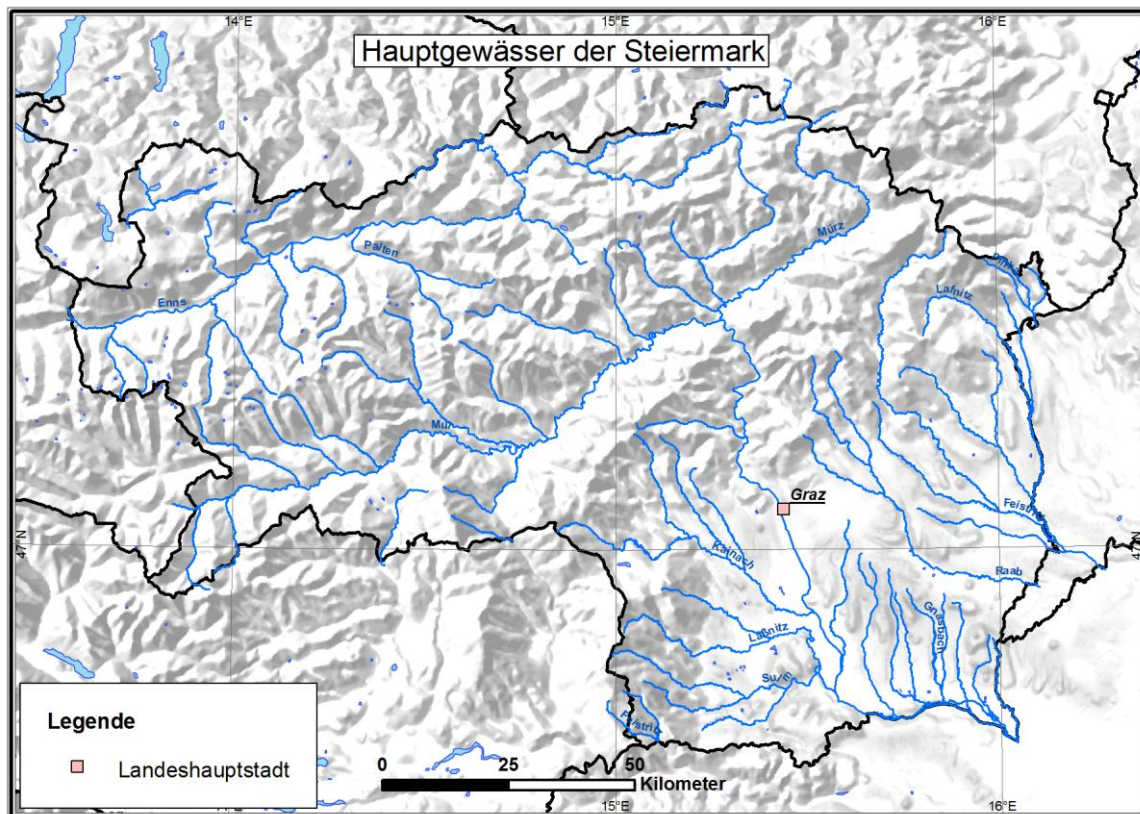


Abbildung 19: Flüsse

6.3.5 Antike Wege

Die Daten der antiken Wege stammen aus archäologischen Untersuchungen. Sie sind das Ergebnis archäologischer Forschung. Dabei wurden verschiedene Quellen und Methoden benutzt. Die Informationen wurden aus Grabungsbefunden, schriftlichen Quellen, antiken Karten (wie der Tabula Peutingeriana) und Luftbildern (Luftbildarchäologie) gewonnen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass hier nur solche Straßen und Passübergänge verzeichnet sind, für die es archäologische Hinweise gibt. Es ist nicht auszuschließen, dass noch andere Pässe benutzt wurden, es hierfür jedoch keine archäologischen Befunde gibt. Dies kann auch dadurch zustande kommen, dass diese Wege durchgehend bis heute benutzt wurden, und so die Straßen auf denselben Trassen wie die antiken Wege errichtet wurden. (GIETL 2004)

Die Daten wurden freundlicherweise vom Institut für Ur- und Frühgeschichte der Universität Wien zur Verfügung gestellt.

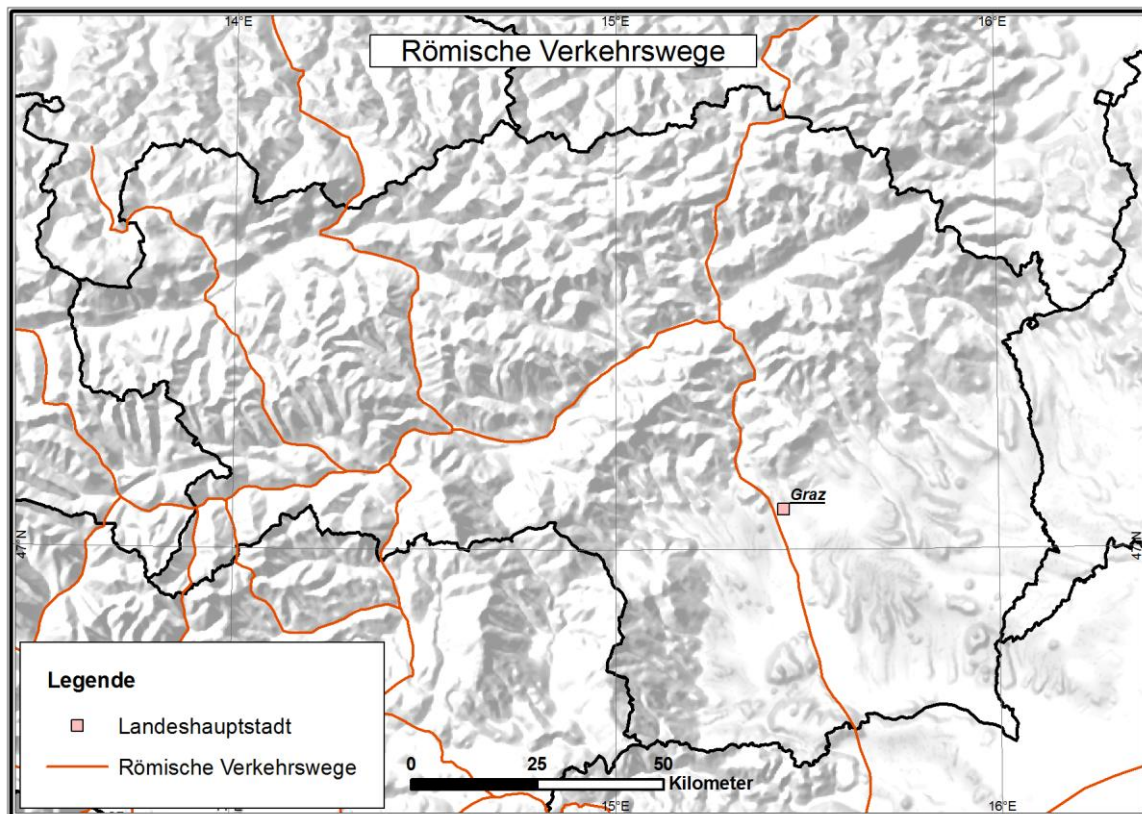


Abbildung 20: Antike Verkehrswege

7 Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung erfolgt, wie auch die Analysen mit Hilfe der GIS-Software ArcGIS 9.3 Desktop (mit Service Pack 3) der Firma ESRI und der Tabellenkalkulation Excel 2007 (mit Service Pack 1) der Firma Microsoft. Letzteres dient in erster Linie zur Aufarbeitung der Tabellen, die aus der Access-Datenbank der Fundmünzen exportiert wurden. (Hierfür wurde das Programm Access 2007 der Firma Microsoft verwendet.) Für statistische Datenverarbeitung und Analyse wurde SPSS 17 benutzt.

7.1 Verknüpfung der Münzdaten mit den Geometriedaten

Um die Fundortdaten mittels GIS zu verarbeiten, ist es in einem ersten Schritt notwendig, sie mit Geometriedaten, die in einem GIS-tauglichen Format vorliegen, zu verknüpfen. Obwohl die Fundortangaben im Allgemeinen nur den Namen der Katastralgemeinde aufweisen, in der die Münzen gefunden wurden, werden die Fundorte zunächst einmal mit den Punktdaten der Orte der Steiermark verknüpft. Werden die Fundmünzen im Maßstab der gesamten Steiermark betrachtet, ist das Darstellen der Fundorte als Punkte nicht die optimale Möglichkeit, da davon ausgegangen werden muss, dass der Fundort nicht dem Punkt im Datensatz entspricht.

Da die Münzdatenbank keine Gemeinde- oder Ortscodes enthält und die Namen der Fundorte nicht gleich geschrieben sind wie im Datensatz der GIS-Steiermark, müssen die beiden Datensätze manuell verknüpft werden. Es werden dazu die Orte im Shapefile mit dem entsprechenden Schlüssel (THES_REL_ID) aus der Münzdatenbank versehen. Bei manchen Fundorten finden sich Bezeichnungen, die eine genauere Verortung als die Katastralgemeinde erlauben (z.B. Flurnamen). Diese Namen werden in der digitalen Version der amtlichen Österreichischen Karte 1:50.000 (Austrian Map Fly 4.0) lokalisiert und die Koordinaten ausgelesen. Diese Punkte werden dann in den Ortsdatensatz eingefügt. Ein zusätzliches Attribut weist die neu digitalisierten Punkte als Fundorte aus.

Da die Anzahl der an einem Fundort gefundenen Münzen ebenfalls von Interesse ist, wurde in Microsoft Access eine entsprechende Abfrage erstellt. Das Ergebnis dieser Abfrage wird als Excel-Tabelle exportiert und kann über den Schlüssel THES_REL_ID mit der Geometrie der Fundorte verknüpft werden.

Das Ergebnis dieser Verknüpfung sind 119 Fundorte, an denen insgesamt 1520 Münzen gefunden wurden. Abbildung 21 zeigt die Fundorte der Münzen.

Hierbei zeigen sich besonders in Kalsdorf bei Graz und in geringerem Maß in Leibnitz und Gleisdorf deutliche Häufungen. Diese lassen sich durch die bekannte Bedeutung dieser Orte zur Römerzeit erklären: Bei Leibnitz befand sich die Stadt (municipium) Flavia Solva und auch bei Kalsdorf und Gleisdorf wurden Siedlungen (vici) gefunden. (LOHNER o.J.)

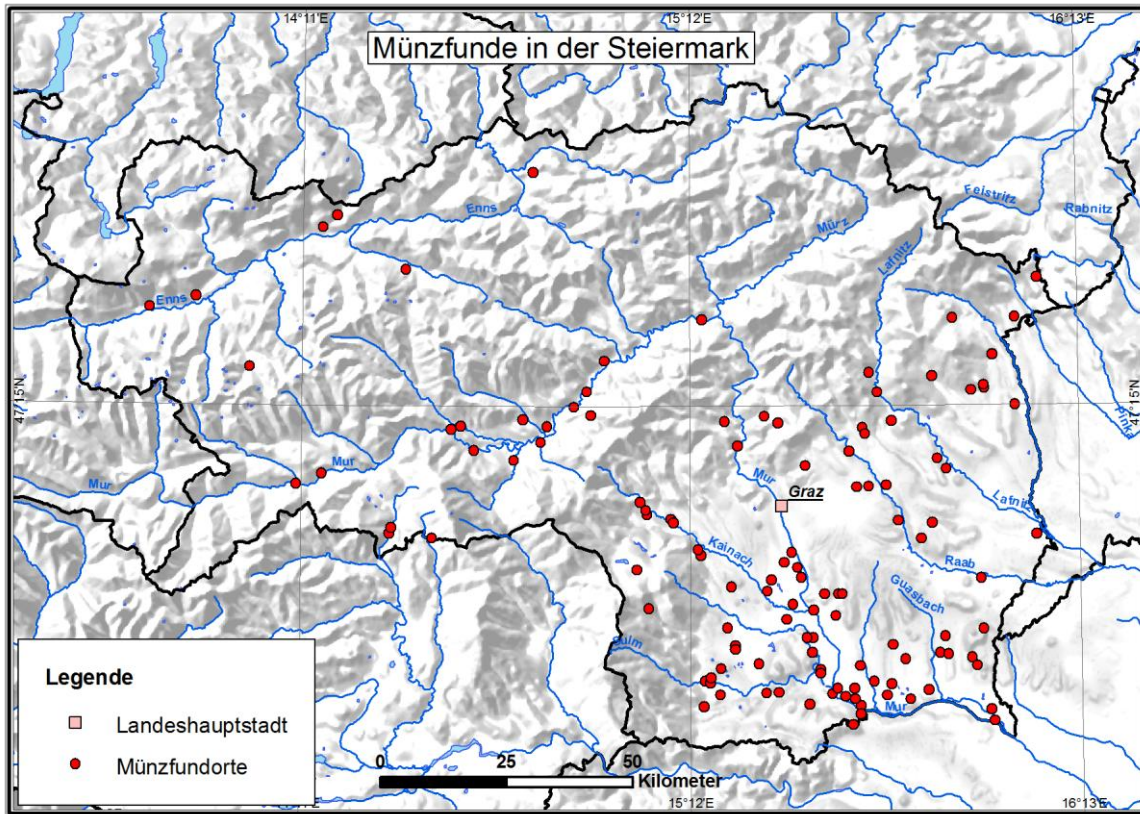


Abbildung 21: Fundorte in der Steiermark

7.2 Zusammenfügen der Höhenmodelle

Um mit einem Rasterdatensatz mit gleicher Auflösung über das gesamte Gebiet (das auch Bereiche außerhalb der Fläche des Landes Steiermark beinhaltet) arbeiten zu können, werden als nächster Schritt die beiden Datensätze zusammengefügt. Die Bereiche, die nicht vom Höhenmodell des BEV abgedeckt werden, werden aus den SRTM-Daten entnommen.

Um die hohe Auflösung der BEV-Daten zu nutzen, wird ein Datensatz angestrebt, der eine 25m Auflösung bietet. Da die Bereiche, die aus dem SRTM-Datensatz verwendet werden, im Verhältnis zu den Bereichen des BEV-Datensatzes gering sind und sich zum größten Teil auf Bereiche mit geringen Höhenunterschieden beschränken, wird das SRTM-Höhenmodell auf die höhere Auflösung interpoliert.

Dies geschieht in ArcGIS mit dem Befehl *ArcToolbox* → *Data Management Tools* → *Raster* → *Raster Processing* → *Resample*. Als Interpolationsmethode wird die bilineare Interpolation gewählt.

Anschließend werden die beiden Höhenmodelle mit dem Befehl *ArcToolbox* → *Data Management Tools* → *Raster* → *Raster Dataset* → *Mosaic to New Raster [16-Bit unsigned]* zu einem Datensatz zusammengefasst. Dieser neue Datensatz ist der Ausgangspunkt für alle weiteren höhenbezogenen Berechnungen und Analysen.

7.3 Abgeleitete Daten

Für *predictive site modelling* werden auch Daten benutzt, die von anderen Datensätzen abgeleitet werden können. Diese werden in der archäologischen Literatur (z.B. DUNCAN und BECKMAN 2000, WARREN und ASCH 2000 und CONOLLY und LAKE 2006) oft als sekundäre Daten bezeichnet, im Gegensatz zu Daten, die für die meisten Gegenden leicht erhältlich oder zu digitalisieren sind, die als primäre Daten bezeichnet werden. (DUNCAN und BECKMAN 2000, S. 36) Dennoch sind diese „primären“ Daten ebenso sekundäre Daten (im Sinne der Geoinformatik, siehe Kapitel 2.4.1 „Primär- und Sekundärdaten“), da sie meist schon einer Bearbeitung unterzogen sind oder eben von anderen Quellen digitalisiert sind. Es wird daher hier der Begriff „abgeleitete Daten“ für jene Daten benutzt, die für diese Untersuchung aus den anderen, aus externen Quellen stammenden Daten durch Berechnungen und geographische Analysen gewonnen werden. Dies entspricht den sekundären Daten in der Literatur zur archäologischen Modellierung.

7.3.1 Hangneigung und Exposition

Die Hangneigung und die Exposition lassen sich in einem GIS aus einem digitalen Höhenmodell berechnen. Dabei wird die Hangneigung über die Höhendifferenz zu den umliegenden Rasterzellen berechnet. Es wird jeweils die benachbarte Zelle benutzt, die die größte Höhendifferenz zur bearbeiteten Zelle aufweist.

Der Algorithmus zur Berechnung der Exposition, also die Kompassrichtung, in die die Falllinie des Hanges zeigt, versucht eine Ebene durch die bearbeitete Zelle und ihre acht Nachbarn zu legen. Die Richtung der Ebene wird mittels einer Differentialgleichung bestimmt, bei der die Änderungen der Höhen in x-Richtung mit der Änderung der Höhe in y-Richtung verglichen wird. (ESRI 2008b, BURROUGH und McDONNELL 1998, S. 190) daraus wird in einem weiteren Schritt die Exposition als Kompassrichtung bestimmt.

In ArcGIS sind diese Funktionen der Extension Spatial Analyst und können entweder über die entsprechende Werkzeugleiste oder die Toolbox aufgerufen werden. Die Berechnung der Hangneigung erfolgt über *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Surface* → *Slope*. Die Angabe des Winkels erfolgt wahlweise in Grad oder in Steigungsprozent.

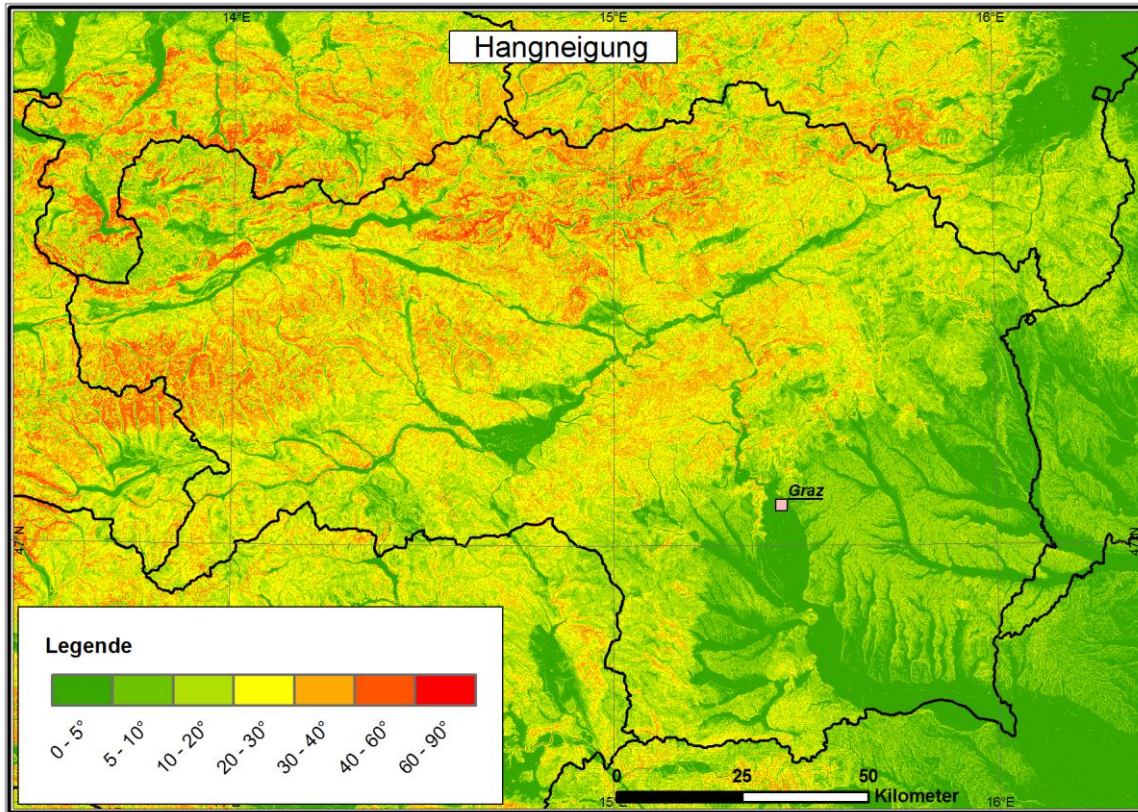


Abbildung 22: Raster der Hangneigung

Analog dazu erfolgt die Berechnung mit dem Befehl *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Surface* → *Aspect*. Ebenen Stellen wird der Wert -1 zugewiesen.

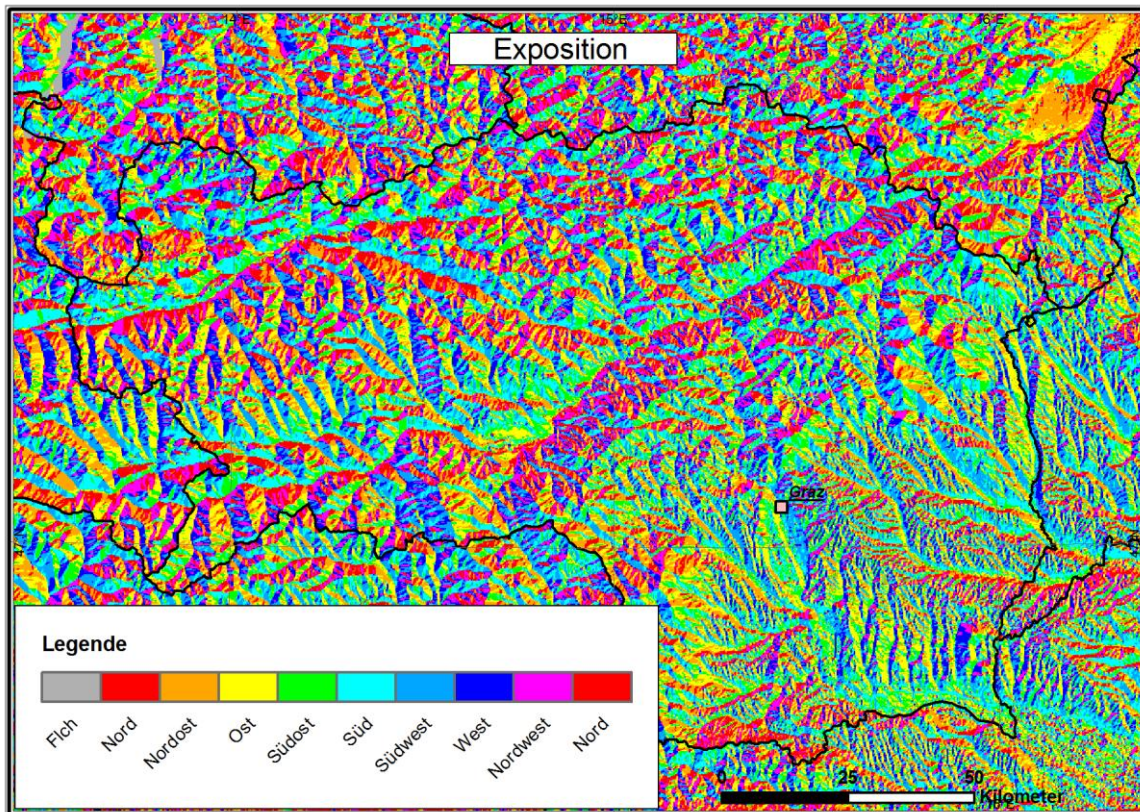


Abbildung 23: Raster der Exposition

7.3.2 Entfernungen

Da für die Modellierung auch die Entfernung von bestimmten topographischen Elementen wie Flüsse und Straßen interessant sind, werden auch Layer berechnet, die die Entfernung jeder Rasterzelle zum nächstgelegenen Element enthalten.

Für dieses Modell ist die euklidische Distanz ausreichend. Für eine genauere Modellierung wäre eine durch das Relief kostengewichtete Distanz möglich. Zur Berechnung der euklidischen Distanz wird der Befehl *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Distance* → *Euclidean Distance* benutzt. Dies wird für die römischen Verkehrswege und die Flüsse durchgeführt.

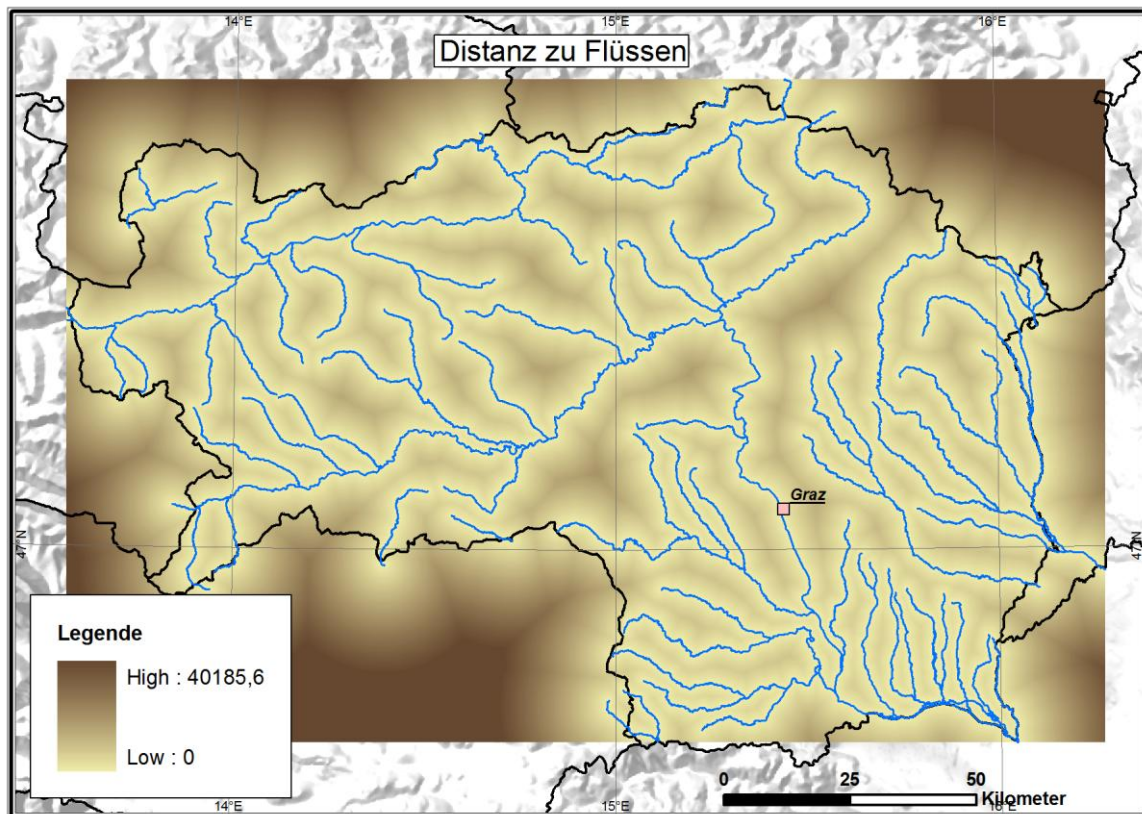


Abbildung 24: Distanz zu Flüssen

8 Wo könnten Münzen sein? – *Predictive Site Modelling*

Der erste Schritt bei der Durchführung einer vorhersagenden Modellierung ist die Fragestellung, was überhaupt modelliert werden soll. Anhand dieser Fragestellung werden dann die Attribute bestimmt, die an der Modellierung teilnehmen sollen.

Werden bei der Fragestellung die Möglichkeiten und Eigenschaften der Modellbildung berücksichtigt, kann die Frage folgendermaßen formuliert werden:

An welchen Orten im Untersuchungsgebiet besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass, basierend auf ihren geographischen Eigenschaften, antike Münzen gefunden werden können?

In diesem Fall sollen potenzielle Fundorte antiker Münzen in der Steiermark modelliert werden. Wichtig ist hierbei festzustellen, dass dies weder bedeutet, dass in diesem Bereich auf jeden Fall Münzen zu finden sind, noch, dass außerhalb der ausgewiesenen Bereich keine Münzen anzutreffen sind. Einzelfunde (um die es sich in der Steiermark vorwiegend handelt) sind Anzeichen dafür, dass eine Stelle begangen wurde.

8.1 Datenauswahl

Aufgrund der vorangegangenen Überlegungen (und aus vergleichbaren Untersuchungen in der Archäologie) werden folgende Attribute in den Modellierungsprozess mit einbezogen:

- Höhe
- Hangneigung
- Exposition
- Entfernung zu antiken Wegen
- Entfernung zu Flüssen

Obwohl die Exposition nach der Berechnung eigentlich ein metrischer Wert (Winkel in Grad) ist, macht es mehr Sinn, die Exposition als nominale Variable handzuhaben. Schließlich ist eine Süd-Exposition nicht mehr oder weniger als eine Nord-Exposition. Daher wird die Exposition in neun Klassen reklassifiziert. Diese Klassen spiegeln die Himmelsrichtungen und die Ebene wieder. (Tabelle 5)

Grad	Himmelsrichtung	Klassencode
Eben (-1)	Eben	0
0° - 22,5° und 337,5° - 360°	Norden	1
22,5° - 67,5°	Nordosten	2
67,5° - 112,5°	Osten	3
112,5° - 157,5°	Südosten	4
157,5° - 202,5°	Süden	5
202,5° - 247,5°	Südwesten	6
247,4° - 292,5°	Westen	7
292,5° - 337,5°	Nordwesten	8

Tabelle 5: Reklassifizierung der Exposition

8.2 Stichprobe

Als Stichprobe für die Fundorte ($Y_i = 1$) werden die Punktdaten der Fundorte verwendet. Für die Hintergrundorte ($Y_i = 0$) werden zufällige Punkte gewählt. Da der Datensatz der Fundorte 119 Orte enthält, werden ebenfalls 119 Hintergrundorte bestimmt. Die Hintergrundorte werden in den gleichen Datensatz eingefügt, zur Unterscheidung zwischen Fundorten und Hintergrundorten wird ein Datenfeld Y eingefügt, das für Fundorte auf 1 und für Hintergrundorte auf 0 gesetzt wird.

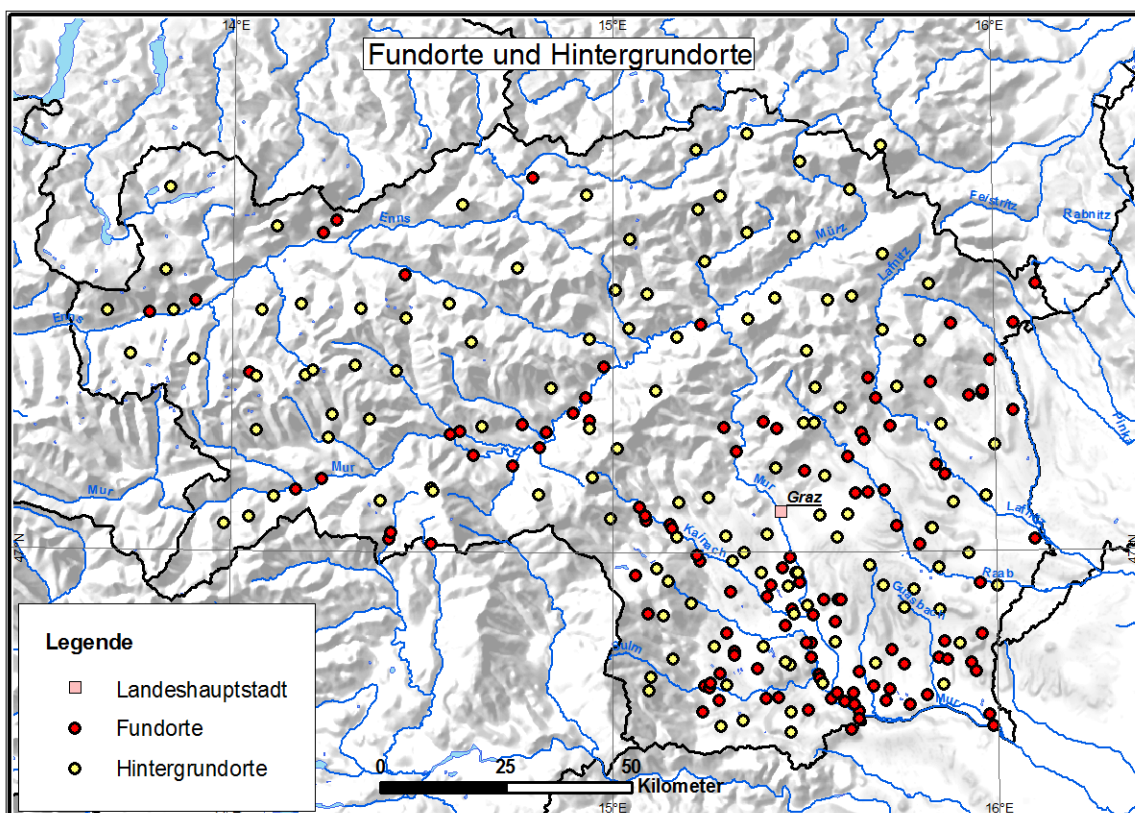


Abbildung 25 : Fundorte und Hintergrundorte

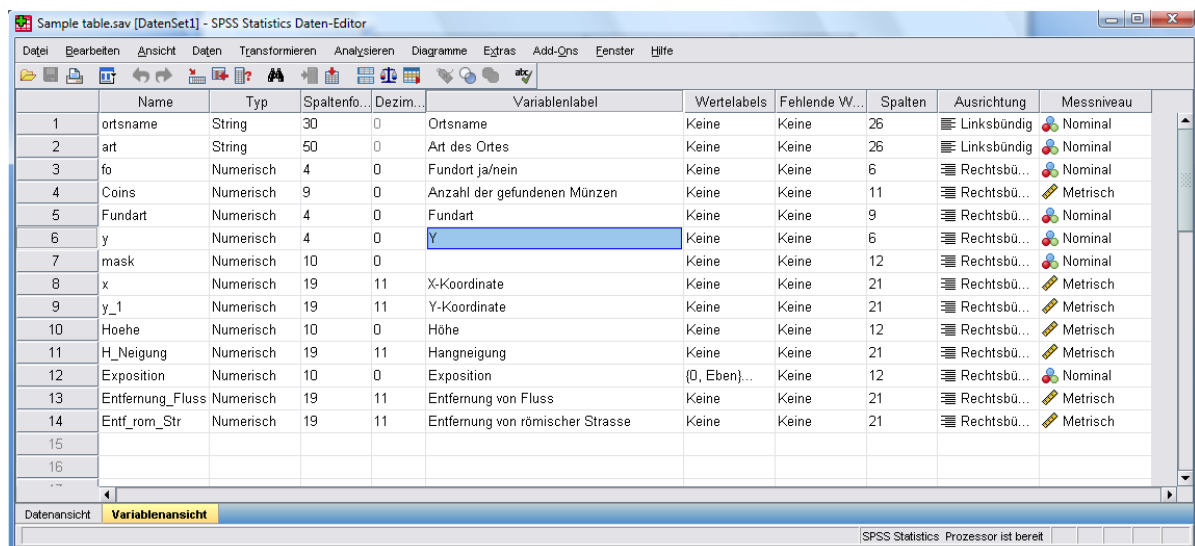
Den Orten müssen nun die Attributwerte zugewiesen werden und eine Datentabelle generiert werden, die im nächsten Schritt statistisch ausgewertet wird.

In ArcGIS 9.3 Desktop gibt es dafür die Funktion *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Extraction* → *Sample*. Diese Funktion generiert eine Datentabelle mit der ID der Punktdaten, den x/y-Koordinaten der Punktdaten und den Werten der Eingaberaster an der Stelle der Punktdaten.

Da jedoch zusätzliche Attribute der Punkte (wie das Attribut Y, das für die weitere Analyse erforderlich ist) in der Datentabelle nicht erfasst werden, müssen diese zunächst noch über die Join-Funktion verknüpft werden (Das MASK-Feld in der durch den Befehl *Sample* erzeugten Tabelle entspricht der ObjectID des Shapefiles) und werden dann der Datentabelle hinzugefügt.

Diese Datentabelle kann nun als dBase-Datei exportiert und in SPSS 17 importiert werden.

Die Qualität des Modells hängt sehr stark von der Stichprobe ab. Einerseits spielt es eine Rolle, ob die Attributwerte an den Orten, an denen sie gemessen wurden, korrekt sind, aber noch mehr davon, ob sie an den richtigen Orten gemessen wurden. Dieses Problem tritt bei den vorliegenden numismatischen Daten auf, deren Lagegenauigkeit nicht sehr gut ist. Es sind eben keine exakten Fundortangaben vorhanden, es ist also geradezu unausweichlich, die Attributwerte an den falschen Orten zu messen.



	Name	Typ	Spaltenfo...	Dezim...	Variablenlabel	Wertelabels	Fehlende W...	Spalten	Ausrichtung	Messniveau
1	ortsname	String	30	0	Ortsname	Keine	Keine	26	Linksbündig	Nominal
2	art	String	50	0	Art des Ortes	Keine	Keine	26	Linksbündig	Nominal
3	fo	Numerisch	4	0	Fundort ja/nein	Keine	Keine	6	Rechtsbü...	Nominal
4	Coins	Numerisch	9	0	Anzahl der gefundenen Münzen	Keine	Keine	11	Rechtsbü...	Metrisch
5	Fundart	Numerisch	4	0	Fundart	Keine	Keine	9	Rechtsbü...	Nominal
6	y	Numerisch	4	0	Y	Keine	Keine	6	Rechtsbü...	Nominal
7	mask	Numerisch	10	0		Keine	Keine	12	Rechtsbü...	Nominal
8	x	Numerisch	19	11	X-Koordinate	Keine	Keine	21	Rechtsbü...	Metrisch
9	y_1	Numerisch	19	11	Y-Koordinate	Keine	Keine	21	Rechtsbü...	Metrisch
10	Hoehe	Numerisch	10	0	Höhe	Keine	Keine	12	Rechtsbü...	Metrisch
11	H_Neigung	Numerisch	19	11	Hangneigung	Keine	Keine	21	Rechtsbü...	Metrisch
12	Exposition	Numerisch	10	0	Exposition	{0, Eben}...	Keine	12	Rechtsbü...	Nominal
13	Entfernung_Fluss	Numerisch	19	11	Entfernung von Fluss	Keine	Keine	21	Rechtsbü...	Metrisch
14	Entf_rom_Str	Numerisch	19	11	Entfernung von römischer Strasse	Keine	Keine	21	Rechtsbü...	Metrisch
15										
16										

Abbildung 26: Exportierte Datentabelle in der Variablenansicht in SPSS 17

8.3 Signifikanztests

Zunächst wird jede Variable auf ihre Verteilung untersucht. Je nachdem, ob sie normalverteilt ist oder nicht, kommen in weiterer Folge unterschiedliche Testverfahren zum Einsatz.

Ob eine Variable normalverteilt ist oder nicht, wird mit dem Kolmogoroff-Smirnow-Test überprüft. Dabei gilt die Nullhypothese, dass eine Normalverteilung vorliegt. (Bei sämtlichen Test wird ein Signifikanzniveau von 5% angenommen.) Dieser Test wird in SPSS mit dem Befehl *Analysieren* → *Deskriptive Statistiken* → *Explorative Datenanalyse* durchgeführt. Dabei wird unter der Option *Diagramme* das Kästchen *Normalverteilungsdiagramme mit Tests* angekreuzt.

Das Ergebnis der Überprüfung auf Normalverteilung ergibt, dass alle Variablen signifikant von einer Normalverteilung abweichen (siehe Tabelle 6).

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Höhe	,195	239	,000	,832	239	,000
Hangneigung	,164	239	,000	,848	239	,000
Exposition	,123	239	,000	,941	239	,000
Entfernung von Fluss	,171	239	,000	,810	239	,000
Entfernung von röm. Straße	,121	239	,000	,914	239	,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tabelle 6: Ergebnis des Tests auf Normalverteilung

Der nächste Schritt ist die Untersuchung, ob die jeweiligen variablen Signifikant zwischen Fundorten und Hintergrundorten unterscheiden.

Dabei wird die Nullhypothese aufgestellt, dass die Attributwerte zwischen Fundorten und Hintergrundorten gleich verteilt sind.

Für metrische Variablen kommt der Mann-Whitney-U-Test und für nominale Variablen der Chi²-Test zum Einsatz. (WARREN und ASCH 2000, S. 15)

Der Mann-Whitney-U-Test ist ein Test zum Vergleich zweier unabhängiger Stichproben. Er findet sich in SPSS 17 unter dem Befehl *Analysieren* → *Nichtparametrische Tests* → *Zwei unabhängige Stichproben*. Dabei werden als Testvariablen die zu überprüfenden Variablen angegeben. Im konkreten Fall sind dies *Höhe*, *Hangneigung*, *Entfernung von Flüssen* und *Entfernung von römischen Straßen*.

Das Ergebnis dieses Tests zeigt, dass bis auf die Variable *Entfernung von römischen Straßen* alle anderen signifikant zwischen Fund- und Hintergrundorten unterscheiden. (siehe Tabelle 7)

Statistik für Test^a

	Höhe	Hangneigung	Entfernung von Fluss	Entfernung von röm. Straße
Mann-Whitney-U	3156,000	2574,000	4546,500	6749,000
Wilcoxon-W	10296,000	9714,000	11686,500	13889,000
Z	-7,455	-8,546	-4,853	-,732
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,464

a. Gruppenvariable: Y

Tabelle 7: Testergebnisse für metrische Variablen

Der χ^2 -Test untersucht den Zusammenhang zwischen zwei nominal skalierten Variablen. In diesem Fall wird untersucht, ob ein statistischer Zusammenhang zwischen der Exposition und der Variable Y (also Fundort oder Hintergrundort) existiert. Auch hier ist der Zusammenhang signifikant. (siehe Tabelle 8)

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asympt. Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	26,526 ^a	8	,001
Likelihood-Quotient	28,385	8	,000
Zusammenhang linear-mit-linear	6,168	1	,013
Anzahl der gültigen Fälle	239		

a. 0 Zellen (,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 8,96.

Tabelle 8: Testergebnis für die Exposition (χ^2 -Test)

8.4 Modellbildung

Aus den vorhergegangenen Tests folgt, dass von den ursprünglichen Variablen, die für das Modell ausgewählt wurden, folgende Variablen in den Modellierungsprozess mit einbezogen werden:

- Höhe
- Hangneigung
- Exposition

- Entfernung zu Flüssen

Um in eine Trainings- und eine Teststichprobe zu unterteilen, wurde mittels Zufallsgenerator eine Variable erstellt, die jedem Fall entweder 0 oder 1 zuweist. So wurden 130 Fälle in die Modellbildung einbezogen, 109 Fälle dienten als Teststichprobe.

Die logistische Regression wurde mit dem Befehl *Analysieren* → *Regression* → *Binär logistisch* aufgerufen.

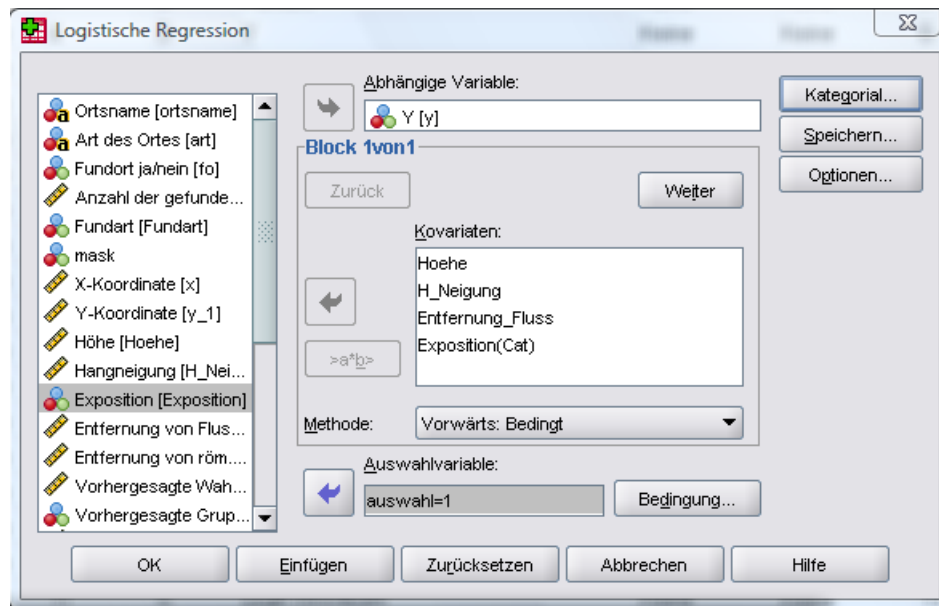


Abbildung 27: SPSS-Dialog zur logistischen Regression

Als Methode zur Modellbildung wurde die bedingte Vorwärtsmethode gewählt, bei der die Variablen sukzessive ins Modell integriert werden. Mit der Auswahlvariable wird die Trainingsstichprobe ausgewählt. Bei der Option *Kategorial* wird festgelegt, in welcher Form nominale Variablen in Designvariablen kodiert werden. Hier wurde *Indikator* gewählt, was dem *reference cell coding* entspricht. Als Referenz wurde dabei die Kategorie *Eben* gewählt.

Bei der Modellbildung wurden in zwei Schritten nur die Variablen Höhe und Hangneigung in das Modell aufgenommen. Sowohl die Exposition als auch die Entfernung zu Flüssen ergaben keine signifikante Verbesserung des Modells. (Ein Versuch mit der Rückwärtsmethode kam zum gleichen Ergebnis)

Variablen in der Gleichung							
		Regressions- koeffizient B	Standardfehler	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Schritt 1 ^a	H_Neigung	-,141	,028	25,328	1	,000	,868
	Konstante	1,436	,305	22,158	1	,000	4,203
Schritt 2 ^b	Hoehe	-,002	,001	8,348	1	,004	,998
	H_Neigung	-,102	,031	11,075	1	,001	,903
	Konstante	2,316	,447	26,852	1	,000	10,132

a. In Schritt 1 eingegebene Variablen: H_Neigung.

b. In Schritt 2 eingegebene Variablen: Hoehe.

Tabelle 9: Regressionskoeffizienten und Variablen des Modells

Die daraus resultierende Modellgleichung (Score-Komponente) lautet:

$$V = 2,316 - 0,102 * \text{Hangneigung} - 0,002 * \text{Hoehe}$$

8.5 Modellgüte und prädiktive Effizienz

Über die Modellgüte gibt der Hosmer-Lemeshow-Test Auskunft. Dieser wird auf Wunsch von SPSS bei der logistischen Regression durchgeführt. Dabei werden die Stichproben in 10 Gruppen geteilt und für jede Gruppe die Differenz zwischen erwarteter und beobachteter Häufigkeit überprüft. Je besser die Modellanpassung ist, desto geringer ist diese Differenz. Hier wird versucht, die Nullhypothese, dass es keine signifikante Differenz gibt, zu bestätigen. Es sollte daher der Signifikanz-Wert hoch sein. Dies ist hier der Fall (siehe Tabelle 10)

Hosmer-Lemeshow-Test			
Schritt	Chi-Quadrat	df	Sig.
1	8,991	8	,343
2	4,389	8	,820

Tabelle 10: Hosmer-Lemeshow-Test

Die Klassifizierungstabelle gibt Auskunft über die Rate der korrekten Klassifikation (*Correct Classification Rate*) (BALTES-GÖTZ 2008, S. 36) und ist Ergebnis einer Kreuzvalidierung. Dabei wird angegeben, wie viele der Fälle durch das Modell richtig vorhergesagt werden. Dabei werden die Trainingsstichprobe (Ausgewählte Fälle) und die Teststichprobe (Nicht ausgewählte Fälle) separat aufgelistet. (siehe Tabelle 11)

Das vorliegende Modell erreicht einen Gesamtprozentsatz von 76,9% bei der Trainingsstichprobe und 76,1% bei der Teststichprobe.

Interessant ist hierbei jedoch, dass die Fundorte (Y=1) deutlich besser vorhergesagt werden, als die Hintergrundorte (Y=0), und zwar 85,3% in der Trainingsstichprobe und sogar 88,2% in der Teststichprobe.

Klassifizierungstabelle^c

			Vorhergesagt			
			Ausgewählte Fälle ^a		Nicht ausgewählte Fälle ^b	
			Y		Y	
			0	1	0	1
Beobachtet			Prozentsatz der Richtigen		Prozentsatz der Richtigen	
Schritt 2	Y	0	42	20	38	20
		1	10	58	6	45
Gesamtprozentsatz			76,9		76,1	

a. Ausgewählte Fälle auswahl EQ 1

b. Nicht ausgewählte Fälle auswahl NE 1

c. Der Trennwert lautet ,500

Tabelle 11: Klassifizierungstabelle

8.6 Anwendung der Regressionsgleichung im GIS

Die aufgestellte Regressionsgleichung wird nun im GIS umgesetzt. In ArcGIS wird der Score V mithilfe des Kartenalgebra-Moduls *Spatial Analyst* → *Raster Calculator* berechnet. Die entsprechende Syntax lautet:

$$[\text{score}] = -0.102 * [\text{neigung}] - 0.002 * [\text{hoehe}] + 2.316$$

Aus diesem Score wird nun die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein von Fundmünzen berechnet:

$$[\text{modell}] = \exp([\text{score}]) / (1 + \exp([\text{score}]))$$

Das Ergebnis ist eine Karte, in der die Wahrscheinlichkeiten für Münzfunde dargestellt werden. Hierbei sind Bereiche mit hohen Fundwahrscheinlichkeiten in Rot eingetragen, Bereiche, in denen die Wahrscheinlichkeit eher gering ist, sind blau. (siehe Abbildung 28, Anhang Seite 137)

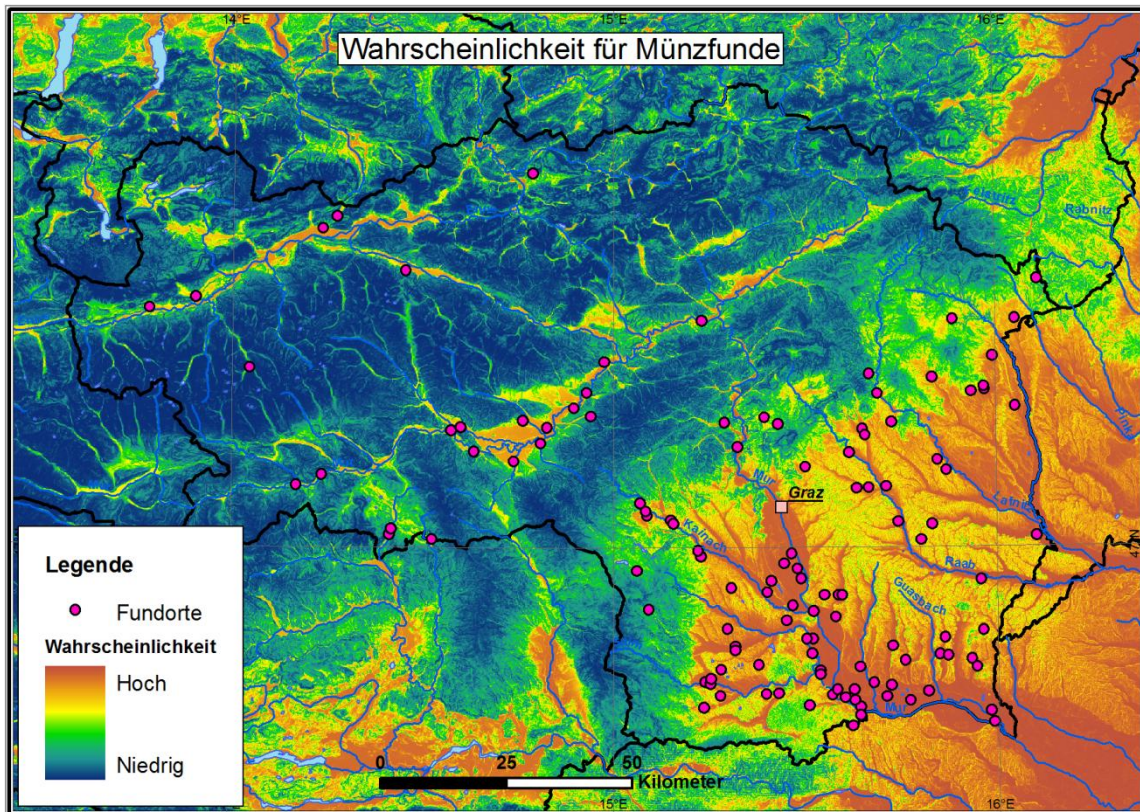


Abbildung 28: Modell der Wahrscheinlichkeit für Münzfunde (eine größere Abbildung dieser Karte findet sich im Anhang auf Seite 137)

8.7 Beurteilung des Modells

Eine Möglichkeit, das Modell zu beurteilen, bietet eine Darstellung der korrekten Vorhersagen von Fundorten und Hintergrundorten in Abhängigkeit der vorhergesagten Fundwahrscheinlichkeit. Hier ist es auch möglich, einen geeigneten Schwellenwert zu finden, bei dem die Vorhersagen optimal sind. So lässt sich anhand des Diagramms feststellen, dass das optimale Vorhersageergebnis bei einer Fundwahrscheinlichkeit von ca. 63% liegt. Hier werden sowohl Hintergrundorte als auch Fundorte mit einer Trefferquote von knapp unter 80% vorhergesagt. (siehe Abbildung 29)

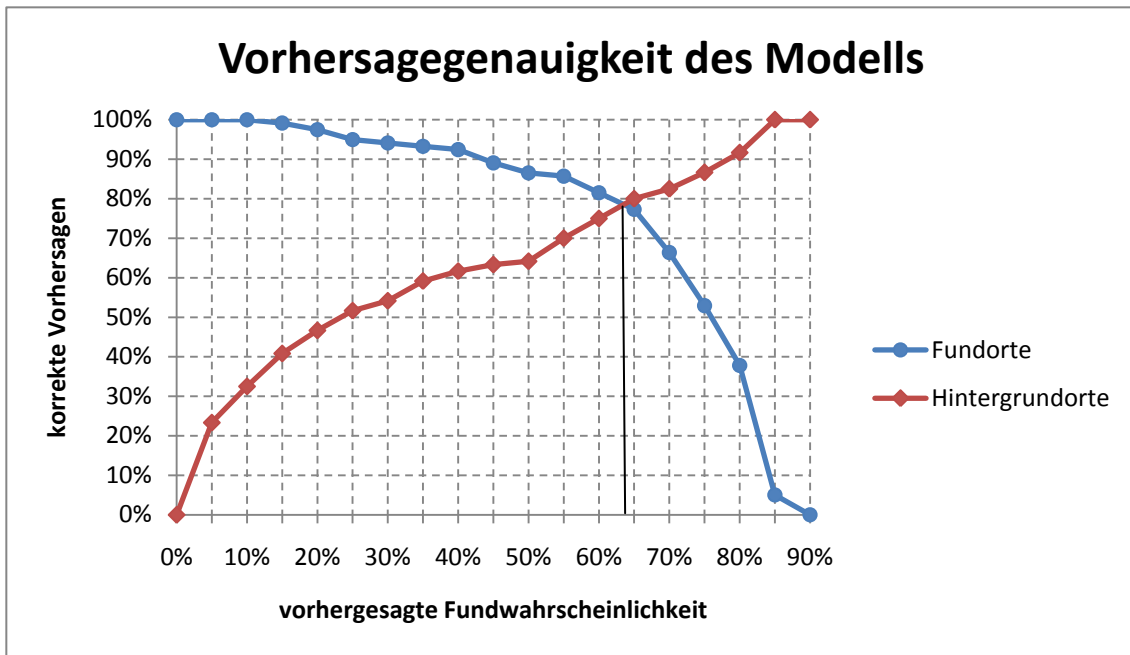


Abbildung 29: Vorhersagegenauigkeit des Modells

Mit diesem Wert als Schwellenwert lässt sich der Raster reklassifizieren, sodass ein Modell entsteht, das nur mehr zwei Werte hat: hohe Wahrscheinlichkeit und niedrige Wahrscheinlichkeit.

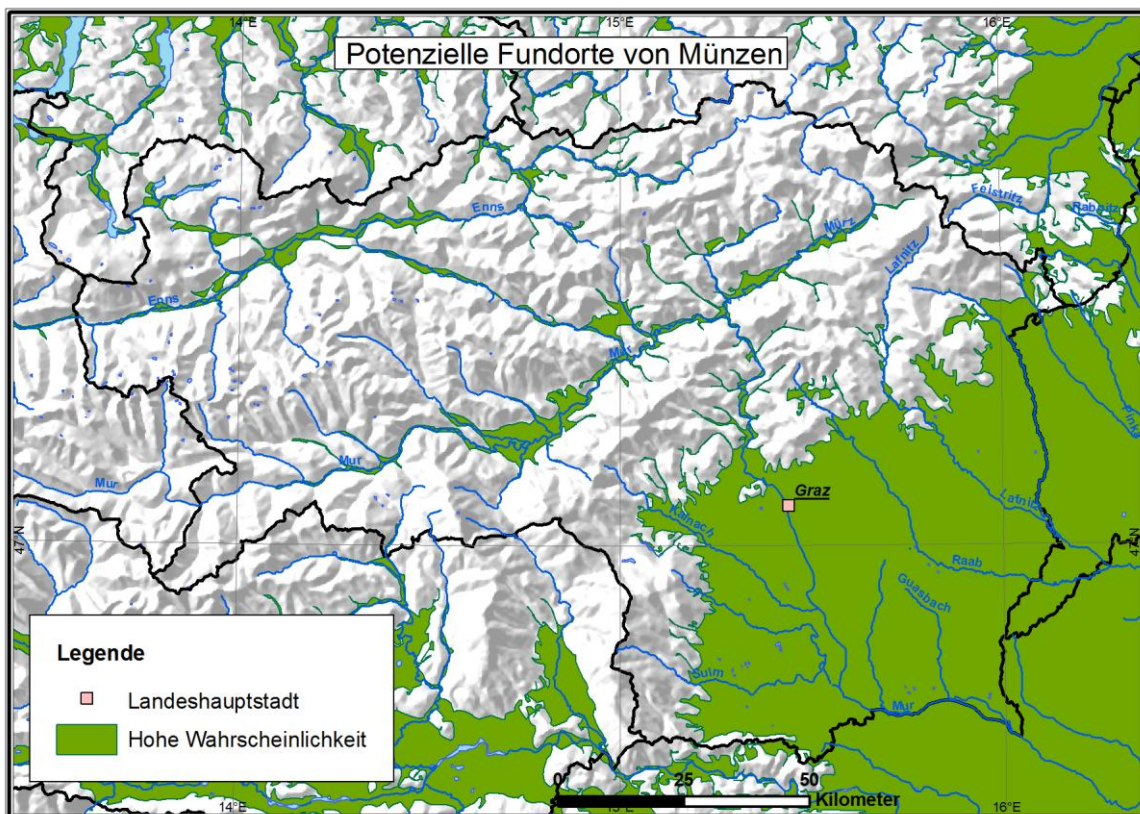


Abbildung 30: Generalisiertes Vorhersagemodell für Münzfunde

8.8 Interpretation der Ergebnisse

Obwohl das Modell formal die Kriterien für ein gutes Modell erfüllt, so ist es doch mit einer gewissen Vorsicht zu interpretieren. Wie bereits erwähnt, wurden nahezu alle Fundorte mit den Zentren der Hauptorte der jeweiligen Katastralgemeinde gleichgesetzt, was gerade bei dieser Art der Modellierung problematisch ist. Bereits geringe Änderungen der Lage können starke Einflüsse auf die gemessenen Landschaftsattribute nach sich ziehen.

Auch die Wahl der Hintergrundorte bzw. die Art und Weise, in der diese Wahl getroffen wurde, ist nicht optimal. Die Orte wurden zufällig ausgewählt. Es gibt keine Möglichkeit zu wissen, ob an diesen Orten Münzen im Boden sind oder nicht. Eine entsprechende Erfassung hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

Aus theoretischer Sicht könnte dem Modell Naturdeterminismus vorgeworfen werden, da sich die verwendeten Attribute nur auf die Naturlandschaft, nicht aber auf die soziale Landschaft beziehen. Da solche Überlegungen in der Numismatik jedoch zur Zeit nicht angestellt werden, muss das Modell auf diese naturdeterministischen Auslegung beschränkt bleiben.

Dennoch zeigt dieses Modell, dass diese Prozeduren in der Numismatik, zumindest die theoretischen Überlegungen, durchaus eine Funktion haben können. Die endgültige Beurteilung des Modells können jedoch nur entsprechende aufwendige Feldforschungen ermöglichen.

9 Wie kamen die Münzen dorthin? –

Zugänglichkeitsanalyse, *Least Cost Path*

In der Numismatik wird häufig die Frage gestellt, welchen Weg Münzen von ihrem Prägeort zu ihrem Fundort genommen haben. Natürlich können mittels einer *least cost path* nicht komplexe Zirkulationsmuster modellieren. Es wäre vermessen, anzunehmen, dass dies möglich wäre, da eine Münze in den seltensten Fällen wohl den kürzesten Weg vom Prägeort zu ihrem Verlustort genommen hat. Vielmehr wird sie viele Stationen gehabt haben, viele Wege genommen und häufig Hände gewechselt haben.

Das Modell des *least cost path* ist deshalb jedoch nicht ganz unbrauchbar für die Numismatik. Statt zu versuchen, den genauen Weg einzelner Münzen zu modellieren, könnte mithilfe dieser Analysen generelle Verbreitungstendenzen in der Zirkulation bestimmter Münztypen oder Emissionen modelliert werden. Diese Modelle können auch Hinweise auf Handelsrouten geben, für die es sonst nur wenige Hinweise gibt.

Für diese Untersuchung wird davon ausgegangen, dass die Münzen von der Stadt Flavia Solva, die in der Nähe von Leibnitz gefunden wurde, in die weitere Umgebung getragen wurde. Als Zielorten werden vier entlegene Fundstellen ausgewählt, die hier die Möglichkeiten dieser Analyse für die Numismatik aufzeigen sollen. Die Fragestellung wird daher folgendermaßen formuliert:

Wie verlaufen die energieeffizientesten Routen von Flavia Solva zu den entlegenen Fundorten Gams, Pyhrn, Weisenbach und St. Nikolai, unter der Annahme, dass diese Routen zu Fuß zurückgelegt werden?

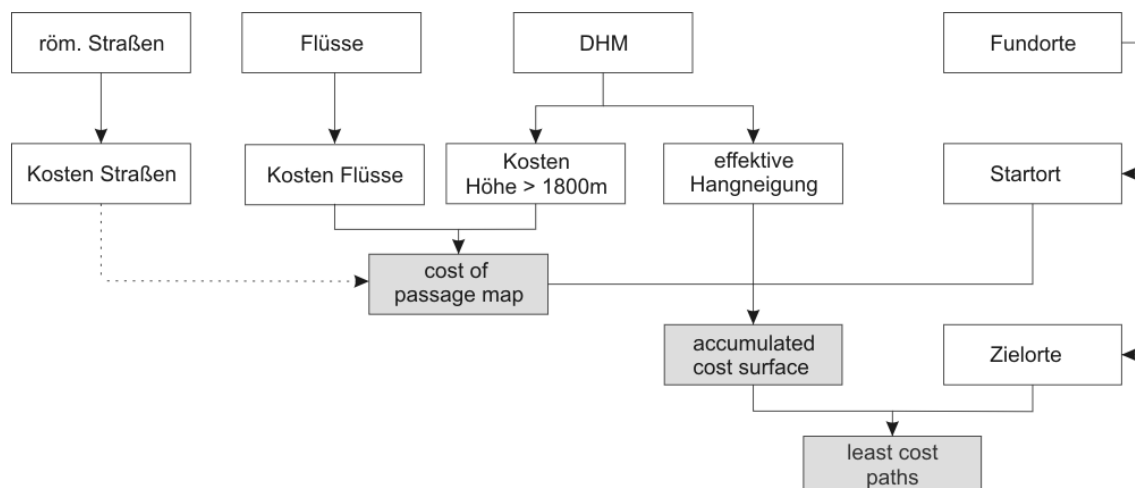


Abbildung 31: Ablaufschema einer *least cost path* Analyse

9.1 Datenauswahl

Zunächst wird eine Auswahl getroffen, welche Daten für die Ermittlung eines kostengünstigsten Weges von Bedeutung sind.

Das wesentlichste Element in diesem Fall ist die Hangneigung. Ein weiteres Element, das in solchen Analysen oft benutzt wird, ist die Bodenbedeckung. Für diese Untersuchung wird jedoch die Bodenbedeckung nicht benutzt, da davon ausgegangen werden muss, dass diese sich seit der Antike in Österreich stark verändert hat. In Ermangelung genauerer Daten, welche Flüsse an welchen Stellen leichter oder schwerer zu überqueren sind, werden die Flüsse (der Datensatz beinhaltet ohnehin nur größere Gewässer) als Barrieren (mit sehr hohem Kostenfaktor) in die Berechnung integriert. Für eine weitere Analyse werden zusätzlich die römischen Straßen als begünstigender Faktor (ebenfalls isotrop) mit einbezogen.

Aufgrund der Geländesituation im alpinen Bereich wie z.B. Felsen oder Karstformen, wird angenommen, dass auch hier die Begehrbarkeit erschwert wird. Als Grenze für diesen Bereich wird die allgemeine Waldgrenze angenommen, die in den Ostalpen bei ungefähr 1800m Seehöhe liegt. (MAYER 1974)

Somit bilden die Hangneigung, Höhe, Gewässer und römische Straßen die Daten, die für die Berechnung der Kosten herangezogen werden.

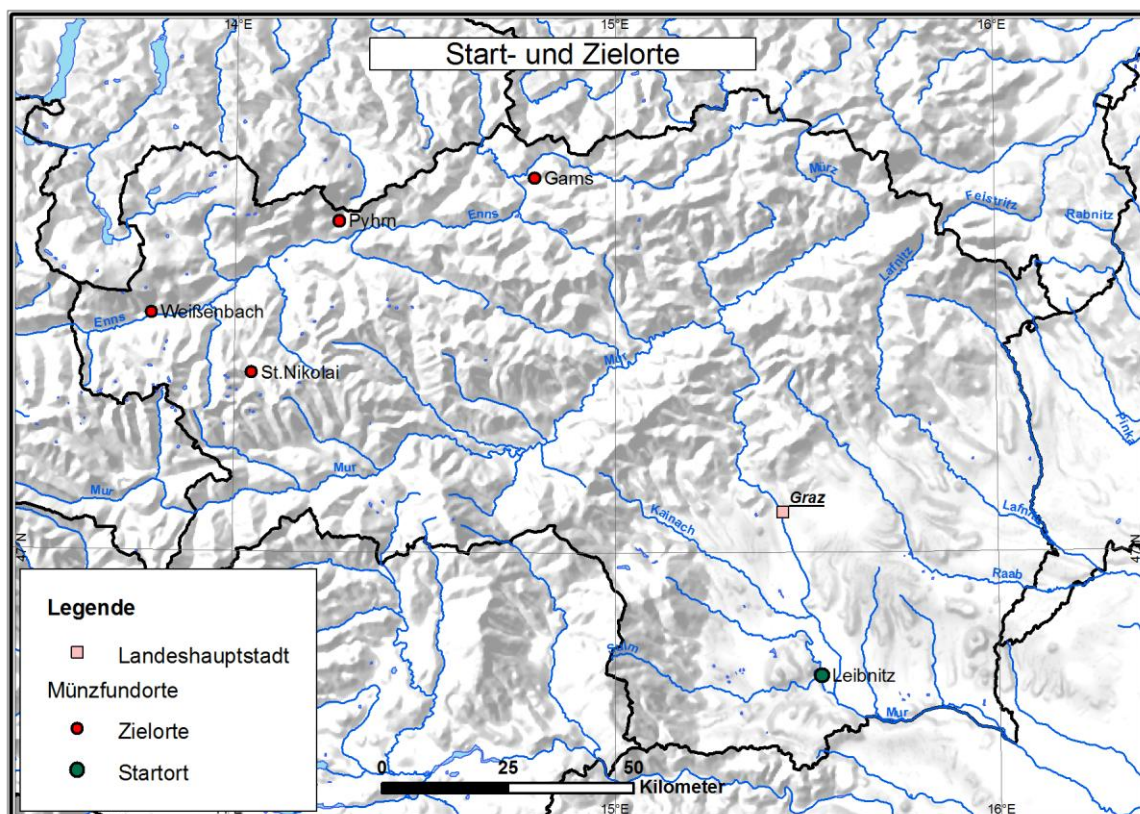


Abbildung 32: Start- und Zielorte für *least cost paths*

Als Ausgangspunkt für die Wege wird Flavia Solva, einer Siedlung im heutigen Gemeindegebiet von Wagna bei Leibnitz, angenommen. Sie lag im keltischen Königreich Noricum, das ab 15 v. Chr. römische Provinz wurde. Um 70 n. Chr. erhielt Flavia Solva römisches Stadtrecht und wurde damit zum *municipium*. Als solches war sie die wichtigste Siedlung auf dem Gebiet der heutigen Steiermark. (MARKTGEMEINDE WAGNA 2007)

Als Zielpunkte werden vier Münzfundorte in der Obersteiermark ausgewählt, Gams, Pyhrn, Weißenbach und St. Nikolai. (siehe Abbildung 32)

9.2 Isotrope Kostenfaktoren

Isotrope oder richtungsunabhängige Kostenfaktoren in diesem Modell sind die Höhe und die Flüsse. Die Flüsse sind nicht isotrop im eigentlichen Sinn, es gibt schon einen Unterschied, ob der Fluss gequert wird, ob er flussauf- oder flussabwärts begangen wird. Da die Flüsse durch sehr hohe Kosten quasi als Barrieren modelliert werden, sollte der Algorithmus ohnehin den Pfad so wählen, dass er den Fluss höchstens quert und nicht im Fluss verläuft.

Um die Flüsse in die Kostenberechnung mit einbeziehen zu können, müssen die Daten, die als Vektoren vorliegen, in Rasterdaten umgewandelt werden. Dies geschieht mit der Funktion *Spatial Analyst* → *Convert* → *Feature to Raster*. Anschließend wird der Raster reklassifiziert, den Flüssen wird der Kostenfaktor 10 zugewiesen, allen anderen Gebieten 1.

Für die Höhe wird mit dem *raster calculator* ein neuer Raster erstellt. Dieser wird mit einem *conditional statement* so reklassifiziert, dass alle Bereiche bis 1800m den Wert 1 zugewiesen bekommen, alle anderen Werte bekommen nach folgender Formel Kosten zugewiesen:

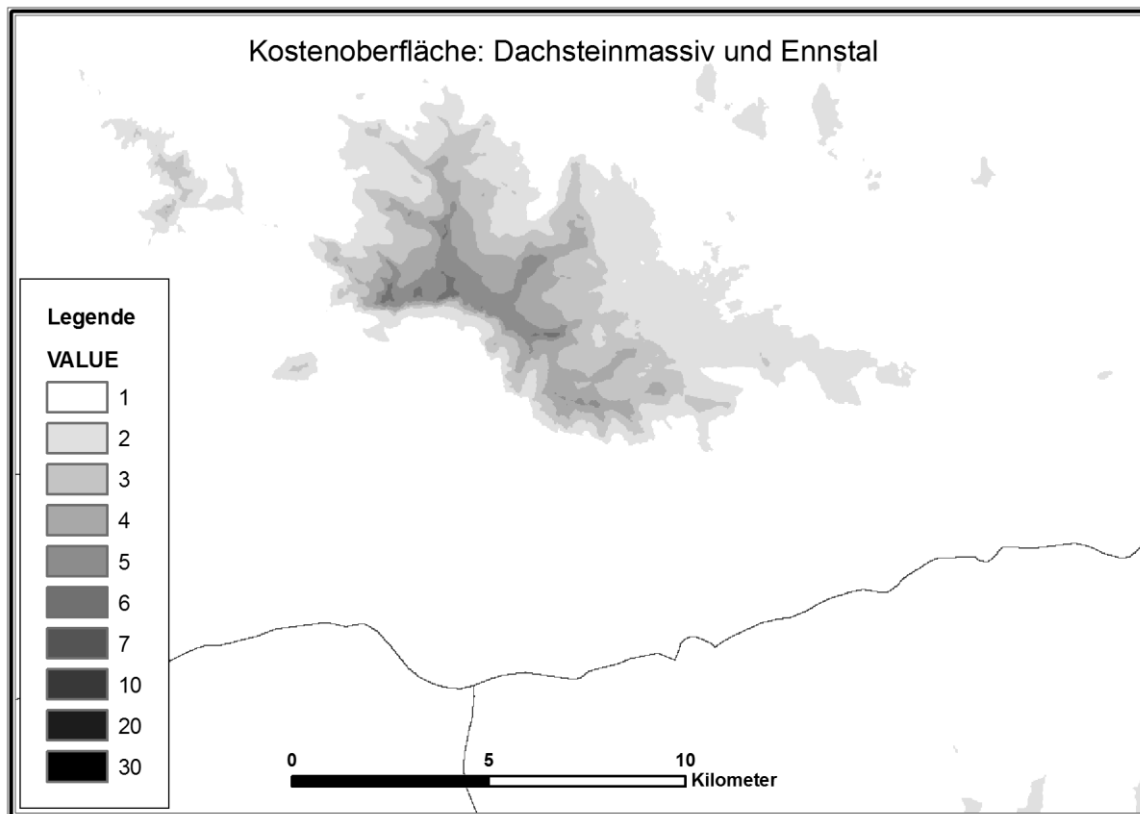
$$\text{Kosten} = 1 + \frac{\text{Höhe} - 1800}{200}$$

Wobei hier das Ansteigen der Kosten über den Wert 200 im Nenner gesteuert wird.

Der Befehl dazu im *raster calculator* lautet:

```
[kosten] = con ( [hoehe] <= 1800, 1, (1 + ([hoehe] - 1800) / 200) )
```

Die endgültige *cost of passage map* für die isotropen kosten wird durch einfache Multiplikation der beiden Raster im *raster calculator* erstellt.

Abbildung 33: *Cost of passage map* (isotrope Kosten)

In einer weiteren *cost of passage map* werden zusätzlich noch die römische Straßen als begünstigender Faktor integriert. Dazu wird den Straßen ein Kostenfaktor von 0,5 zugewiesen.

9.3 Anisotrope Kostenfaktoren

Als anisotroper oder richtungsabhängiger Faktor kommt bei dieser Untersuchung nur die effektive Hangneigung zum Einsatz. Die effektive Hangneigung wird in ArcGIS im Modul *path distance* über die Komponente *vertical factor* realisiert. Der Eingaberaster für diese Funktion ist das Höhenmodell, nicht der abgeleitete Hangneigungsraster.

Für den *vertical factor graph* wird eine Wertetabelle angelegt, die aus der Gleichung in Kapitel 5.4.3 abgeleitet ist. Dazu wird die Gleichung etwas abgeändert, da der tatsächliche Energieaufwand in Watt für diese Untersuchung nicht relevant ist. Die Werte werden dahingehen normiert, dass die Werte bei einer Hangneigung von $+40^\circ$ und -50° (also symmetrisch um -5° , der Hangneigung mit dem geringsten Energieaufwand) einen Kostenfaktor von 100 aufweisen. Zusätzlich wird noch 1 addiert, sodass der Kostenfaktor

mindestens 1 ist. Die Gleichung, die für die Erstellung der Wertetabelle benutzt wird ist damit (wobei Gr die Hangneigung in Grad ist):

$$M = 1 + |\tan(Gr + 5^\circ) * 100|$$

Die Wertetabelle wird in 2,5-Grad Schritten angegeben, von -50° bis $+40^\circ$. Hangneigungen, die außerhalb dieses Wertebereichs liegen, werden über den Wert -1 unendlich hohe Kosten zugewiesen. Treten Hangneigungen auf, die zwischen den Schritten liegen, werden die Zwischenwerte linear interpoliert.

9.4 Accumulated cost surface

Es wird zunächst ein Raster erstellt, der nur eine Zelle mit einem Wert enthält, nämlich den Ort Wagna. Allen anderen Zellen wird „*NoData*“ zugewiesen. Dieser Raster dient als *source raster*.

Mit dem Modul *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Distance* → *Path Distance* wird der Raster mit den akkumulierten Kosten und der Backlink-Raster berechnet. Für den *input cost raster* wird die *isotrope cost of passage map* verwendet. Sowohl für den *input surface raster* als auch für den *input vertical raster* wird das Höhenmodell verwendet, als *vertical factor* wird die Wertetabelle benutzt. Die *horizontal factor parameters* bleiben in diesem Fall leer.

Das Ergebnis nach dieser aufwendigen Berechnung ist eine *acumulated cost surface* und ein *backlink raster*, in dem für jede Zelle die Richtung angegeben wird, aus der die Zelle mit den geringsten Kosten erreicht wird.

Diese Berechnung wird zweimal durchgeführt, einmal mit der *cost of passage map*, in der die römischen Straßen berücksichtigt sind, und einmal mit der *cost of passage map* ohne Straßen als Kostenfaktor.

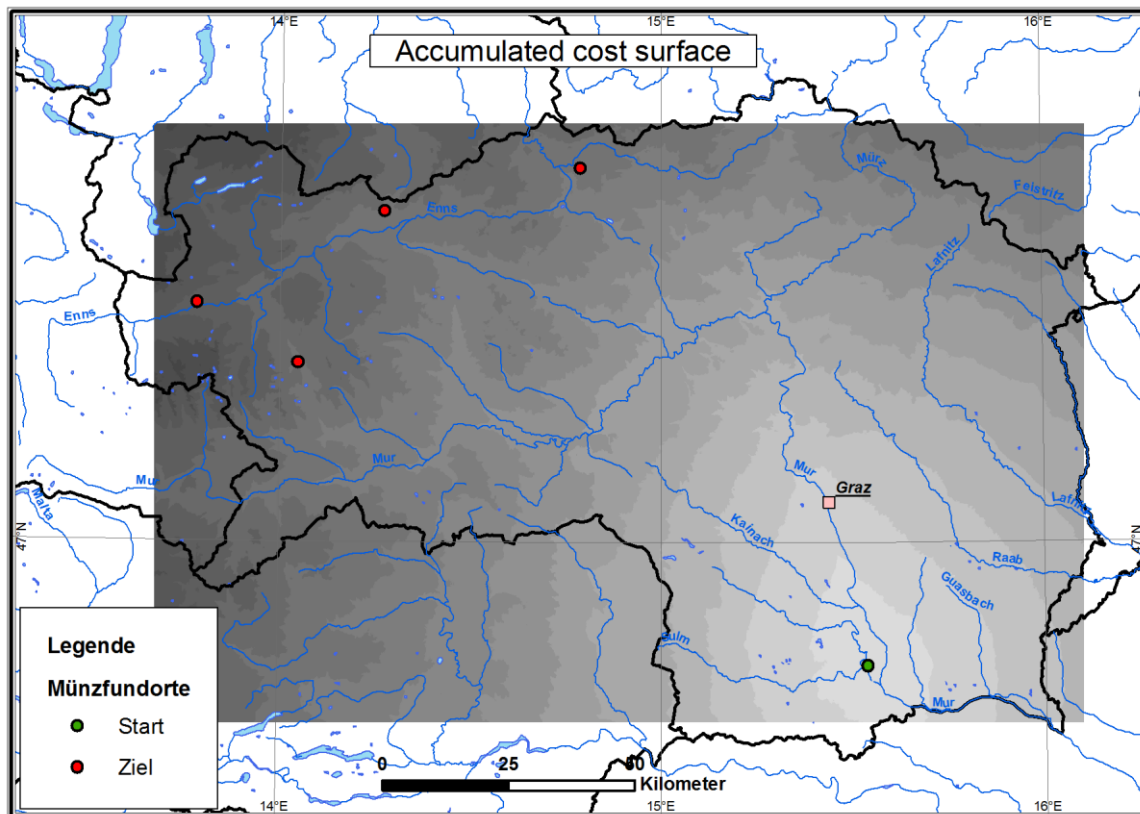


Abbildung 34: *Accumulated cost surface* (Die römische Straßen sind hier berücksichtigt.)

9.5 Least cost path

Ist eine *accumulated cost surface* und ein *backlink raster* erstellt, können nun die kostengünstigsten Pfade vom Startpunkt, der im vorhergehenden Schritt bestimmt wurde, zu einem oder mehreren Zielpunkten bestimmt werden. Mit dem Modul *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Distance* → *Cost Path* werden unter Angabe der *accumulated cost surface* und des *backlink rasters* die kostengünstigsten Wege zu den angegebenen Zielpunkten berechnet.

Je nachdem, ob die bekannten antiken römischen Verkehrswege in die Kostenberechnung einbezogen wurden, unterscheiden sich die gefundenen Pfade. Wie zu erwarten war, folgen die Pfade über große Teile der Strecken den römischen Straßen, wenn diese in die Kostenberechnung einbezogen wurden (Abbildung 35 unten). Allerdings fallen die Wege vor allem in Gebieten mit starkem Relief mit den römischen Verkehrswegen zusammen, auch wenn diese in der Kostenberechnung nicht berücksichtigt wurden. (Abbildung 35 oben)

Eine Karte in größerem Format findet sich im Anhang. (Seite 139)

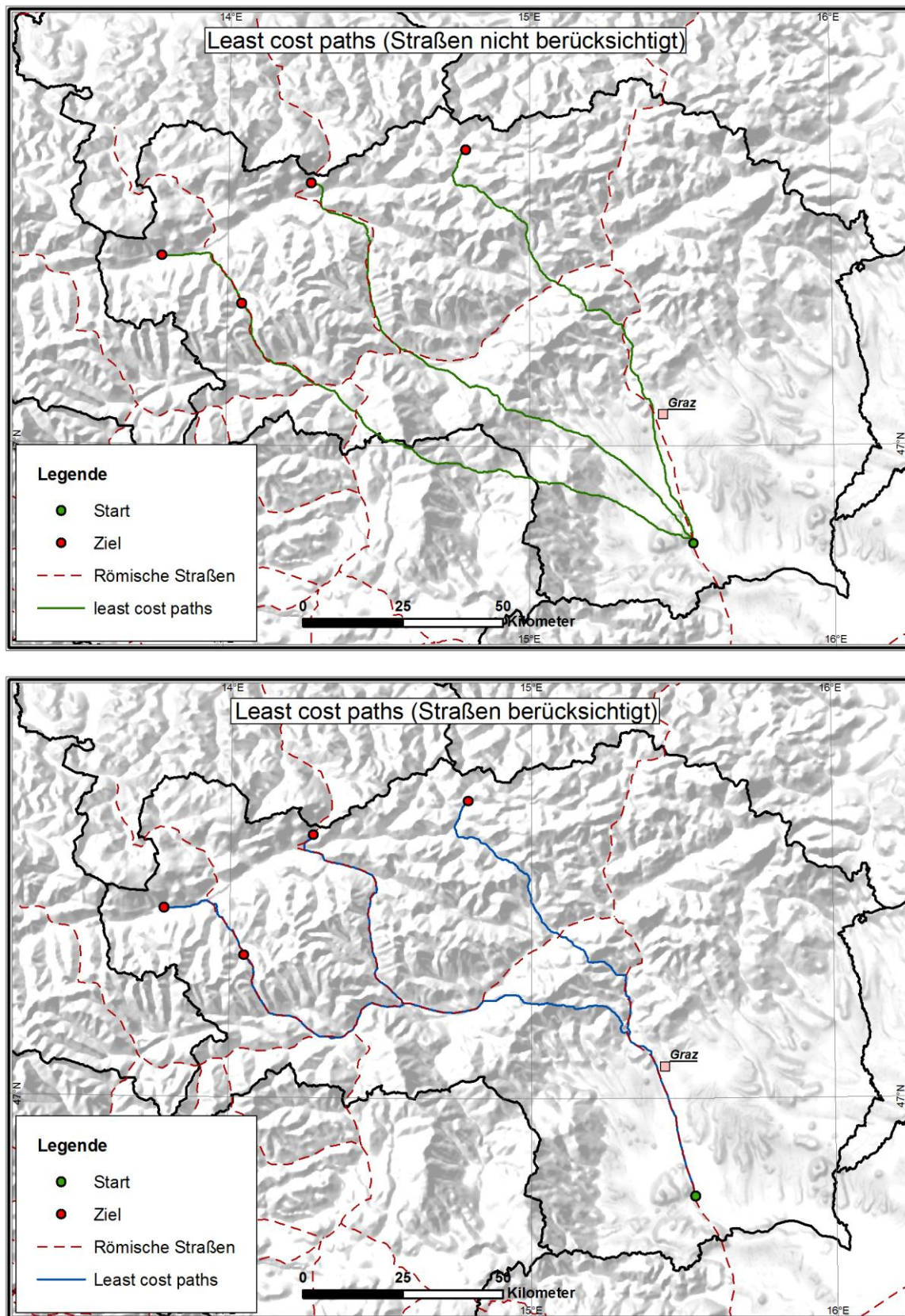


Abbildung 35: Least cost paths. Oben: Straßen wurden nicht in die Kostenberechnung einbezogen. Unten: bekannte römische Straßen wurden in die Kostenberechnung einbezogen.

9.6 Interpretation des Ergebnisses

Die Ergebnisse zeigen, dass *least cost paths* dazu genutzt werden können, um einen möglichen Weg der Münzen von ihrem Ursprungsort zu ihrem Fundort zu modellieren. Auch zeigt es, wie Münzen als Quellen für nicht-numismatische Fragestellungen genutzt werden können. So können Münzen, gemeinsam mit anderen Quellen, Auskunft über Handelsrouten geben. So zeigt Abbildung 36, dass entlang der berechneten Routen (z.B. Kainachtal) mehrere Münzen gefunden wurden, was darauf schließen lässt, dass diese Wege tatsächlich begangen wurden, auch wenn sich sonst bis jetzt keine archäologischen Hinweise darauf finden.

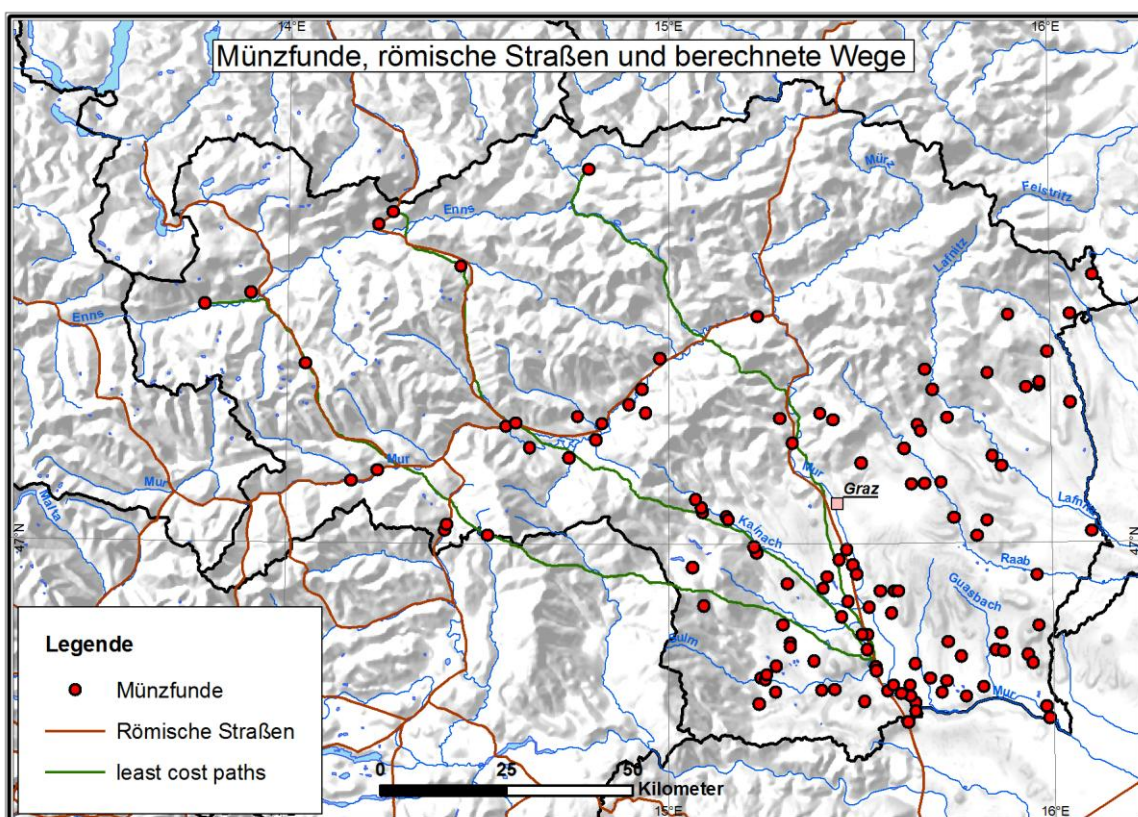


Abbildung 36: Münzfunde, römische Straßen und die berechneten *least cost paths*

10 Wo wurden die Münzen benutzt? – Münzumschlag und Zirkulationsgebiete

Das Zirkulationsgebiet von Münzen ist das Gebiet, in dem die Münzen in Umlauf waren. Für einen bestimmten Münztyp oder eine Münzgruppe umfasst das Zirkulationsgebiet den Prägeort, die Orte an denen mit den Münzen gehandelt wurde, die Wege auf denen sie transportiert wurden und die Verlustorte der Münzen.

In den vorhergehenden Kapiteln wurde bereits auf die Schwierigkeiten der Bestimmung der einzelnen Komponenten eingegangen, wobei sich die Orte, an denen die Münzen nicht dauerhaft verblieben sind, am schwierigsten festmachen lassen. Neben räumlichen Faktoren (Zirkulationsgebiete) hat der Münzumschlag auch zeitliche Gesichtspunkte (*coin drift*, Zirkulationsdauer).

Die Untersuchung des Umlaufs von Münzen ist nur unter Einbeziehung unterschiedlicher, auch nicht-numismatischer Quellen möglich. Leider bietet die Numismatik nur sehr allgemeine theoretische Überlegungen an, wie Zirkulationsgebiete ermittelt werden können. Aus diesen wenigen Überlegung lässt sich keine Methodik ableiten, die im GIS umgesetzt werden könnte. Es sollen hier dennoch zwei Ansätze vorgestellt werden, die sich primär auf die räumlichen Komponenten beschränkt. Der eine Ansatz basiert auf den Modellen, die in den vorhergehenden Kapiteln präsentiert wurden. Der Zweite Ansatz basiert auf einfachen Verschneidungsfunktionen, die ein GIS anbietet.

10.1 Komponenten des Modells

Da die Prägeorte der gefundenen Münzen entweder nicht genau bekannt sind oder außerhalb des Untersuchungsgebietes liegen, beschränkt sich dieses Modell auf die Verlustorte (entsprechen den Fundorten) und die Handelswege.

Um die Handelswege zu modellieren, wird auf *least cost paths* zurückgegriffen. Es wird die *accumulated cost surface* verwendet, die die Kostenfaktoren für die römischen Straßen beinhaltet. Als Zielorte werden alle Fundorte in der Steiermark ausgewählt. Als Startpunkt dient wieder Flavia Solva.

Die berechneten Wege werden in Vektordaten umgewandelt. Anschließend wird mit dem Befehl *ArcToolbox → Analysis Tools → Proximity → Buffer* ein Puffer von 500m links und rechts der Wege erstellt

Für den Hauptteil des Zirkulationsgebietes wird das Modell benutzt, das das Ergebnis der vorhersagenden Fundortmodellierung ist. Es kommt die generalisierte Version zum Einsatz,

die nur zwischen hoher und niedriger Wahrscheinlichkeit unterscheidet und die in Vektordaten umgewandelt wurde. (siehe Abbildung 30)

Die Komponenten werden nun mit der Overlay-Funktion *ArcToolbox* → *Analysis Tools* → *Overlay* → *Union* vereinigt. Das Ergebnis ist eine Fläche, die als Zirkulationsgebiet römischer Münzen in der Steiermark interpretiert werden kann.

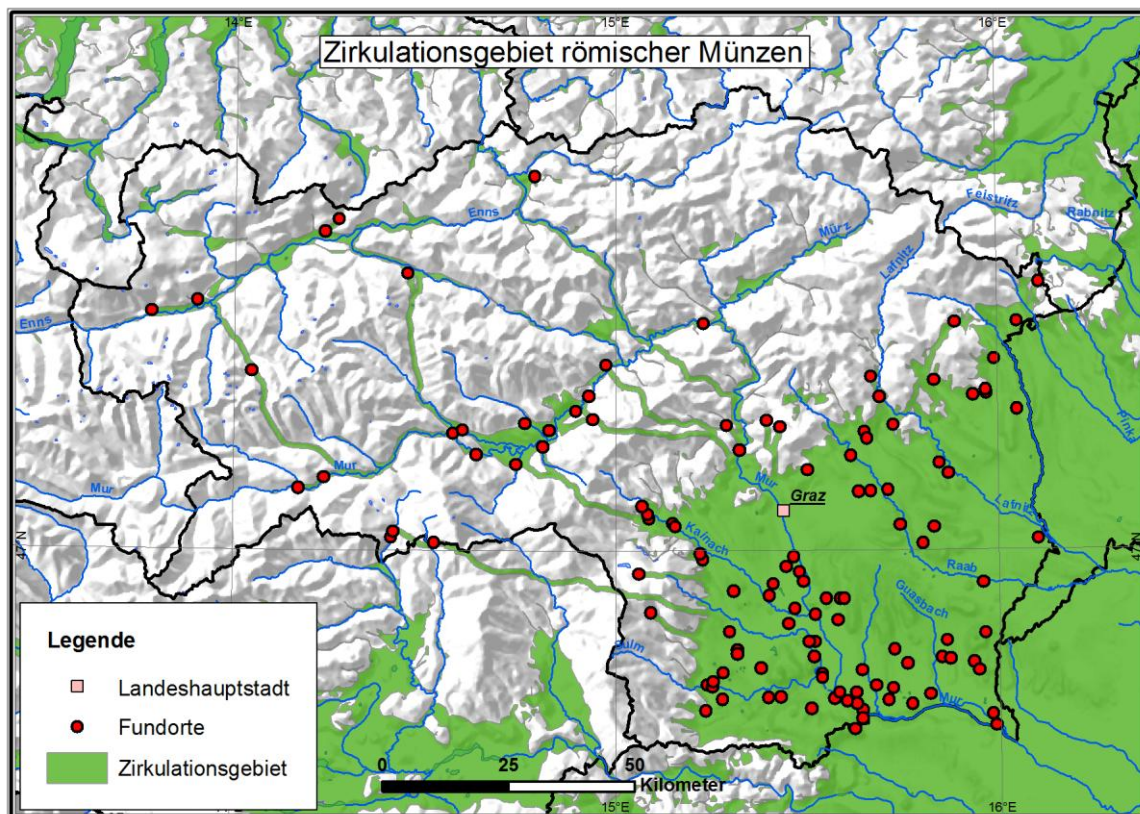


Abbildung 37: Modell des Zirkulationsgebietes. Erstellt aus dem Vorhersagemodell und den *least cost paths*.

10.2 Vereinfachtes Modell des Zirkulationsgebietes

Die Erstellung des vereinfachten Modells des Zirkulationsgebietes römischer Münzen in der Steiermark geschieht mit einfachen Verschneidungsfunktionen des GIS. Dabei wird zuerst ein Puffer von 5km um die Fundorte gelegt. Die so entstehenden Flächen werden anschließend mit der Funktion *ArcToolbox* → *Data Management Tools* → *Generalization* → *Aggregate Polygon* zu größeren Flächen aggregiert.

Als letzter Schritt wird die Höhe des höchsten Fundortes festgestellt. Diese beträgt in diesem Fall 1128m. Das Höhenmodell wird reklassifiziert, so dass Bereiche, die höher als 1128m liegen, von tiefer liegenden Bereichen getrennt werden können. Die Bereiche über 1128m werden in einer Vektordatensatz konvertiert. Mit der Funktion *ArcToolbox* → *Analysis Tools*

→ *Overlay* → *Union* werden die Datensätze verschnitten und anschließend alle Bereiche entfernt, die höher als 1128m liegen.

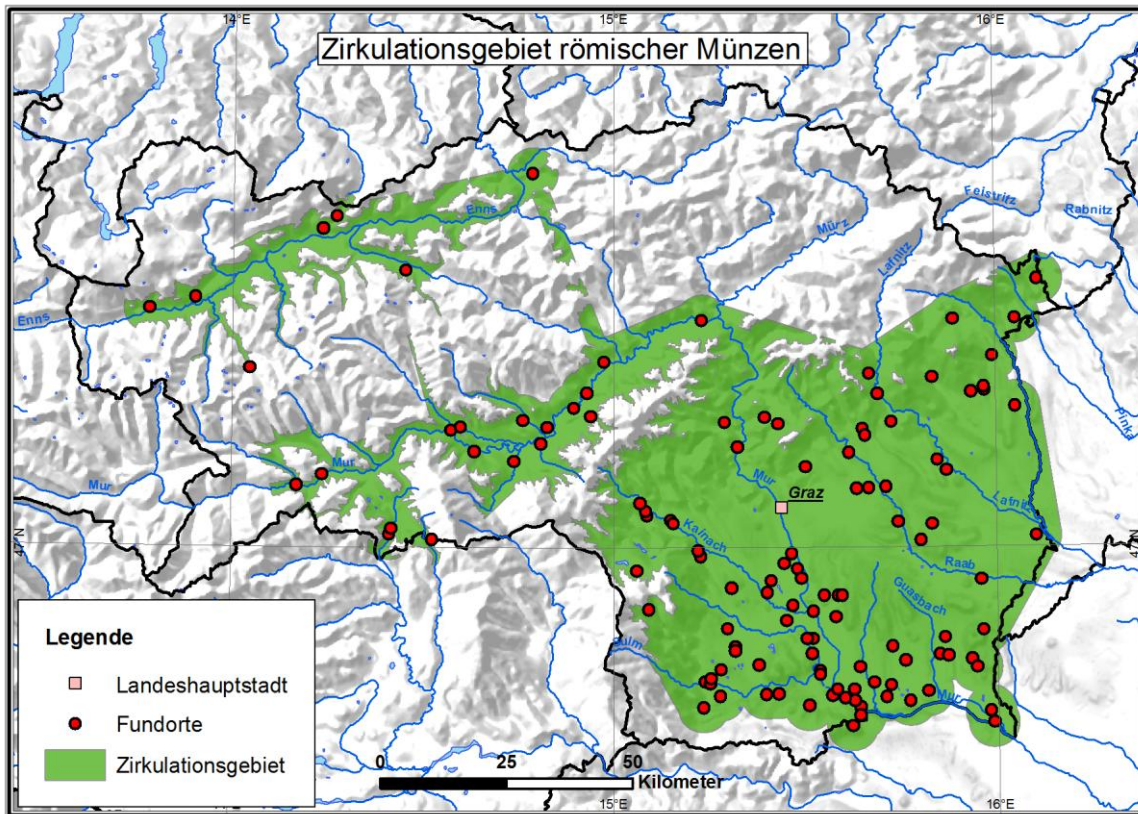


Abbildung 38: Vereinfachtes Modell des Zirkulationsgebietes, das mit Hilfe von Overlay-Operationen erstellt wurde

10.3 Bewertung der Modelle

Die Aussagekraft der beiden Modelle ist sehr gering, da sie in Ermangelung eines theoretischen Hintergrundes ohne einen solchen erstellt wurden. Die Distanzen, die für die Pufferbildung und die Aggregation gewählt wurden, sind willkürlich gewählt. Zudem kann die Komplexität der Münzzirkulation mit diesen Ansätzen nicht erfasst werden.

Der Informationsgewinn gegenüber der Darstellung der einzelnen Fundorte (Abbildung 21) ist vernachlässigbar.

11 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ausführungen der vorangegangenen Kapitel zeigen das Potenzial der Zusammenarbeit zwischen der Geoinformatik und Numismatik. Sie zeigen aber auch, welche Schwierigkeiten dabei auftreten. Zum Abschluss der Untersuchung soll nun noch ein Resümee gezogen werden und gleichzeitig ein Ausblick auf mögliche weitere Forschung in diesem Bereich gegeben werden.

11.1 Beantwortung der Fragestellung

Zunächst soll die Fragestellung aus der Einleitung noch einmal wiederholt werden.

Wie stellt sich die Datenlage und Datenqualität der numismatischen Daten dar? Welche Probleme ergeben sich für den Einsatz in geographischen Informationssystemen?

Wie lassen sich geographische Informationssysteme in der Numismatik einsetzen?

- Können weitere potenzielle Fundstellen (Fundhoffnungsgebiete) anhand der bekannten Fundstellen modelliert werden?
- Wie kamen Münzen in entlegene Gegenden?
- Ist daraus eine Modellierung der Zirkulationsgebiete möglich und sinnvoll?

11.1.1 Datenlage und Datenqualität

Die meisten Anwendungen geographischer Informationssysteme benötigen genaue und präzise Daten. Selbst wenn die Daten nicht die erforderliche Genauigkeit aufweisen, behandeln die Programme und Algorithmen die Daten so, als wären sie genau und liefern dementsprechende Ergebnisse. Es ist also in der Verantwortung des Benutzers, zu beurteilen, ob die Qualität der vorhandenen Daten für die geplante Analyse geeignet sind.

Obwohl die Daten von Fundmünzen in immer größerem Umfang in Datenbanken zu Verfügung stehen, wurde im Rahmen dieser Untersuchung auch klar, dass die Präzision und Genauigkeit der raumbezogenen Daten nicht so hoch ist, wie es für eine Verwendung in geographischen Informationssystemen wünschenswert wäre. Dieser Umstand hat mehrere Gründe. Zum einen besteht in der Numismatik (zumindest bis jetzt) nicht der Bedarf nach genaueren Daten. Für die Methoden der Numismatik ist die vorhandene Genauigkeit ausreichend. Zum anderen handelt es sich bei Fundmünzdatenbanken meist um historisch

gewachsene Datenbestände, die über einen langen Zeitraum hinweg entstanden sind. Sie gehen in den meisten Fällen auf eine Zeit zurück, in der es keine Computer gab, und die Daten können zum Teil nur aus älteren Fundpublikationen entnommen werden. Zudem lag lange Zeit das Hauptinteresse der Numismatik am Objekt selbst, weniger an der Funktion der Münzen in einem räumlichen Kontext.

So finden sich oft nur ungefähre Ortsangaben, ältere Funddokumentationen sind zum Teil unvollständig, weil nur wenige Stücke von Hort- oder Schatzfunden erfasst wurden. Es sind die Daten demnach nicht nur ungenau, es ist auch kaum möglich, eine quantitative Einschätzung der Genauigkeit zu treffen.

Es ist jedoch mit einigem Aufwand möglich, die Daten in einem GIS zu verwenden, wie diese Untersuchung zeigt. Die daraus abgeleiteten Modelle und Analyseergebnisse müssen aber mit entsprechender Sorgfalt interpretiert werden.

11.1.2 Der Einsatz von GIS in der Numismatik

Unter Rücksichtnahme auf die Besonderheiten numismatischer Daten erweist sich der Einsatz von geographischen Informationssystemen in der Numismatik als möglich. Diese Untersuchung zeigt auch, dass mit GIS Ergebnisse erzielt werden können, die dem Erkenntnisgewinn dienen.

Konkret wurde dabei drei numismatische Fragestellungen untersucht. Der Erfolg der GIS Analysen war jedoch nicht in allen drei Fällen gleich erfolgreich.

Können weitere potenzielle Fundstellen (Fundhoffnungsgebiete) anhand der bekannten Fundstellen modelliert werden?

Mittels *predictive site modelling* wurde ein Modell erstellt, das anhand bekannter Fundstellen weitere potenzielle Münzfundstellen modelliert. Das Modell wurde sowohl intern mit statistischen Methoden als auch extern mit einer Teststichprobe getestet. Es erfüllt damit die formalen Kriterien für ein aussagekräftiges Modell.

Bei der Interpretation des Modells ist jedoch die Datenqualität der Ausgangsdaten zu berücksichtigen. Die Fundorte wurden mit den Zentren der Hauptorte der jeweiligen Katastralgemeinde gleichgesetzt, was jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht der tatsächlichen Fundsituation entspricht. Dies hat zur Folge, dass die Werte der Landschaftsattribute wie Höhe und Hangneigung, an den falschen Stellen gemessen wurden. Diese Art der Modellierung basiert jedoch auf den gemessenen Werten an bekannten Orten, und weist Orte mit ähnlichen Attributswerten als potenzielle Fundorte aus. Somit setzt sich

die Ungenauigkeit der Fundorte durch das gesamte Modell fort. Zur endgültigen Beurteilung des Modells wäre Feldforschung notwendig. Dies könnte z.B. durch die Suche mit Metalldetektoren in den vom Modell ausgewiesenen Fundhoffnungsgebieten erfolgen.

Wie kamen Münzen in entlegene Gegenden?

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurden *least cost paths*, also die kostengünstigsten Wege zwischen zwei Orten berechnet.

Dabei wird nicht der tatsächliche Weg, den die Münzen genommen haben, berechnet. Das wäre auch gar nicht möglich, da nicht bekannt ist, welche Stationen die Münzen im Zeitraum zwischen ihrer Prägung und ihrem Verlust oder Verstecken durchlaufen hat.

Diese Berechnungen sind weniger stark von der Datenqualität der numismatischen Daten abhängig, als das Fundortmodell, vor allem wenn es nicht um die Berechnung exakter Wegtrassen geht. Vielmehr ist hier das Ziel eine Abschätzung der Handelswege, auf denen Münzen transportiert wurden. Diese Modelle zeigen auch, dass Münzen auch für nicht-numismatische Fragestellungen mit räumlichen Aspekten benutzt werden können. Gemeinsam können hier die Numismatik und die Geoinformatik wertvolle Beiträge für benachbarte Geschichtswissenschaften liefern.

Ist aus den potenziellen Fundorten und den *least cost paths* eine Modellierung der Zirkulationsgebiete möglich und sinnvoll?

Die Modellierung des Zirkulationsgebietes aus den beiden anderen Analysen ist ein Beispiel dafür, dass nicht immer alles, was mit GIS möglich ist, auch sinnvoll ist. Die Numismatik kennt keine eindeutige Definition, wie ein Zirkulationsgebiet genau zu bestimmen ist. Es handelt sich dabei um ein Ergebnis komplexer Prozesse. Die hier gewählte Vorgehensweise, zwei Modelle, die für jeweils einen Teilaspekt der Zirkulation erstellt wurden, zu kombinieren, erscheint wenig geeignet, um ein aussagekräftiges Modell zu produzieren. Die zweite Methode, die von bekannten Fundorten ausgeht und ohne komplexe Modellierungsprozesse auskommt, liefert ähnliche Ergebnisse.

Beide Modelle haben kaum mehr Aussagekraft, als eine Karte, auf der die Fundorte eingetragen sind.

11.2 Konsequenzen

Die Situation raumbezogener Daten in der Numismatik hat weitreichende Folgen für den Einsatz von geographischen Informationssystemen in dieser Wissenschaft. Es ist nicht zu

erwarten, dass sich diese Situation in absehbarer Zukunft ändern. Zum einen gibt es bis jetzt im Mainstream der Numismatik kein Bestreben vermehrt auf GIS zu setzen. Zum anderen ist eine Erfassung der relevanten raumbezogenen Daten im Nachhinein im besten Fall sehr schwierig und aufwändig, da es sich um Ereignisse in der Vergangenheit handelt, die abgeschlossen sind. Voraussetzung dafür ist, dass noch Aufzeichnungen existieren, die bis jetzt bei der Datenerfassung nicht berücksichtigt wurden. In den meisten Fällen ist es jedoch schlicht unmöglich, den Fundort einer Münze im Nachhinein genauer zu bestimmen.

Soll GIS in der Numismatik vermehrt angewandt werden, müssen Wege gefunden werden, wie mit dieser Problematik umgegangen werden könnte.

Dieses Problem tritt jedoch auch in anderen kulturhistorischen Disziplinen wie der Archäologie auf, daher sind verschiedenen Lösungsansätze in Entwicklung. Um zu entscheiden, welche dieser Lösungsansätze für die Numismatik sinnvoll wären, sind weitere Untersuchungen notwendig.

Die Möglichkeiten der Modellierung, die ein GIS bietet, sind sehr vielfältig. Um diese Möglichkeiten zielführend im Wissenschaftsbetrieb der Numismatik einzusetzen reicht es jedoch nicht, ein paar Daten zu digitalisieren und beliebige Modelle zu produzieren. Es ist notwendig, für diese Modelle ein modernes (wissenschafts-)theoretisches Fundament zu schaffen.

Es soll auch nicht verschwiegen werden, dass der Aufbau eines GIS mit Kosten verbunden ist. Neben der eigentlichen Hardware und Software fallen auch für Daten und vor allem Ausbildung („Brainware“) Kosten an.

11.3 Ausblick

Es wurde gezeigt, dass geographische Informationssysteme in der Numismatik durchaus ihren Platz haben, gleichzeitig wurden aber auch Probleme aufgezeigt. Diese offenen Frage, wie die Datensituation oder die Beschränkung der Modelle auf die naturräumlichen Gegebenheiten, bieten sich für weitere Forschungen im interdisziplinären Bereich zwischen Geoinformatik, GI Science und Numismatik an.

Einen möglichen Lösungsansatz für die Datenproblematik könnte die Fuzzy-Logik liefern, also die Modellierung unscharfer Daten. Um dem Vorwurf des Naturdeterminismus zu begegnen, könnten Möglichkeiten gesucht werden, wie die soziale Landschaft in die Modellierung mit einzubeziehen. Ebenfalls von Interesse von Seiten der Numismatik wäre eine Applikation, die bisherige Münzdatenbanken mit einer kartographischen Darstellung verknüpfen. Eine solche Applikation könnte einerseits die Ergebnisse von Datenbankabfragen

in einer Karte darstellen, andererseits könnten über Auswahlwerkzeuge räumliche Abfragen erstellt werden.

Obwohl die meisten der Eingangs gestellten Fragestellungen positiv beantwortet werden können, bleibt die Frage, wie der Einsatz von GIS in der Numismatik zu bewerten ist.

Zweifelsfrei können mit GIS räumliche Zusammenhänge beleuchtet werden, die ohne dieses Werkzeug nur schwer zu erfassen sind. Es ist allerdings nicht zu vermuten, dass GIS die Numismatik revolutionieren wird oder auch nur eine ähnliche Bedeutung wie in der Archäologie erreichen wird. Dazu haben die raumbezogenen Fragestellungen in der Numismatik zu wenig Gewicht, der Schwerpunkt der Disziplin liegt noch immer in der Münzkunde im Sinne von Robert GÖBL. (GÖBL (1987) war den Möglichkeiten, die Computer bieten würden, sehr kritisch eingestellt. Dabei bezog er sich in erster Linie auf statistische Methoden.)

Mit der vorliegenden Arbeit werden geographische Informationssysteme aus Sicht der Geoinformatik als potenzielles Werkzeug für die Numismatik präsentiert. Wie und in welchem Ausmaß die Numismatik dieses Werkzeug in Zukunft nutzt, müssen letztendlich die Numismatiker entscheiden.

Literaturverzeichnis

- ALBRECHT, J. (2007), *Key Concepts & Techniques in GIS*, Sage Publications, Los Angeles.
- ALFÖLDI, M.R. (1978), *Antike Numismatik - Teil I: Theorie und Praxis*, Verlag Philipp von Zabern, Mainz am Rhein.
- ALRAM, M. (2006). *Vorwort des Herausgebers*. In: SCHACHINGER, U. (Hrsg.), *Der antike Münzumschlag in der Steiermark*, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, S. 9.
- BALTES-GÖTZ, B. (2008), *Logistische Regressionsanalyse mit SPSS*. <<http://www.uni-trier.de/fileadmin/urt/doku/logist/logist.pdf>>, Abgerufen am: 09.04.2009.
- BARTELME, N. (2005), *Geoinformatik. Modelle Strukturen Funktionen*, 4. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- BILL, R. (1999a), *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1: Hardware, Software und Daten*, 4. Auflage, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- BILL, R. (1999b), *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 2: Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen*, 2. Auflage, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- BLASCHKE, T. (2003), *Geographische Informationssysteme: Vom Werkzeug zur Methode*, In: *Geographische Zeitschrift*, Bd. 91, Nr. 2, S. 95-114.
- BOLLMANN, J. (Hrsg.) (2002), *Lexikon der Kartographie und Geomatik (CD-ROM)*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- BURROUGH, P.A. und McDONNELL, R. (1998), *Principles of geographical information systems*, Oxford University Press, Oxford, New York.
- CHRISMAN, N.R. (1997), *Exploring geographic information systems*, John Wiley & Sons Inc, New York.
- CHRISMAN, N.R. (1999), *What Does 'GIS' mean?*, In: *Transactions in GIS*, Bd. 3, Nr. 2, S. 175-186.

- COLLISCHONN, W. und PILAR, J.V. (2000), *A direction dependent least cost path algorithm for roads and canals*, In: International Journal of Geographical Information Science, Bd. 14, Nr. 4, S. 397-406.
- CONOLLY, J. und LAKE, M. (2006), *Geographical Information Systems in Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- CROTHES, B. (2009), *Samsung: Solid state will match hard-drive price*. <http://news.cnet.com/8301-13924_3-10196422-64.html>, Abgerufen am: 17.03.2009.
- DE LANGE, N. (2006), *Geoinformatik: In Theorie und Praxis*, 2. Auflage, Springer, Berlin.
- DE SMITH, M.J. (2003). *Advanced Spatial Analysis*. In: LONGLEY, P.A. und BATTY, M. (Hrsg.), *The CASA book of GIS*, ESRI, Redlands, S. 309-326.
- DE SMITH, M.J., GOODCHILD, M.F. und LONGLEY, P.A. (2008), *Geospatial Analysis*. <<http://www.spatialanalysisonline.com/>>, Abgerufen am: 23.03.2009.
- DOUGLAS, D.H. (1994), *Least-cost Path in GIS Using an Accumulated Cost Surface and Slopelines*, In: *Cartographica*, Bd. 31, Nr. 3, S. 37-51.
- DUNCAN, R.B. und BECKMAN, K.A. (2000). *The Application of GIS Predictive Site Location Models within Pennsylvania and West Virginia*. In: WESCOTT, K.L. und BRANDON, R.J. (Hrsg.), *Practical Applications of GIS for Archaeologists - A Predictive Modeling Toolkit*, Taylor & Francis, London, S. 33-58.
- EBERT, J.I. (2000). *The State of the Art in "Inductive" Predictive Modeling: Seven Big Mistakes (and Lots of Smaller Ones)*. In: WESCOTT, K.L. und BRANDON, R.J. (Hrsg.), *Practical Applications of GIS for Archaeologists - A Predictive Modeling Toolkit*, Taylor & Francis, London, S. 129-134.
- ESRI (2008a), *Company History*. <<http://www.esri.com/company/about/history.html>>, Abgerufen am: 20.03.2009.
- ESRI (2008b), *ArcGIS Desktop Help 9.3*.
- FRANZEN, M. (2005), *Photogrammetrische Datenerfassung I - Grundlagen*, Skriptum zur Vorlesung, Wien.

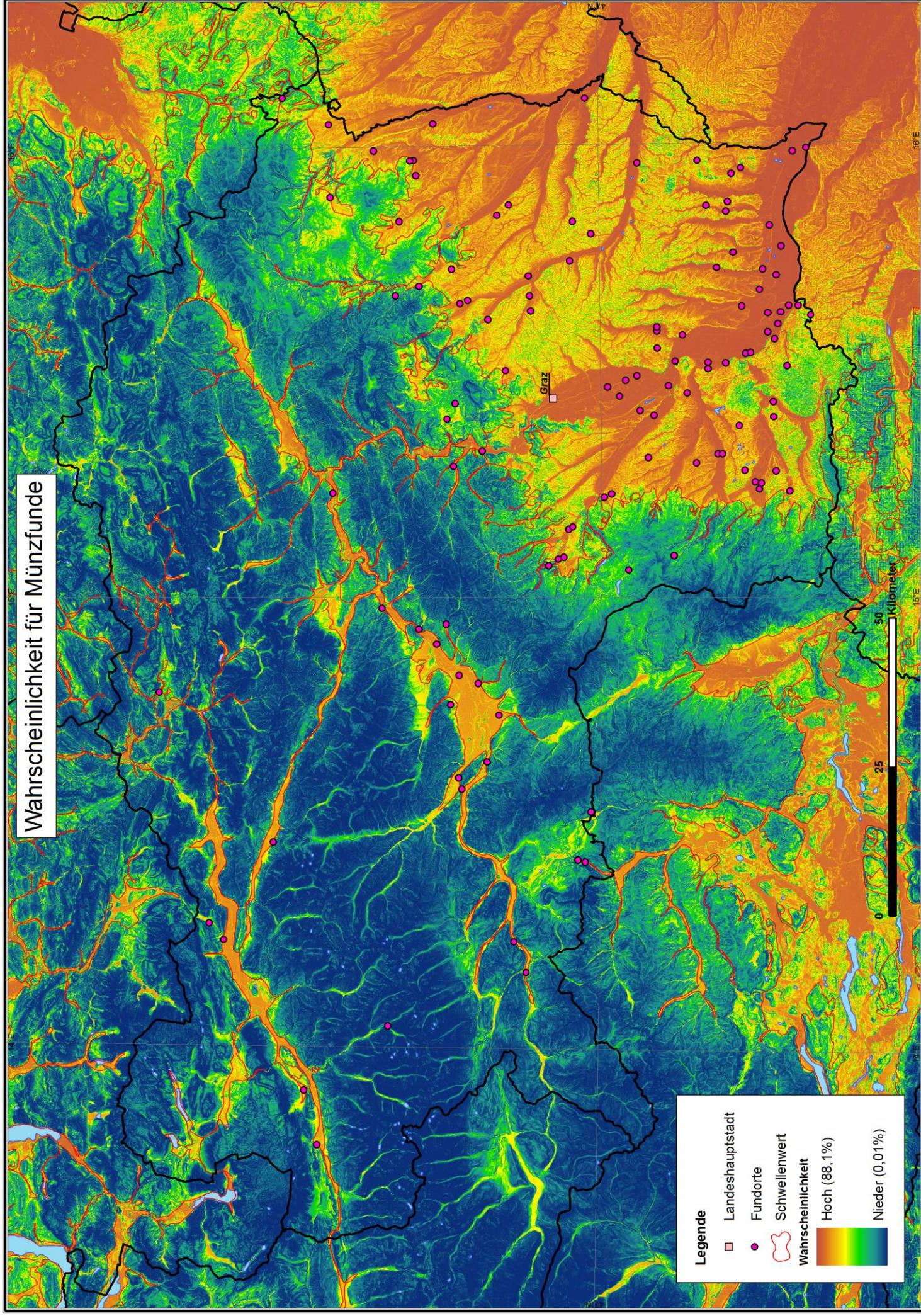
- GAFFNEY, V. und VAN LEUSEN, M. (1995). *GIS, environmental determinism and archaeology: a parallel text*. In: LOCK, G. und STANČIČ, Z. (Hrsg.), *Archaeology and geographical information systems: A European perspective*, Taylor und Francis, London, Bristol, S. 367-382.
- GIETL, R. (2004), *Die Römer auf den Pässen der Ostalpen*, Universität Wien, Dipl.-Arb.
- GIETL, R., DONEUS, M. und FERA, M. (2008). *Cost Distance Analysis in an Alpine Environment: Comparison of Different Cost Surface Modules*. In: POSLUSCHNY, A., LAMBERS, K. und HERZOG, I. (Hrsg.), *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) Berlin, Germany April 2-6, 2007*, S. 342.
- GÖBL, R. (1978), *Antike Numismatik - Band 1: Einführung, Münzkunde, Münzgeschichte, Geldgeschichte, Methodenlehre, praktischer Teil*, Battenberg Verlag, München.
- GÖBL, R. (1987), *Numismatik*, Battenberg, München.
- GOODCHILD, M.F. (1992), *Geographical information science*, In: *International Journal of Geographical Information Systems*, Bd. 6, Nr. 1, S. 31 - 45.
- GREINER, L. (2007), *Putting Canada on the map*. In: *The Globe and Mail* <<http://www.theglobeandmail.com/servlet/story/RTGAM.20071217.wgtGIS1214/BNStory/Personaltech/home>>, Abgerufen am: 01.03.2009.
- GRUBER, T.R. (1993), *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications*, In: *Knowledge Acquisition*, Bd. 5, Nr. 2, S. 199-220.
- GUPTILL, S.C. (1999). *Metadata and data catalogues*. In: LONGLEY, P.A., GOODCHILD, M.F., MAGUIRE, D.J. und RHIND, D.W. (Hrsg.), *Geographical Information Systems. Volume 2 - Management Issues and Applications*, John Wiley & Sons, Inc., New York, S. 677-692.
- GUPTILL, S.C. und MORRISON, J.L. (Hrsg.) (1995), *Elements of spatial data quality*, Elsevier Science, Oxford.
- HAKE, G., GRÜNREICH, D. und MENG, L. (2002), *Kartographie*, 8. Auflage, Walter de Gruyter, Berlin, New York.

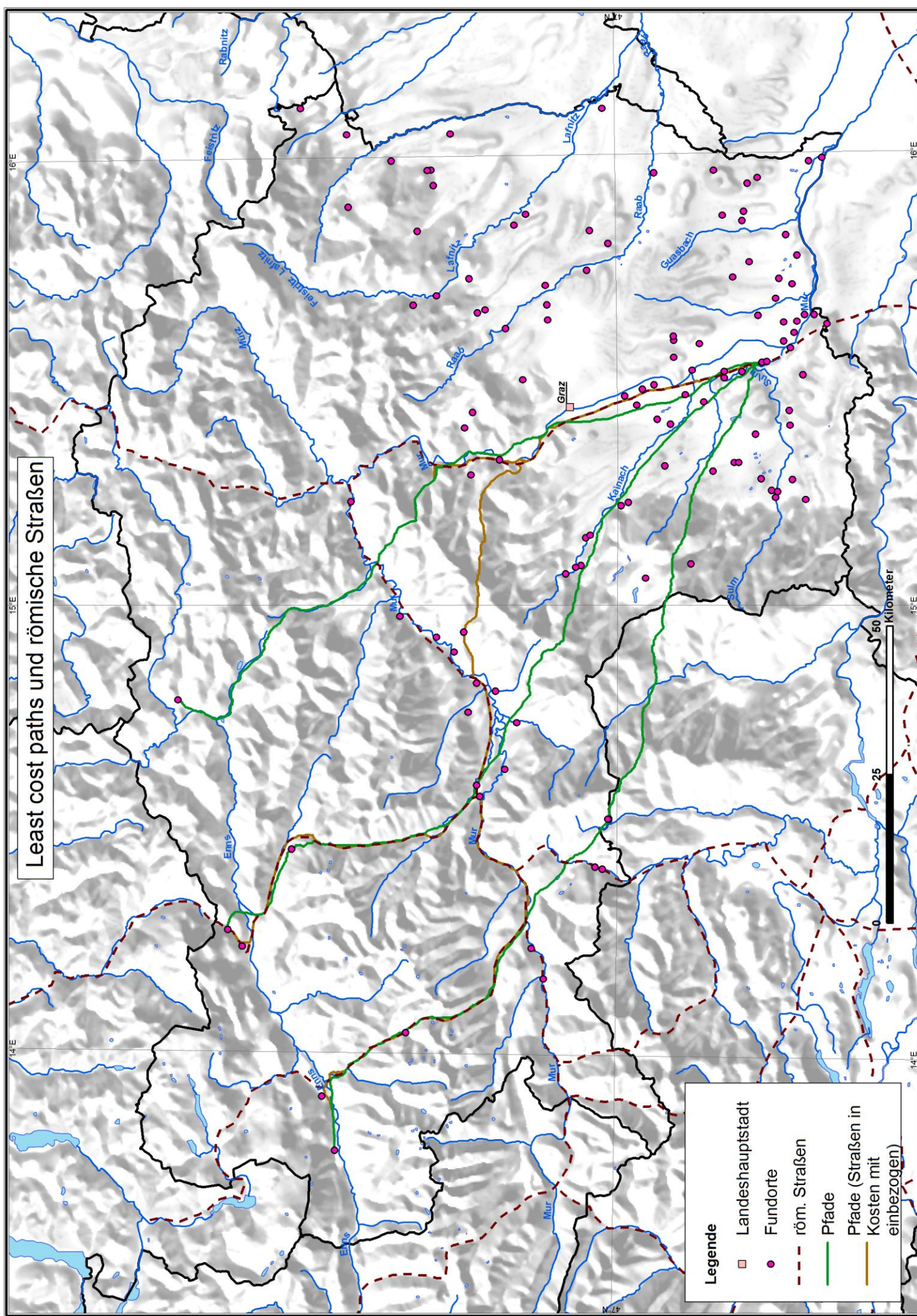
- HENNERMANN, K. (2006), *Kartographie und GIS. Eine Einführung*, WBG, Darmstadt.
- HEYWOOD, D.I., CORNELIUS, S. und CARVER, S. (1998), *An introduction to geographical information systems*, Longman, Harlow, Essex.
- HOSMER, D.W. und LEMESHOW, S. (2000), *Applied logistic regression*, 2. Auflage, Wiley, New York.
- HOWGEGO, C. (2000), *Geld in der antiken Welt: was Münzen über Geschichte verraten*, Theiss, Stuttgart.
- KAHMEN, H. (1997), *Vermessungskunde*, 19. Auflage, Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- KAHNT, H. (2005), *Das große Münzlexikon von A bis Z*, H- Gietl Verlag, Regensburg.
- KAINZ, W. (1999). *Qualitätsaspekte bei der Bearbeitung und Verwendung von Geodaten*. In: KRETSCHMER, I. und KAINZ, W. (Hrsg.), 25 Jahre Studienkreis Kartographie, Universität Wien, Wien, S. 82-90.
- KAINZ, W. (2004), *Geographic Information Science (GIS)*, 2. Auflage, Begleitmaterial zur Vorlesung, Wien.
- KAUFMANN, K.E. (2006). *Appropriateness and Applicability of GIS and Predictive Models with Regard to Regulatory and Nonregulatory Archaeology*. In: MEHRER, M.W. und WESCOTT, K.L. (Hrsg.), *GIS and Archaeological Site Modeling*, CRC Press, Boca Raton, S. 265-278.
- KLEINBAUM, D.G., KLEIN, M. und PRYOR, E.R. (2002), *Logistic regression*, 2. Auflage, Springer, New York, Berlin, Heidelberg.
- KROHA, T. (1997), *Großes Lexikon der Numismatik*, Bertelsmann Lexikon-Verlag, Gütersloh.
- LANG, F. (2002), *Klassische Archäologie*, Francke, Tübingen, Basel.
- LLOBERA, M. (2000). *Understanding movement: a pilot model towards the sociology of movement*. In: LOCK, G.R. (Hrsg.), *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*, IOS Press, Amsterdam, S. 65-84.

- LOHNER, U. (o.J.), *FWF-Projekt: P09572SPR "Aufarbeitung der Ausgrabung Kalsdorf"*.
 <http://www.uni-graz.at/klar1www/klar1www_forschung/klar1www_projekte/klar1www_kalsdorf.htm>, Abgerufen am: 04.04.2009.
- MAC EACHREN, A.M. (2004), *How maps work*, Guilford Press, New York.
- MARKTGEMEINDE WAGNA (2007), *Flavia Solva - Die Stadt der Römer*.
 <<http://www.wagna.at/flaviasolva/sites/flaviasolva.html>>, Abgerufen am: 24.06.2009.
- MAYER, H. (1974), *Wälder des Ostalpenraumes*, Fischer Verlag, Stuttgart.
- MÜLLER, A. (2002). *Geomatik*. In: BOLLMANN, J. (Hrsg.), *Lexikon der Kartographie und Geomatik (CD-ROM)*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- NEWTON, D.P. (2006), *Found Coins as Indicators of Coins in Circulation: Testing Some Assumptions*, In: *European Journal of Archaeology*, Bd. 9, Nr. 2-3, S. 211-227.
- POSLUSCHNY, A. (Hrsg.) (2008), *Layers of perception*, Habelt, Bonn.
- REECE, R. (1996). *The interpretation of site finds - a review*. In: KING, C.E. und WIGG, D.G. (Hrsg.), *Coin finds and coin use in the Roman world - A NATO advanced research workshop / The Thirteenth Oxford Symposium on Coinage and Monetary History*, 25. - 27. 3. 1993, Gebrüder Mann, Berlin, S. 341-355.
- REUTER, H.I., NELSON, A. und JARVIS, A. (2007), *An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data*, In: *International Journal of Geographical Information Science*, Bd. 21, Nr. 9, S. 983-1008.
- RIEDL, A., RIEDL, D. (2003), *Grundzüge der Geoinformation und Visualisierung I + II*, Begleitmaterial zur Vorlesung, Wien.
- SALGÉ, F. (1995). *Semantic accuracy*. In: GUPTILL, S.C. und MORRISON, J.L. (Hrsg.), *Elements of spatial data quality*, Elsevier Science, Oxford, S. 139 - 151.
- SCHACHINGER, U. (2006), *Der antike Münzumlauf in der Steiermark*, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.
- STAR, J. und ESTES, J. (1990), *Geographic information systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

- TOMLIN, C.D. (1990), *Geographic information system and cartographic modeling*, 2. Auflage, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- VAN LEUSEN, P.M. (2002), *Pattern to process: methodological investigations into the formation and interpretation of spatial patterns in archaeological landscapes*, Universität Groningen, Dissertation. <<http://irs.ub.rug.nl/ppn/239009177>>, Abgerufen am: 15.06.2009.
- VERHAGEN, P. (2008). *Testing Archaeological Predictive Models: A Rough Guide*. In: POSLUSCHNY, A. (Hrsg.), *Layers of Perception - proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)* ; Berlin, Germany, April 2-6, 2007, Habelt, Bonn, S. 285-291.
- VONDROVEC, K. (2005), *Der Numismatische Fingerabdruck*, In: *Mitteilungen der Österreichischen Numismatischen Gesellschaft*, Bd. 45, Nr. 3, S. 176-195.
- VONDROVEC, K. (2007). *Gesamtdarstellung und Auswertung der antiken Fundmünzen im Museum Carnuntum*. In: ALRAM, M. und SCHMIDT-DICK, F. (Hrsg.), *Numismata Carnuntia - Forschungen und Material - Textband 1*, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, S. 55-340.
- WARREN, R.E. und ASCH, D.L. (2000). *A Predictive Model of Archaeological Site Location in the Eastern Prairie Peninsula*. In: WESCOTT, K.L. und BRANDON, R.J. (Hrsg.), *Practical Applications of GIS for Archaeologists - A Predictive Modeling Toolkit*, Taylor & Francis, London, S. 5-32.
- WEICHHART, P. (2008), *Entwicklungslinien der Sozialgeographie. Von Hans Bobek bis Benno Werlen*, Franz Steiner Verlag, Stuttgart.
- WINKLER, P. (2006), *Computer Lexikon 2006*, Markt + Technik Verlag, München.
- WISE, S. (2002), *GIS Basics*, Taylor & Francis, London, New York.
- YU, C., LEE, J. und MUNRO-STASIUK, M.J. (2003), *Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning*, In: *International Journal for Geographical Information Science*, Bd. 17, Nr. 4, S. 361-376.

Wahrscheinlichkeit für Münzfunde





Lebenslauf

Markus Breier

Geboren am 21. 09. 1976 in Wien

Ausbildung

1983 - 1986	Volksschule Wien 9
1986 – 1995	AHS Bundesrealgymnasium XVIII Schopenhauerstraße
1995	Matura mit gutem Erfolg bestanden
1996 – 2002	Studium „Vermessungswesen“ an der TU Wien (abgebrochen)
2002 – 2009	Studium „Geographie“, Studienzweig „Kartographie und Geoinformation“ an der Universität Wien

Berufliche Tätigkeit

1994-1995, 1997	Ferialpraktikum bei der Post
1996-1996	Verkäufer für Computerbücher, Fa. Erb HandelsgmbH
1996-1997	Nebenberufliche Tätigkeit als Verkäufer bei. Fa. Erb
1998-1999	Nebentätigkeit als EDV-Techniker, Fa. N-Tech
2001	Promotion-Tätigkeit für Mobilkom Austria
2005-2007	Tutor für Lehrveranstaltungen im Bereich Geoinformation und GIS an der Universität Wien, Institut für Geographie und Regionalforschung
2007-andauernd	Projektmitarbeiter (FWF-Projekt „Cultural History of the Western Himalaya from the 8 th Century“) an der Universität Wien, Institut für Geographie und Regionalforschung, Tätigkeitsbereich Kartographie und Geodaten
2009	Tutor für die Lehrveranstaltung „Anwendungsbereiche der thematischen Kartographie“ an der Universität Wien, Institut für Geographie und Regionalforschung

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere:

- dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin / einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt

Datum

Unterschrift