

## Limitatio Carnuntina

### GIS-Analyse der römischen Zenturiation im Raum Carnuntum (Niederösterreich)

1. Einleitung (S. 61) – 2. Definitionen und Problemstellungen (S. 64) – 3. Methoden und Datengrundlage (S. 70), 3.1 Methodenspektrum bei der Erforschung römischer Limitationssysteme (S. 70), 3.2 Statistische Auswertung von Lineamenten (S. 73), 3.3 Die Carnuntiner Daten und Probleme ihrer Genauigkeit (S. 76), 3.4 Arbeitsabläufe und verwendete Software (S. 79) – 4. Analyse von römischen Limitationssystemen in Carnuntum mit Statistik- und GIS-Methoden (S. 80), 4.1 Antike Straßen und Vermessungsachsen im Raum Carnuntum (S. 80), 4.2 Flurorientierungen: Franziszeischer Kataster und DKM im Vergleich (S. 82), 4.2.1 Ergebnisse (S. 83), 4.2.2 Diskussion (S. 84), 4.3 Klassifikation und Visualisierung der Parzellenausrichtungen (S. 86), 4.3.1 Ergebnisse (S. 89), 4.3.2 Diskussion (S. 92), 4.4 Orientierung der Bauten in der Lagerstadt (*canabae legionis*) (S. 93), 4.4.1 Ergebnisse (S. 93), 4.5 Automatisierte Vektorisierung von Rasterbildern (S. 95), 4.5.1 Optimierung und Datenreduktion (S. 96), 4.5.2 Visualisierung und Bewertung des Vektorisierungsergebnisses (S. 97), 4.6 Rekonstruktion der antiken Limitation im Raum Carnuntum (S. 104), 4.6.1 Ergebnisse (S. 106), 4.6.2 Diskussion (S. 106) – 5. Zusammenfassung (S. 108) – Danksagung (S. 112) – Literaturverzeichnis (S. 113) – Abbildungsnachweis (S. 121) – Statistischer Anhang (S. 121)

#### 1. EINLEITUNG

In der archäologischen und altertumskundlichen Forschung gibt es den jeweiligen Fachdisziplinen entsprechend unterschiedliche Herangehensweisen an den Forschungsbereich „römische Landvermessung“. Sowohl in der Klassischen und Provinzialrömischen Archäologie als auch in der althistorischen Forschung fand seit den 1970er-Jahren eine erstaunliche Spezialisierung in der Limitationsforschung statt, die im Jahr 2004 mit der Herausgabe einer neuen Fachzeitschrift unter dem Titel *„Agri Centuriati – International Journal of Landscape Archaeology“* in Pisa/Rom, von Guido Rosada geleitet, zu einem vorläufigen Abschluss gekommen ist. Dieses neue Publikationsmedium, von dem die Inhaltsangabe des ersten Bandes vorliegt, hat sich zur Aufgabe gesetzt, die gesamte Spannweite der fachspezifisch-inhaltlichen und methodischen Zugänge bei der Erforschung der römischen Limitation abzudecken. Der Einsatz von GIS-Technologie wird in Band 1 von Antonio Marchiori angesprochen<sup>1</sup>.

Zu den Fachrichtungen, die sich traditionell mit der römischen Landvermessung auseinandersetzen, wie die Archäologie, die Alte Geschichte/Alttertumskunde und Epigraphik sowie die Klassische Philologie, sind mittlerweile Disziplinen wie die Geologie und die Geographie hinzugekommen. In der vorliegenden Arbeit, die in den Fachbereichen Archäologie und Geoinformatik angesiedelt ist, steht die GIS-Komponente im Vordergrund. Die konkreten Zielsetzungen der Arbeit lassen sich in folgende Punkte untergliedern:

---

<sup>1</sup> MARCHIORI 2004.

- 
- Zwischen 1974 und 1976/1977 formulierte Manfred Kandler mehrere Hypothesen zur römischen Landvermessung im Raum Carnuntum (Niederösterreich). Ausgehend von seinen Grabungen im Carnuntiner Legionslager stellte er nicht nur Überlegungen zu den antiken Vermessungsachsen an, sondern setzte jene auch in Bezug zu den bekannten römischen Fernstraßen. Einen zentralen Stellenwert nehmen seine Hypothesen zur Ausrichtung der Längsachse des ältesten Legionslagers ein. Nach Ansicht Kanders spiegelt sich diese Achse auch heute noch in der Orientierung des aktuellen Flursystems wider. Diese Lagerachse und gewisse darauf orthogonal verlaufende Fernstraßen hätten die Struktur bzw. das Aussehen der römischen Landvermessung im Raum Carnuntum geprägt. Im Laufe der Jahrhunderte sei die Kulturlandschaft zwar wiederholt überformt worden, Relikte der ursprünglichen römischen Landvermessung hätten sich aber trotzdem in entsprechend orientierten Parzellengrenzen erhalten (vgl. Kap. 2). Ein vorrangiges Ziel dieser Arbeit besteht nun darin, die Hypothesen Kanders mit GIS-spezifischen Methoden zu überprüfen.

Den Ausgangspunkt der Untersuchung bilden die Flurgrenzen der heutigen Kulturlandschaft, die auf ihre Übereinstimmung mit bzw. auf ihre Abweichung von den (postulierten) antiken Vermessungsachsen untersucht werden sollen. Ein wesentliches Anliegen ist es, das Ausmaß der Übereinstimmungen zunächst zu visualisieren und räumlich differenziert zu bewerten. Dabei darf nicht nur der visuelle Eindruck ausschlaggebend sein, sondern es soll versucht werden, quantifizierbare Ergebnisse zu gewinnen, die eine Grundlage für eine objektiv nachvollziehbare Bewertung darstellen.

- Das zweite Ziel, das mit dieser Arbeit angestrebt wird, ist eine Rekonstruktion der antiken Landvermessung. Eine Rekonstruktion der römischen Zenturiation kann nur gelingen, wenn verlässliche Daten aus einem ausreichend großen Geländeausschnitt zur Verfügung stehen. Die Verfügbarkeit digitaler archäologischer Fachdaten im Raum Carnuntum hat sich erst mit der Durchführung großflächiger archäologischer Prospektionsvorhaben ab der Mitte der 1990er-Jahre gebessert<sup>2</sup>. Trotzdem liegt der Großteil der archäologischen Information, die wir über Carnuntum besitzen, nur in analoger Form vor und ist dementsprechend mühsam zu überschauen und zusammenzuführen. Neben den formulierten Zielen ist diese Arbeit deshalb eine weitere Form der Datengenerierung, die den digitalen Datenbestand für den engeren Stadtbereich, aber auch den Großraum von Carnuntum beträchtlich vermehren wird.

Die vorliegende Arbeit beabsichtigt dabei keinesfalls eine althistorisch-epigraphische Beschäftigung mit dem Thema „antike Limitation“. Dies ist allein schon deshalb nicht möglich, weil man im Raum Carnuntum z. B. keine römischen Grenzsteine kennt, auf denen die Vermessungsachsen des Limitationssystems markiert waren<sup>3</sup>. Ferner gibt es unter der Fülle der bekannten antiken Grabsteine aus Carnuntum keinen Nachweis für einen *agrimensor*, also einen römischen Landvermesser<sup>4</sup>, noch wird in den schriftlichen Quellen zur antiken Landvermessung auf Carnuntum und seine Umgebung Bezug genommen.

---

<sup>2</sup> DONEUS – NEUBAUER – SCHARRER 2001.

<sup>3</sup> CHOUQUER – FAVORY 1991, Abb. S. 146.

<sup>4</sup> CHOUQUER – FAVORY 1991, Abb. S. 90.

---

Eine Auseinandersetzung mit den archäologischen Siedlungsbefunden in Carnuntum, die darauf abzielt, einen neuen Gesamtplan der römischen Stadt zu erstellen und unter forschungsgeschichtlichen und vorrangig siedlungsarchäologischen Aspekten zu diskutieren, ist ebenso wenig Gegenstand dieser Untersuchung. Diese reizvolle Aufgabe muss der (luftbild-)archäologischen Gesamtauswertung der ergrabenen und mit Hilfe von Prospektion erfassten Befunde vorbehalten bleiben. Probleme der antiken Siedlungsstruktur, der Funktion und chronologischen Entwicklung spielen deshalb bei der vorliegenden Arbeit keine entscheidende Rolle. Die Grabungsergebnisse der über 100-jährigen Forschungstätigkeit in Carnuntum und die verstärkt seit den frühen 1980er-Jahren vorliegenden luftbildarchäologischen Ergebnisse werden nur dann berücksichtigt, wenn mögliche Zusammenhänge zwischen dem Straßenverlauf im Siedlungsareal bzw. im Umland Carnuntums und der Ausrichtung der antiken Limitationsachsen zu analysieren sind. Die Orientierung der städtischen Bebauung und ihr Bezug zum Landvermessungsraster sollen also durchaus angesprochen werden.

Im Hinblick auf die räumliche Abgrenzung der Arbeit sind bereits Begriffe gefallen, die eine unterschiedlich große Raumabdeckung beschreiben (antikes Stadtgebiet, Umland Carnuntums etc.). Die Definition der Größe des Untersuchungsraums ist an die variierenden Fragestellungen geknüpft und richtet sich nicht zuletzt nach den zur Verfügung stehenden Basisdaten (vgl. Kap. 3.3). Ein Schwerpunkt der Untersuchung wird die im Raum der heutigen Ortschaften Petronell und Bad Deutsch-Altenburg (Niederösterreich) gelegene pannonische Provinzhauptstadt Carnuntum sein, die Werner Jobst als „Österreichs größte archäologische Landschaft“ bezeichnet hat<sup>5</sup>.

Kurz zum Aufbau der Arbeit: Im Kapitel 2 soll die Ausgangssituation in Carnuntum beschrieben werden, wobei ich mich auf die Hypothesen Kandlers konzentrieren werde. Den Ausführungen ist eine knappe Definition dessen vorangestellt, was in der archäologischen Forschung unter Limitation bzw. Zenturiation verstanden wird. Im folgenden Kapitel „Methoden und Datengrundlage“ soll auf den internationalen Forschungsstand zur römischen Limitation unter besonderer Berücksichtigung von GIS-Einsatz eingegangen werden. Methodische Ansätze bei der Visualisierung und statistischen Auswertung von Linienstrukturen stehen hier im Vordergrund.

Der Hauptteil der Arbeit befasst sich mit der Anwendung von Statistik- und GIS-Methoden bei der Erforschung römischer Limitationssysteme in Carnuntum. Zunächst ist es notwendig, die antiken Straßen- und Vermessungsachsen zu definieren. Im folgenden Unterkapitel werden für den Bereich der Gemeinde Bad Deutsch-Altenburg der Franziszeische Kataster und die aktuelle digitale Katastermappe (DKM) im Hinblick auf die Parzellenausrichtungen verglichen. Der Altkataster ist in weiterer Folge die Grundlage für die Klassifikation und Visualisierung der Parzellengrenzen nach ihren Orientierungswerten. Daraufhin stehen die Orientierung der archäologischen Siedlungsstrukturen in der Lagerstadt (*canabae legionis*) im Mittelpunkt, wobei der Frage nachgegangen wird, ob sich der postulierte Vermessungsraster auch im engeren Siedlungsbereich um das Legionslager in der Ausrichtung der antiken Bebauung erkennen lässt. Eine automatisierte Vektorisierung von Rasterbildern (SW-Orthofotos, SPOT-Daten) bildet die Basis von Rekonstruktionsversuchen der antiken Limitation, die weit über die Gemeindegren-

---

<sup>5</sup> JOBST 1983.



Abb. 2.1: Reste der römischen Limitation im Hinterland von Iader (Zadar, Dalmatien). Das Straßennetz des heutigen Stadtzentrums (auf der Halbinsel am unteren Bildrand) geht weitgehend auf den Stadtplan der römischen Kolonie zurück

zen von Bad Deutsch-Altenburg hinausgehend das Carnuntiner Umland bis in den Raum Bruck/Leitha umfasst.

In den einzelnen Unterkapiteln werden jeweils die analytische Vorgangsweise geschildert, die Ergebnisse dargestellt und diskutiert, wobei auch eine Bewertung der herangezogenen GIS-Methoden im Hinblick auf deren Eignung enthalten ist.

Bei diesem Beitrag handelt es sich um die geringfügig überarbeitete Fassung meiner Master Thesis, die ich im Rahmen eines Online-Fernstudiums (UNIGIS MSc 2003) am Institut für Angewandte Geografie und Geoinformatik an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Salzburg verfasste. Es ist mir ein besonderes Bedürfnis, dem Lehrgangsteam, insbesondere dem Leiter Herrn Prof. Dr. Josef Strobl sowie Herrn Mag. Jürgen Praher und Herrn Mag. Michael Fally, an dieser Stelle für die großartige Betreuung während des zweijährigen Studiengangs meinen Dank auszusprechen.

## 2. DEFINITIONEN UND PROBLEMSTELLUNGEN

In seiner grundlegenden Studie „Ancient Landscapes – Studies in Field Archaeology“ konnte John Bradford bereits 1957 aufzeigen, in welchem Umfang sich Relikte römischer Landvermessung (Limitation, Zenturiation) im Umfeld ehemaliger antiker Städte bis in die Gegenwart erhalten haben. Auf der Grundlage von Luftbildern, die vor allem von der Royal Air Force in Italien, Dalmatien, Tunesien und Frankreich während des 2. Weltkrieges angefertigt wurden, rekonstruierte Bradford einen für die römische Limitation charakteristischen Vermessungsraster mit quadratischen Grundeinheiten (*centuriae*) von 776 Yards (ca. 710 m) Seitenlänge, die in antiken Längenmaßen ausgedrückt 20 *actus* oder 2400 *pedes* entsprachen. Neuere Untersuchungen haben

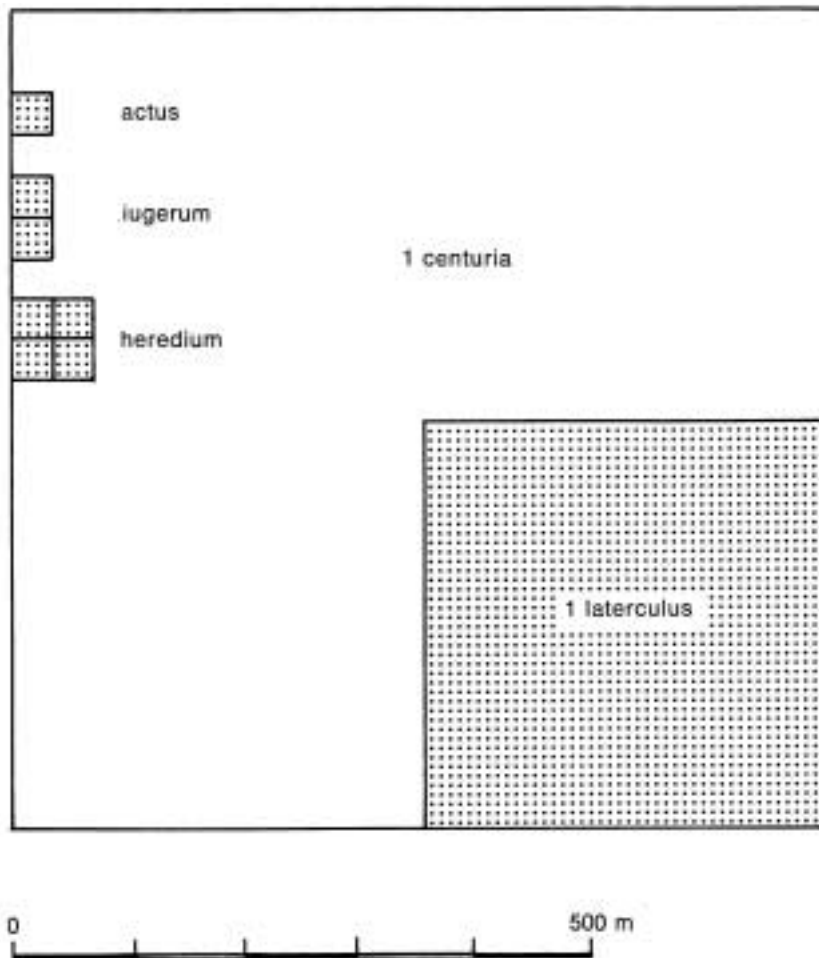


Abb. 2.2: Untergliederung einer *centuria*, die mit einer Seitenlänge von durchschnittlich 710 m den Grundbaustein römischer Limitationssysteme bildete

mittlerweile ergeben, dass Zenturiationen auch einen Modulus von 703 m aufweisen können<sup>6</sup>.

Die Hauptvermessungsachsen des orthogonalen Rasters bildeten der *cardo maximus* und der *decumanus maximus*, zwei im rechten Winkel zueinander stehende Vermessungsachsen bzw. Straßen. Parallel dazu verliefen weitere untergeordnete *cardines* bzw. *decumani*. An den Schnittpunkten befanden sich Grenzsteine (*termini*), die auch an Unterteilungen innerhalb einer *centuria* auftreten konnten<sup>7</sup>. Das erhaltene Schrifttum der römischen Agrimensoren erlaubt weitgehende Einblicke in das Fachwissen und die theoretischen Grundlagen antiker Gromatik und Landschaftsplanung<sup>8</sup>. Glossare zum verwendeten Begriffsinstrumentarium liegen in gedruckter<sup>9</sup> und in online verfügbarer Form<sup>10</sup> vor.

<sup>6</sup> CHOUQUER – FAVORY 1991, 91–138; CHARRAUT – FAVORY 1993, 30; COMPATANGELO 1989, 137; PETERSON 1988b, 134 nennt *centuriae* mit 704 m Seitenlänge als kleinste nachgewiesene Einheiten.

<sup>7</sup> PETERSON 1988b, 133–139.

<sup>8</sup> DILKE 1971; HEIMBERG 1977; CAMPBELL 2000; BEHRENDTS – WILCOCK 2003.

<sup>9</sup> CHOUQUER – FAVORY 1991, 226–227.

<sup>10</sup> PETERSON 1996b.

---

Die Überreste römischer Limitationssysteme konzentrieren sich vor allem auf die oben genannten Anrainerstaaten des Mittelmeers<sup>11</sup>. In den römischen Provinzen entlang der Rhein- und Donaugrenze bzw. in Britannien gelingen entsprechende Nachweise aufgrund der zumeist weitaus komplexeren Kulturlandschaftsbildenden Prozesse<sup>12</sup> seltener bzw. sind manchmal nicht überzeugend<sup>13</sup>.

Auch im Raum Carnuntum wäre es überraschend, wenn sich das römische Limitationssystem in Straßen, Feldwegen, Grenzen, Bewässerungsanlagen etc. in größerem Umfang erhalten hätte. Durch die Neuaufiedlung im Früh- und Hochmittelalter und nicht zuletzt durch die Flurbereinigungen im späteren 19. und 20. Jahrhundert unterscheiden sich die Voraussetzungen grundlegend von den Regionen, die Bradford in seiner Arbeit 1957 berücksichtigte.

Der Untersuchungsraum, auf den wir uns im folgenden beschränken wollen, umfasst als Kernzone das Areal des antiken Carnuntum (Abb. 2.3), das sich unmittelbar am Südufer der Donau (Donaulimes) in den heutigen Gemeindegebieten von Petronell und Bad Deutsch-Altenburg (Niederösterreich) erstreckt. Die Hauptstadt der Provinz (Ober-)Pannonien ist dabei keine kompakte Stadtanlage mit orthogonalem Straßenraster<sup>14</sup>, sondern zerfällt topografisch in:

- das um die Mitte des 1. Jahrhunderts n. Chr. angelegte Legionslager, das aus archäologischer Sicht die älteste gesicherte Siedlungsstruktur darstellt, obwohl Carnuntum in den antiken Schriftquellen zum ersten Mal bereits im Zusammenhang mit Ereignissen des Jahres 6 n. Chr. genannt wird<sup>15</sup>;
- die sich um das Legionslager entwickelnde Lagerstadt (*canabae legionis*)<sup>16</sup>;
- das 1,2 km südwestlich des Legionslagers gelegene Auxiliarkastell einer Reitereinheit<sup>17</sup>;
- und die westlich des mittelalterlichen Ortskerns von Petronell errichtete Zivilstadt (*Municipium Aelium Carnuntum*), die unter Kaiser Hadrian (117–138 n. Chr.) zur autonomen Stadt und in der Zeit um 200 n. Chr. in den Rang einer Kolonie (*Colonia Septimia Aurelia Antoniniana Carnuntum*) erhoben wurde<sup>18</sup>.

Die anlässlich seiner Ausgrabungen 1968–1977 im Legionslager angestellten Überlegungen von Manfred Kandler sind bisher – abgesehen von den hier nicht zu referierenden vagen Vorstellungen Eduard Nowotnys<sup>19</sup> – die einzigen Versuche, die römische Limitation im Raum Carnuntum zu rekonstruieren<sup>20</sup>. Dass es eine Vermessung des *ager Carnuntinus* in der Antike gegeben hat, wird man nicht zuletzt aufgrund der Größe und Bedeutung des antiken Carnuntum als Provinzhauptstadt und Legionsstandort voraussetzen müssen. Aufgrund von Analogien wäre es sogar denkbar, dass mehrere Vermes-

---

<sup>11</sup> CLAVEL-LÉVÊQUE – VIGNOT 1998; CLAVEL-LÉVÊQUE – OREJAS 2002.

<sup>12</sup> CHOUQUER – FAVORY 1991, 209–225.

<sup>13</sup> LAUR-BELART 1988, 37–38; PETERSON 1988a, 170; PETERSON 1997.

<sup>14</sup> HEIMBERG 1977, 56–72; LORENZ 1987, 41–45, 154–158.

<sup>15</sup> KANDLER 1997, 258–261; KANDLER – GUGL 2002, 121–126; GUGL 2003, 55–57.

<sup>16</sup> JOBST 1983, 85–124.

<sup>17</sup> HUMER – KANDLER 2003, 21–25; KANDLER 2003, 89–90.

<sup>18</sup> HUMER – KANDLER 2003, 5–21.

<sup>19</sup> NOWOTNY 1937.

<sup>20</sup> KANDLER 1977.

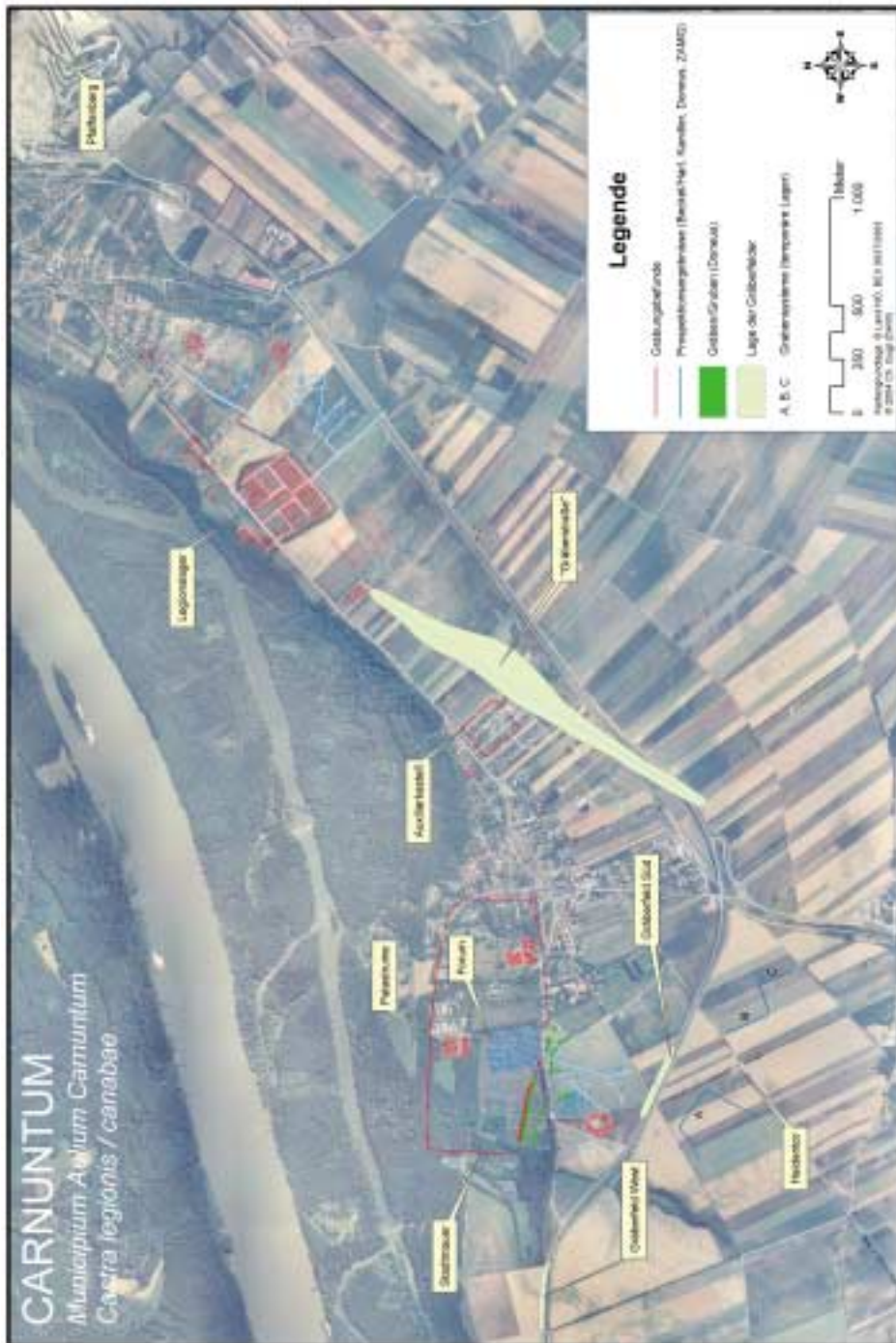


Abb. 2.3: Gesamtplan der römischen Siedlung Carnuntum (Stand 2004-09-20)

sungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattgefunden haben, deren Achsen voneinander abwichen bzw. die sich unter Umständen auch überlappten<sup>21</sup>.

Kandler gelang es bei seinen Grabungen im Nordosten des Legionslagers (*praetentura*-Ost) stratigrafisch deutlich zwischen dem ältesten Holz-Erde-Lager aus der zweiten Hälfte des 1. Jahrhunderts n. Chr. (Periode 1), dem ersten vollständig in Stein errichteten Lager des frühen 2. Jahrhun-

<sup>21</sup> CHOUQUER – FAVORY 1991, 163–170.



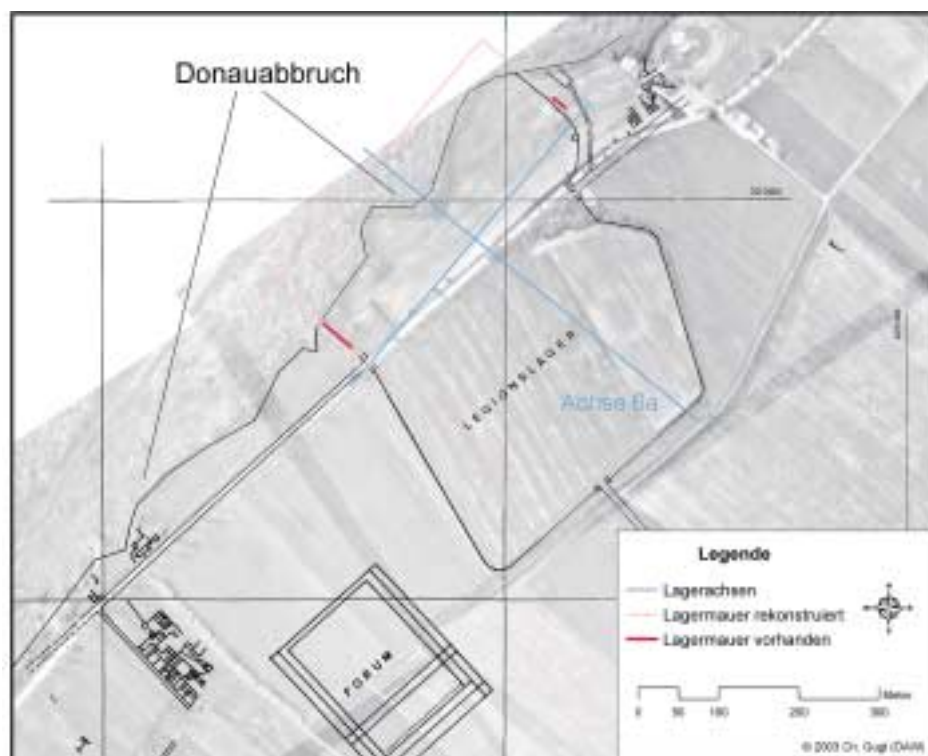


Abb. 2.4: Carnuntum: Rekonstruktion des frühkaiserzeitlichen Legionslagers (Kandler 1974) über dem schematischen Umriss der späteren Lagerbefestigung

derts n. Chr. (Periode 2), dem mittel- und spätkaiserzeitlichen Lager (Perioden 3–4), der spätantiken Bebauung (Perioden 5–6) und einer frühmittelalterlichen Nachnutzung des 9./10. Jahrhunderts (Periode 7) zu unterscheiden<sup>22</sup>. Die Grabungsergebnisse Nowotnys im Nordwesten des Lagers<sup>23</sup> konnten damit nicht nur bestätigt, sondern um wesentliche Details erweitert werden (Beilage 1):

- Die Baufluchten der beiden ältesten Legionslagerperioden 1 und 2 stimmen überein, weichen aber deutlich erkennbar von der Ausrichtung der Gebäude der Perioden 3 und 4 ab (Abb. 2.4). Die Orientierung der Befunde der Perioden 1–2 bezifferte Kandler mit  $129^\circ$  (von Norden aus im Uhrzeigersinn mit einer Kreiseinteilung von  $360^\circ$  gemessen), die der Perioden 3–4 mit  $135^\circ$ <sup>24</sup>.
- Ausgehend von den Grabungsergebnissen ließ sich die Breite des ältesten Lagers mit ihrer Südwest-Nordost-Erstreckung rekonstruieren<sup>25</sup>, während die Längsausmaße – insbesondere die Frage, ob nicht der größte Teil des ersten Lagers bereits der Donau zum Opfer gefallen ist – weiterhin offen blieben.
- Die beiden annähernd parallel verlaufenden Lagermauern ermöglichten Kandler auch die Rekonstruktion der Längsachse des Legionslagers (Perioden 1–2), für die er ebenfalls eine Orientierung von  $129^\circ$  annahm. Diese Linie wird im Folgenden als Achse 6a bezeichnet.

<sup>22</sup> KANDLER 1974; KANDLER 1979.

<sup>23</sup> NOWOTNY 1914; NOWOTNY 1924.

<sup>24</sup> KANDLER 1977, 145.

<sup>25</sup> KANDLER 1974, 27–29, 38–40.



---

Kandler stellte daraufhin einen Vergleich zwischen der Ausrichtung der Achse 6a und den bekannten Verläufen zweier römischer Fernstraßen im Umfeld des Legionslagers an<sup>26</sup>:

- Im Südwesten des Legionslagers ist auf über 3 km Länge der Verlauf der sogenannten „Gräberstraße“ auffallend, die sicher als direkte Überlandverbindung zwischen Carnuntum und Scarbantia (Sopron H) zeitgleich mit dem Carnuntiner Legionslager spätestens ab der Mitte des 1. Jahrhunderts n. Chr. angelegt wurde. Kandler ging davon aus, dass „der Zug der Gräberstraße (...) ungefähr im rechten Winkel zu beiden oben erwähnten Lagermauern zu beiden Seiten der *praetentura*“ verlief (Achse 2).
- Die zweite Fernstraße, die nach Gerulata (Rusovce SK) führte, soll zur Längsachse des Legionslagers parallel gelaufen sein. Kandler beruft sich auf Groller<sup>27</sup>, der auf einem Übersichtsplan zwei vom Legionslager nach Südosten führende Straßenzüge festhielt, wobei der östliche Ast direkt zwischen Hundsheimer Berg und Spitzerberg nach Gerulata verlief (Achse 3).

Diese Beobachtungen Kandlers mündeten in den folgenden Schlussfolgerungen<sup>28</sup>:

- Ein „Großteil der modernen Flurgrenzen“ stimmt auch heute noch mit der Ausrichtung dieser antiken Straßen sowie der (rekonstruierten) Längsachse des ältesten Legionslagers überein.
- Daraus „kann geschlossen werden, dass zwischen der Ausrichtung der antiken Straßen und dem modernen Flurgefüge ein innerer Zusammenhang bestehen muss, dessen Ursache die römerzeitliche Vermessung des Gebietes ist“.

Der Beitrag Kandlers wurde leider in der internationalen, vor allem französisch-, italienisch- und englischsprachigen Limitationsforschung nicht rezipiert. Dies mag einerseits daran liegen, dass der in Deutsch abgefasste Aufsatz an etwas abgelegener Stelle in ausgesprochen schlechter Druckqualität publiziert wurde. Die vier beigefügten Schwarz-Weiß-Abbildungen sind alle sehr kleinmaßstäbig (bis zu ca. 1 : 65.000) und können die von Kandler geschilderten Zusammenhänge nur ansatzweise illustrieren. Kandler unternahm jedoch andererseits auch keinen Versuch, ein großflächiges Limitationsraster zu rekonstruieren.

Das methodische Vorgehen Kandlers ist generell geprägt von einem rein visuellen Vergleich der Grabungsbefunde, der postulierten Lagerachse und des aktuellen Katasters im unmittelbaren Umfeld des Legionslagers<sup>29</sup>. Als Datengrundlage zog Kandler die publizierten archäologischen Pläne und die aktuellen topographischen Karten der Region heran, aus denen er die antiken Orientierungsachsen und die modernen Flurgrenzen manuell extrahierte. Ferner verwendete er den Katasterplan von 1868 der Gemeinde Deutsch-Altenburg, aus dem er die Flurgrenzen geringfügig schematisiert umzeichnete, um zu veranschaulichen, dass „sich am Prinzip der Flureinteilung (...) nicht viel geändert hat“<sup>30</sup>.

---

<sup>26</sup> KANDLER 1977, 146–148.

<sup>27</sup> GROLLER 1900, 52–57.

<sup>28</sup> KANDLER 1977, 147–149.

<sup>29</sup> KANDLER 1974, 38–40 Abb. 1.

<sup>30</sup> KANDLER 1977, 147 Abb. 3–4.

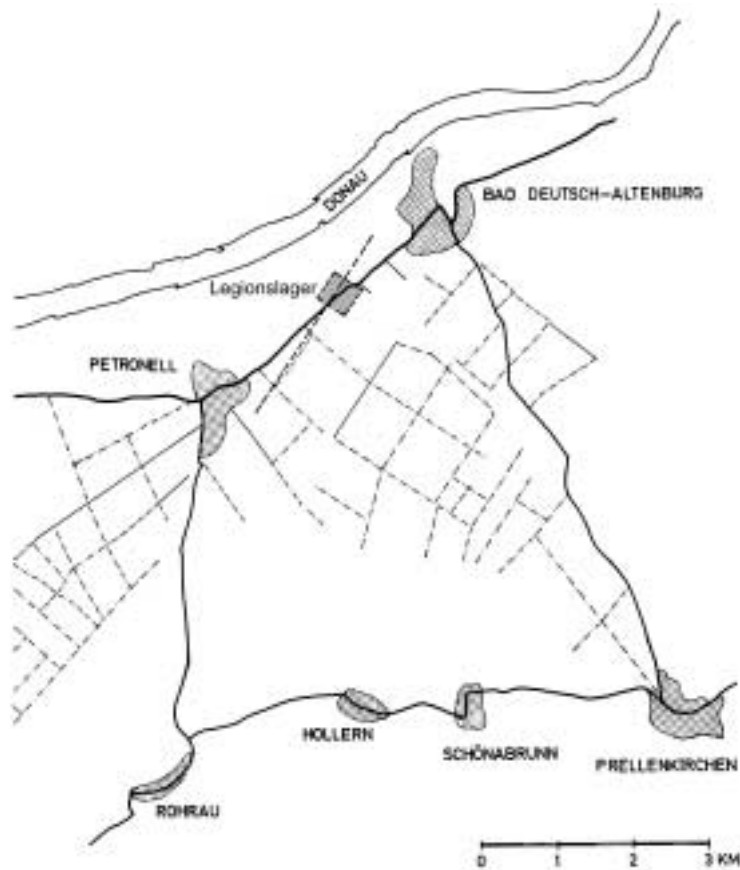


Abb. 2.5: Ausrichtung der Querachse des ältesten Carnuntiner Legionslagers und schematisierte Flurgrenzen im Raum Bad Deutsch-Altenburg und Petronell (nach: Kandler 1974)

### 3. METHODEN UND DATENGRUNDLAGE

#### 3.1 Methodenspektrum bei der Erforschung römischer Limitationssysteme

Bei seiner Studie zur römischen Limitation sah sich Manfred Kandler mit zwei Schwierigkeiten konfrontiert: In den 1970er-Jahren waren (analoge) Daten, die über antike Limitationsreste hätten Aufschluss geben können, für die archäologische Forschung im Raum Carnuntum kaum verfügbar. Dies hängt sicherlich mit der Geschichte der archäologischen Forschungstätigkeit in Carnuntum insgesamt zusammen, die erst mit den Grabungen im Legionslager (1968–1977) einen Aufschwung erlebte<sup>31</sup>. Ferner waren in diesen frühen Jahren adäquate Methoden bei der Erforschung römischer Limitationssysteme noch kaum entwickelt.

In den 1950er- und 1960er-Jahren stand die Identifizierung von antiken Vermessungsrastern aus der Luft im Vordergrund. Bradford<sup>32</sup>, Raymond Chevallier<sup>33</sup> und Caillemier – Chevallier<sup>34</sup> zogen dafür SW-Fotos heran, in ers-

<sup>31</sup> KANDLER 1998, 14–18.

<sup>32</sup> BRADFORD 1957.

<sup>33</sup> R. MATIJAŠIĆ – F. TASSAUX in: TASSAUX – MATIJAŠIĆ – KOVAČIĆ 2001, 29–30.

<sup>34</sup> CAILLEMER – CHEVALLIER 1957, 45–46 Taf. 8–11.

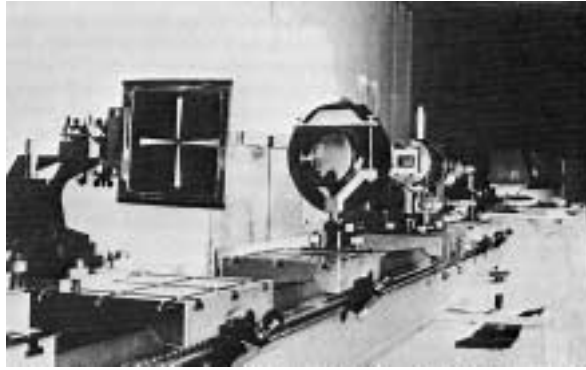


Abb. 3.1: Apparatur zur Richtungsfilterung von Lichtspektren (*banc du filtrage*)

ter Linie Senkrechtaufnahmen der militärischen Luftbildaufklärung (Royal Air Force) oder Ergebnisse der kartografischen Landesaufnahme (Institut Géographique National Paris). Die identifizierten Limitationsreste wurden zumeist in stark schematisierten, kleinmaßstäblichen Plänen ohne Luftbildentzerrung eingetragen, sodass die publizierten Kartenausschnitte mitunter ganze Großräume wie Istrien oder Mitteldalmatien (Trogir-Split) umfassten<sup>35</sup>. An Systematik kaum zu überbieten ist dagegen der von André Piganiol herausgegebene „Atlas des Centuriations Romaines de Tunisie (Paris 1954)“, der 43 farbige Kartenblätter im Maßstab 1:50.000 mit der Dokumentation der beobachteten Limitationsreste enthielt.

Eine intensivere Auseinandersetzung erfolgte ab den späten 1970er-Jahren, wobei sich die französische Forschung federführend bei der Suche nach neuen Methoden hervortat. Um aus Luftbildern die Orientierung der Flurgrenzen ableiten zu können, konstruierte man aufwändige Apparaturen (*banc du filtrage*) zur optischen Filterung (*filtrage optique*), die auch eine quantitative Auswertung der richtungsgefilterten Lichtspektren erlaubten<sup>36</sup>. In dieser Phase der Limitationsforschung ist insbesondere die im Raum Lecce (Apulien) angesiedelte Arbeit von Compatangelo<sup>37</sup> hervorzuheben, die erstmals versuchte, die manuell aus analogen Karten umgezeichneten Orientierungsdaten statistisch auszuwerten. Sie analysierte unter anderem die Häufigkeitsverteilungen der aufsummierten linearen Strukturen pro Flächeneinheit unter Verwendung von Statgraphics 1.2 mit deskriptiven statistischen Verfahren<sup>38</sup>, bediente sich aber auch der Korrespondenzanalyse, um die Zusammenhänge von aufgemessenen Flächen mit diversen Bodentypen zu quantifizieren<sup>39</sup>. Ferner gelang es Compatangelo, eine Spektralanalyse und eine Fourier-Transformation von Luftbildern durchzuführen, deren Ergebnisse sie in Form von Periodogrammen vorlegte und diskutierte<sup>40</sup>. Die Angaben zu den verwendeten Hilfsmitteln bzw. die Beschreibung der Arbeitsschritte sind dabei leider allzu knapp ausgefallen.

Zu Beginn der 1990er-Jahre beschäftigte sich das *Laboratoire d'Optique* der *Université de Besançon* mit der Entwicklung eines automatisierten Verfahrens zur Ableitung von Orientierungsdaten aus Luftbildern. Infolge der

<sup>35</sup> z. B. BRADFORD 1957, Abb. 16–17 Taf. 40–46.

<sup>36</sup> FAVORY 1980; DARBANDI – GUY 1981.

<sup>37</sup> COMPATANGELO 1989.

<sup>38</sup> COMPATANGELO 1989, 144–159.

<sup>39</sup> COMPATANGELO 1989, 194–223.

<sup>40</sup> COMPATANGELO 1989, 161–172.

---

leichteren Verfügbarkeit insbesondere von SPOT-Satellitenbildern und der großen Fortschritte in der digitalen Bildverarbeitung konnten Bildverbesserungsverfahren wie Hochpassfilter (Sobel-Filter)<sup>41</sup>, Kontraststreckung und Kantenverstärkung<sup>42</sup> eingesetzt werden. Am Ende des Bildbearbeitungsprozesses sollten Linienelemente digital extrahiert werden, die über ihre Längen- und Orientierungseigenschaften selektiert werden konnten<sup>43</sup>. Die veröffentlichten Berichte weisen allerdings zumeist einen sehr summarischen Charakter auf, sodass bezüglich des Einsatzes der verwendeten Software und vor allem der Qualität der erzielten Ergebnisse viele Fragen offen bleiben. Bei den Forschungen des *Laboratoire d'Optique* stand weniger die wissenschaftlich analytische Auswertung der gewonnenen Daten im Vordergrund, sondern vielmehr die Intention, verbesserte technische Möglichkeiten zu erschließen, die der Entdeckung von antiken Limitationsresten dienen (Exploration, Prospektion).

Auf diesem Sektor war neben Compatangelo vor allem John Peterson in England (Middlesex, Hertfordshire, Essex) innovativ tätig. Neben statistischen Untersuchungen zur (zufälligen?) Verteilung von Flur- bzw. Straßenkreuzungen im Kontext mit dem Verlauf römischer Straßen und Vermessungsachsen<sup>44</sup> führte Peterson auch Versuche mit Computer-Simulationen durch, um das wahrscheinlichste Vermessungsraster zu ermitteln. Leider wurde dieser in einem Bericht nur knapp skizzierte Ansatz nicht weiter verfolgt<sup>45</sup>. Ein weiterer Schwerpunkt seiner Tätigkeiten war die Beschäftigung mit antiken Planungsvorstellungen und deren mathematischen Grundlagen, insbesondere die Einbindung von „schräg“ zum orthogonalen Vermessungsraster verlaufenden römischen Straßen (*oblique planning*)<sup>46</sup>. Peterson wandte auch eine in MathCAD implementierte Fast-Fourier-Transformation an, um die Untergliederung von Zenturien in South Norfolk zu untersuchen<sup>47</sup>.

Mitte der 90er-Jahre hatte sich also bereits ein vielfältiges Spektrum unterschiedlicher Methoden entwickelt, die Kandler 1976 noch nicht zur Verfügung gestanden hatten.

In der Limitationsforschung kam es erst in den Folgejahren zu einem intensivierten Einsatz von GIS-Technologie, wobei von dem COST G2-Projekt „Paysages anciens et structures rurales (PASTA)“ wichtige Impulse ausgingen. Im Rahmen dieses 1995–2001 von der EU geförderten Projekts ließ sich mit der „Cadastre GRID software“ (Version 2.1: Release Dezember 1998), einer auf die Bedürfnisse der Limitationsforschung angepassten MapInfo-Erweiterung, auch eine Software-Entwicklung realisieren, die beispielsweise bei der Rekonstruktion der römischen Limitation im südöstlichen Teil der Region Béziers zum Einsatz kam<sup>48</sup>.

In einem parallel dazu laufenden belgischen Forschungsprojekt unter der Leitung von Frank Vermeulen spielte die GIS-Komponente ebenfalls eine zentrale Rolle. In verschiedenen Fallstudien waren durch eine systematisierte Form der Datenerhebung und Vektorisierung erstmals konkrete Aussagen

---

<sup>41</sup> CHARRAUT – JOURDAIN 1994, 167–168.

<sup>42</sup> CHARRAUT – FAVORY 1993, 47–48.

<sup>43</sup> DELÉZIR – GUY 1993, 74–77.

<sup>44</sup> PETERSON 1988a, 171–177: Kolmogorov-Smirnov-Test.

<sup>45</sup> PETERSON 1988b, 146 Tab. 8.5.

<sup>46</sup> PETERSON 1988a, 173–174; PETERSON 1988b, 135–140; PETERSON 1992b, 194–195.

<sup>47</sup> PETERSON 1992a; PETERSON 1996a.

<sup>48</sup> CLAVEL-LÉVÊQUE et al. 2000; CLAVEL-LÉVÊQUE et al. 2001.

---

zur Datenqualität der georeferenzierten Kartengrundlagen möglich<sup>49</sup>. Die Generierung eines (groben) digitalen Geländemodells erlaubte ferner die Durchführung von Sichtbarkeitsanalysen, die Abweichungen des tatsächlichen römischen Straßenverlaufs von der direkten Verbindung (Luftlinie) zwischen zwei Straßenknotenpunkten erklären können<sup>50</sup>. Bei der vergleichenden Bewertung der Flurorientierungen begnügte man sich mit einer visuellen Analyse (*visual overlay*) und dem Einsatz deskriptiver Statistik in Form von Orientierungshistogrammen. Einen interessanten Lösungsansatz bildete die Klassifizierung der Linienorientierungen mit Hilfe von „fuzzy sets“ in acht Klassen, die mit unterschiedlichen, kontinuierlich abgestuften Farbwerten visualisiert wurden<sup>51</sup>.

### 3.2 Statistische Auswertung von Lineamenten

In der Erforschung römischer Limitationssysteme hat sich der Einsatz von GIS bei der Datenerfassung und -auswertung mittlerweile durchaus etabliert und die sehr zeitaufwendige, graphisch-manuelle Darstellung und Auswertung von Flurgrenzen abgelöst (vgl. Kap. 3.1). Wie der Titel eines Beitrags von Antrop – Wiedemann andeutet<sup>52</sup>, handelt es sich stets um eine Untersuchung von linearen Strukturen, die in einem GIS als Liniengeometrien abgebildet werden.

In der Geologie verwendet man den Begriff Fotolineationen für im Luftbild erkennbare lineare oder kurvilineare Elemente einer Landschaft, die sich beispielsweise in der Morphologie, im Entwässerungsnetz und im Bewuchs abzeichnen. Während in der Photogeologie Lineationen (Lineamente) kartiert werden, die auf tektonische Strukturen zurückgehen<sup>53</sup>, stehen in der Limitationsforschung naturgemäß landnutzungsbedingte Lineationen, wie Straßen, Wege, Heckenreihen, Grundstücksgrenzen, Waldgrenzen, Kanäle etc., im Vordergrund.

In den schon mehrfach genannten belgischen Arbeiten wurden zwei methodisch-analytische Ansätze verwirklicht:

- Der erste Schritt bestand darin, eine Visualisierung der Linienelemente über ihre Attributwerte durchzuführen. Antrop – Vermeulen – Wiedemann<sup>54</sup> berechneten die Orientierung, indem sie die Polylinien mit AutoCAD LT (Funktion: *explode*) auflösten und die x- und y-Koordinaten der Linienobjekte exportierten. Die Berechnung der Orientierung und der Länge eines jeden Liniensegmentes erfolgte in einer Tabellenkalkulation. Die um die Längen- und Orientierungsangaben erweiterte Tabelle konnte wieder in die GIS-Software übernommen werden.
- Die Beschreibung der Linienelemente beschränkte sich auf einfache statistische Maße und vor allem Orientierungshistogramme, mit deren Hilfe

---

<sup>49</sup> ANTROP – VERMEULEN – WIEDEMANN 2001, 63–67; VERMEULEN – HAGEMAN – WIEDEMANN 2000, 224–228; ANTROP – WIEDEMANN 2001, 46–48.

<sup>50</sup> ANTROP – VERMEULEN – WIEDEMANN 2001, 70–76; WIEDEMANN – ANTROP – VERMEULEN 2001b.

<sup>51</sup> WIEDEMANN – ANTROP – VERMEULEN 2001a, 117–130.

<sup>52</sup> ANTROP – WIEDEMANN 2001: „Using GIS to study ancient linear marks“.

<sup>53</sup> KRONBERG 1984, 251–252.

<sup>54</sup> ANTROP – VERMEULEN – WIEDEMANN 2001, 68–69 Abb. 9; ANTROP – WIEDEMANN 2001, 64 Abb. 36.

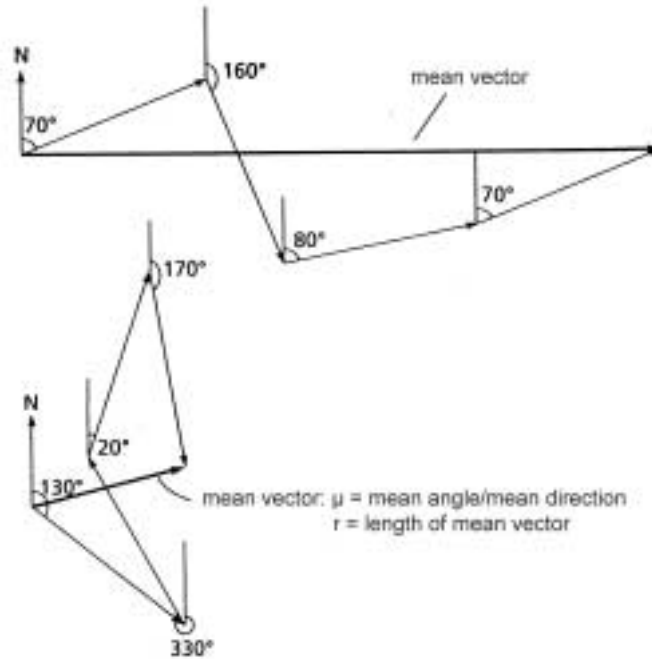


Abb. 3.2: Zirkuläre Statistik: grafische Darstellung des zirkulären Mittelwerts (*mean vector*)

- sie die Anzahl der Linienelemente pro Orientierungsklasse, aber erstaunlicherweise niemals die aufsummierten Längen pro Klasse darstellten<sup>55</sup>.
- Die Möglichkeit statistischer Analysen wird zwar angesprochen, aber statistische Maßzahlen selten dezidiert angeführt oder zu Vergleichen verwendet. Ist dies jedoch der Fall, kommen Verteilungsfunktionen, Lage- und Streuungsparameter der klassischen Statistik (*normal distribution, mean value, standard deviation*) zum Einsatz<sup>56</sup>.

Bei Orientierungswerten handelt es sich zwar um numerische Daten, doch liegt ein sogenannter zirkulärer Datentyp vor. Als zirkuläre Daten sind solche Daten zu betrachten, die mit zyklischen Werteskalen in Verbindung stehen, beispielsweise Orientierungsangaben in Grad (Kreisskala) oder Messwerte des Tages- und Jahreszyklus. Dass dies ein Anwendungsfeld der zirkulären Statistik ist, sei an einem einfachen Beispiel demonstriert: Wenn man den Mittelwert von zwei Richtungsangaben wie  $1^\circ$  und  $359^\circ$ , die beinahe die Nordrichtung repräsentieren, berechnen wollte, ergäbe das simple arithmetische Mittel ein Ergebnis von  $180^\circ$ , also genau Süden<sup>57</sup>. In der zirkulären Statistik kommen deshalb Winkelfunktionen bei der Berechnung der wichtigsten deskriptiven Maße zum Einsatz.

Grundsätzlich ist zwischen Richtungsdaten (*directional data, unidirectional data*) und Orientierungsdaten (*oriented data, bidirectional data*) zu unterscheiden<sup>58</sup>, wobei in der Limitationsforschung in der Regel Orientierungsdaten vorliegen.

Als ein wesentliches Grundkonzept der zirkulären Statistik ist der *mean vector* zu nennen, der durch die Aneinanderreihung der Einzelvektoren ent-

<sup>55</sup> WIEDEMANN – ANTROP – VERMEULEN 2001a; CLAVAL-LÉVÊQUE et al. 2001.

<sup>56</sup> WIEDEMANN – ANTROP – VERMEULEN 2001a, 126.

<sup>57</sup> SWAN – SANDILANDS 1995, 198.

<sup>58</sup> SWAN – SANDILANDS 1995, 193–194; LEE – WONG 2001, 98–99.

steht (Abb. 3.2)<sup>59</sup>. Er besitzt zwei Eigenschaften: seine Richtung ( $\mu = \text{mean angle/mean direction}$ ) und seine Länge ( $r = \text{length of mean vector}$ ).

$$\mu = \tan^{-1}(x_r/y_r)$$

Die verwendete Notation folgt Kovach<sup>60</sup>, während Swan – Sandilands<sup>61</sup> und Mardia – Jupp<sup>62</sup> die *mean direction* mit  $\bar{\theta}$  und die *mean resultant length* mit  $\bar{R}$  notieren.

Jeder einzelne Vektor weist folgende Komponenten auf:

$$\begin{aligned} x_i &= \sin \mu_i \\ y_i &= \cos \mu_i \end{aligned}$$

sodass sich der resultierende Vektor zusammensetzt aus:

$$\begin{aligned} x_r &= \sum \sin \mu_i \\ y_r &= \sum \cos \mu_i \end{aligned}$$

Die Länge des *mean vector* kann einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen, wobei ein größerer Wert darauf hinweist, dass die Winkelangaben sich enger um den Mittelwert gruppieren.

$$r = \sqrt{(x_r^2 + y_r^2)}$$

Unter den Verteilungsfunktionen für zirkuläre Daten kommt die sogenannte Von Mises-Verteilung am häufigsten zur Anwendung. Ihre unimodale und symmetrische Form ist mit einer Normalverteilung in der klassischen Statistik vergleichbar. Die Von Mises-Verteilung  $M(\mu, \kappa)$  weist zwei Parameter auf: die *mean direction*  $\mu$  und den Konzentrationsparameter  $\kappa$ . Letzterer misst die Abweichung einer beliebigen Verteilung von einer uniformen Verteilung, also der Gleichverteilung der Daten in einer Kreisskala. Der Wert  $\kappa = 0$  bezeichnet eine uniforme Verteilung<sup>63</sup>.

Ein in der vorliegenden Untersuchung eingesetztes Streuungsmaß ist die zirkuläre Varianz  $V$  (*circular variance*), die die Variabilität der Richtungen einer Reihe von Vektoren wiedergibt<sup>64</sup>.

$$V = 1 - r$$

Die zirkuläre Varianz hat gegenüber dem *length of mean vector* den Vorteil, dass höhere Werte von  $V$  eine größere Variabilität der Daten anzeigen, wohingegen ein Wert von 0 eine völlige Übereinstimmung aller Richtungsdaten einer Stichprobe ausdrückt.

Methoden der zirkulären Statistik bilden überall dort einen wichtigen Bestandteil, wo quantifizierende Richtungsanalysen ausgeführt werden, etwa bei der strukturgeologischen Auswertung von Fotolineationen (*lineaments, fracture traces*). Neben der Bestimmung der Richtungsverteilung von Lineamenten und deren Darstellung in Histogrammen und Kluftrosen sind die Häufigkeit und die Länge der Fotolineationen pro Streichrichtung (*azimuth*

<sup>59</sup> SWAN – SANDILANDS 1995, 199–201 Abb. 5.4.

<sup>60</sup> KOVACH 2003, 43–51.

<sup>61</sup> SWAN – SANDILANDS 1995, 200–201.

<sup>62</sup> MARDIA – JUPP 2000, 13–17.

<sup>63</sup> SWAN – SANDILANDS 1995, 201–204; MARDIA – JUPP 2000, 36–37 Abb. 3.1.

<sup>64</sup> SWAN – SANDILANDS 1995, 201; MARDIA – JUPP 2000, 17–18; LEE – WONG 2001, 110–113.



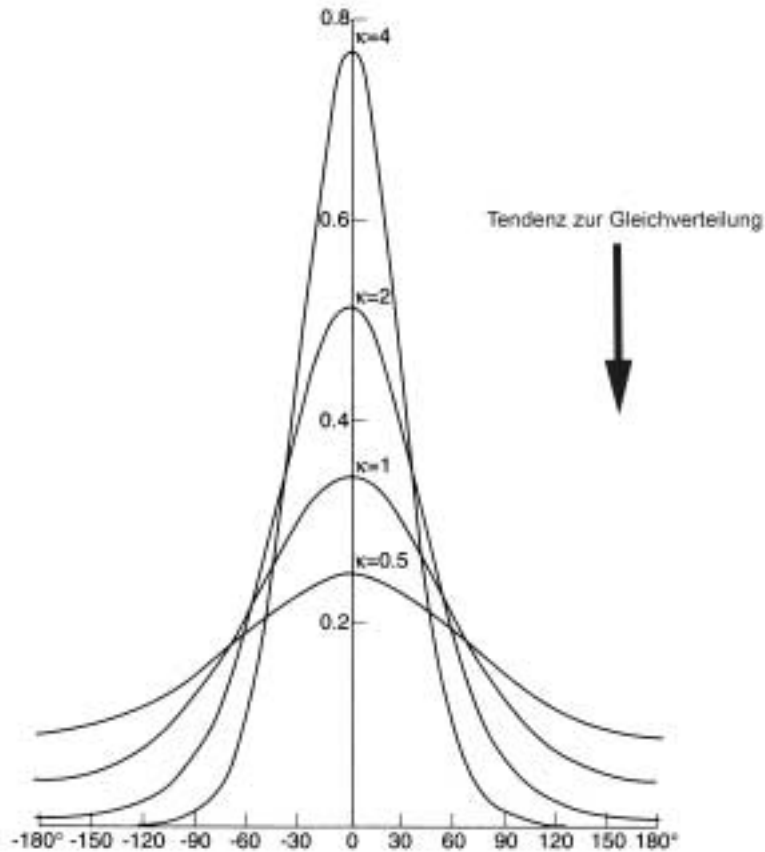


Abb. 3.3: Darstellung der Von Mises-Verteilung: geringere Werte von  $\kappa$  bezeichnen eine größere Gleichverteilung der Daten

*frequency*) sowie die Fotolineationsdichte (Gesamtlänge/Fläche) von besonderem Interesse<sup>65</sup>.

### 3.3 Die Carnuntiner Daten und Probleme ihrer Genauigkeit

Bis Ende 2002 konnte das Institut für Kulturgeschichte der Antike (Österreichische Akademie der Wissenschaften) auf keinen nennenswerten Bestand an digitalen Geodaten zurückgreifen. Für den Raum Carnuntum stand zwar reichlich analoges Datenmaterial zur Verfügung, ein großer Teil davon stammte noch aus dem Tätigkeitszeitraum von Manfred Kandler. Neben den umfangreichen archäologischen Plänen befinden sich im Archiv des Instituts auch zahlreiche Blätter der Ortskataster von Petronell und Bad Deutsch-Altenburg aus dieser Zeit. Ferner ist eine Serie von (analogen) Orthofotos im Maßstab 1 : 2.000 vorhanden, die das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien (Peter Waldhäusl) mit aufwändigen optischen Entzerrungsverfahren herstellte<sup>66</sup>.

2003 erfolgte die Digitalisierung der publizierten archäologischen Befunde, sowohl der Grabungs- als auch der vorliegenden Prospektionsergebnisse, in Kooperation mit dem Museum Carnuntinum (Franz Humer). Bei der

<sup>65</sup> KRONBERG 1984, 253–255; KRONBERG 1985, 193–208.

<sup>66</sup> JOBST et al. 1983.



Abb. 3.4: Raumabdeckung der ausgewerteten Daten

Aufarbeitung der Legionslagergrabungen 1968–1977 konnte bereits im Laufe des Jahres 2003 für die Auswertung der Befunddokumentation GIS-Software (ESRI ArcGIS 8.2) eingesetzt werden. Im Zuge dieser Umstrukturierung wurde außerdem die Grundlage für ein digitales Bildarchiv geschaffen, das publizierte Pläne und Fotos aus der Region Carnuntum umfasst. Parallel dazu schaffte sich das Institut eine Reihe weiterer Geobasisdaten an, darunter vor allem Orthofotos des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen (BEV) sowie frei verfügbare SPOT-Satellitenbilder.

Bei der Vorstellung der Datengrundlagen sind zunächst die Rasterdaten anzuführen. Um einen Überblick über die Raumabdeckung der herangezogenen Geobasisdaten zu gewinnen, sei auf Abb. 3.4 verwiesen.

- Die digitalen Orthofotos (Tab. 3.1) liegen im Landeskoordinatennetz bzw. im Bundesmeldenetz (Meridianstreifen M34) vor. Die Schwarzweiß-Bildserie (Flugdatum: 2000) wird vom BEV auch in analoger Form im Maßstab 1:10.000 und 1:5.000 zur Verfügung gestellt. Die Farb-Orthofotos der Jahre 2003/2004 lassen sich zudem für Maßstäbe im Bereich bis zu 1:2.000 analog erwerben. Bei der automatisierten Vektorisierung bildeten die digitalen Orthofotos die Datengrundlage (vgl. Kap. 4.5), wobei dafür nur die SW-Fotos herangezogen wurden, da sie eine größere Raumabdeckung und ein deutlich geringeres Datenvolumen aufweisen als die Farbfotos. Die farbigen Orthofotos eignen sich in besonderem Maße für die Identifizierung und Interpretation von Bewuchsmerkmalen, sodass der archäologische Stadtplan auf dieser Grundlage ergänzt werden konnte. Die erstaunlich gut erkennbaren Trocken- und Feuchtigkeitsmarken erlaubten ferner einen Vergleich mit veröffentlichten und vektorisierten Plänen, vor allem den älteren Luftbildentzerrungen, sodass dafür sehr schnell und einfach Genauigkeitskontrollen durchgeführt werden konnten.
- Das von der National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) angebotene SPOT-Satellitenfoto (© CNES/SPOT Image 1992–1994), das im geodätischen Datum WGS84 vorliegt, diente ebenfalls als Datengrundlage bei der

automatisierten Vektorisierung (vgl. Kap. 4.5). Es weist die größte Raumabdeckung sämtlicher zur Verfügung stehender Rasterdaten bei vergleichsweise geringem Datenvolumen auf. Leider stehen westlich der Linie Regelsbrunn-Breitenbrunn keine frei verfügbaren SPOT-Daten zur Verfügung (Abb. 3.4).

Tab. 3.1. Ausgewertete Fernerkundungsdaten (technische Angaben des Herstellers/Datenlieferanten). Zur Raumabdeckung vgl. Abb. 3.4

Fernerkundungsdaten	mittlerer Bildmaßstab des Luftbilds	Bodenauflösung des Orthofotos [m]	Genauigkeit im flachen Gelände [m]
Orthofotos (SW)	1 : 30.000	0,5	0,5–1
Orthofotos (Farbe)	1 : 15.000	0,25	0,5–1
SPOT-Satellitenfoto (pan)	n/a	10	< 25

Bei der Beurteilung der Struktur des Flursystems im 19. Jahrhundert konnte auf folgende Altkataster zurückgegriffen werden:

- Das Katastralmappenarchiv des BEV stellte acht Blätter der Franziszeischen Katastermappe in Form von A3-formatigen Farbplots auf Fotopapier sowie als höher aufgelöste SW-Scans bereit. Die im Maßstab 1 : 2.880 angefertigten Originalblätter datieren in den Gemeindegebieten von Bad Deutsch-Altenburg und Petronell in das Jahr 1819. Die Farbplots mussten für die Untersuchung mit einer Auflösung von 400 ppi am institutseigenen A3-Scanner wieder digitalisiert werden. Bei der mit ArcGIS durchgeführten Georeferenzierung ließ sich hinsichtlich der Lagegenauigkeit ein durchschnittlicher RMS-Fehler von 4,61 m erzielen; ein Wert, der bei vergleichbaren historischen Daten, wie beispielsweise in den eingangs erwähnten belgischen Untersuchungen ebenfalls erzielt wurde<sup>67</sup>. Schwierigkeiten gab es dabei mit Blatt 05109-11, wo ein RMS-Fehler von ca. 10 m auftrat, da die Agrarflächen südlich von Petronell keine verlässlichen Passpunkte aufwiesen. Die Autoren der genannten belgischen Studie im Raum Cassel gehen bei ihren Altkatastern aufgrund der fehlenden Kartenprojektionen und der Nichtberücksichtigung des Geländereiefs von einer Lagegenauigkeit von rund 10 m aus<sup>68</sup>.
- Die Gemeinde Bad Deutsch-Altenburg stellte einen historischen Katasterplan (Maßstab: 1 : 10.000) zur Verfügung, der „vor Durchführung der Zusammenlegung der landwirtschaftlichen Grundstücke“ angefertigt worden war. Es gelang, den Gesamtplan, der den Zustand vor der großen Kommassierung von 1910/1911 festhält, in vier Scanvorgängen zu erfassen und mit einem durchschnittlichen RMS-Fehler von 4,47 m zu georeferenzieren. Daher konnte auf eine Vektorisierung der Einzelblätter des Franziszeischen Katasters in Bad Deutsch-Altenburg verzichtet werden, denn das Ziel war die Darstellung des Zustands der Flurorientierungen vor 1911, wobei die Strukturbewertung der Parzellenausrichtungen im Vordergrund stand. Diese Vorgangsweise sollte ausreichend sein, solange es nur darum geht, die Abweichungen vom aktuellen Kataster zu beurteilen und keine diachrone Landschaftsbewertung im Sinne der historischen Landschaftsanalyse<sup>69</sup> durchzuführen.

<sup>67</sup> ANTROP – VERMEULEN – WIEDEMANN 2001, 65.

<sup>68</sup> ANTROP – VERMEULEN – WIEDEMANN 2001, 65.

<sup>69</sup> BENDER – JENS 2004.

- 
- Der zweite Übersichtskataster der Gemeinde Bad Deutsch-Altenburg (Maßstab: 1 : 10.000) stellte den Zustand „nach Durchführung der Zusammenlegung der landwirtschaftlichen Grundstücke“ dar. Es handelt sich um eine Zusammenzeichnung des Kommassierungsplans von 1912, dessen Original am Vermessungsamt Neusiedl/See (sechs Bögen M. 1 : 2.500, ein Bogen M. 1 : 1.250) verwahrt wird. Der ebenfalls in vier Teilschritten gescannte Übersichtskataster ließ sich mit einem durchschnittlichen RMS-Fehler von 4,47 m georeferenzieren.

Der verwendete Auszug aus der aktuellen digitalen Katastermappe (DKM) gibt die Parzellengrenzen mit einer Flächenabdeckung von rund 40,27 km<sup>2</sup> wieder. Die verfügbare DKM deckt damit einen weitaus größeren Bereich ab als die vektorisierten Bereiche des Altkatasters (ca. 12,30 km<sup>2</sup>).

Bei der Erstellung des Gesamtplans von Carnuntum wurden die archäologischen Befunde als Polylinien erfasst. Diese Lösung ist für einen kleinmaßstäbigen Übersichtsplan durchaus geeignet (Abb. 2.3). Ein Problem, das bei der Anfertigung von Gesamtplänen langjähriger archäologischer Grabungen immer wieder auftritt, stellen die qualitativen Unterschiede in der Lagegenauigkeit der Altgrabungen dar, die auch in Carnuntum zu erwarten sind. Die Schwierigkeiten bei der Georeferenzierung von alten Grabungsplänen resultieren – neben offensichtlichen Vermessungsfehlern der Ausgräber<sup>70</sup> – in erster Linie aus der Tatsache, dass nur sehr wenige topografische Fixpunkte für eine Einpassung verwertbar sind. Die Notwendigkeit, Altbefunde in einen archäologischen Gesamtplan zu integrieren, bleibt aber unbestritten, nicht zuletzt deshalb, weil gerade im späten 19. und frühen 20. Jahrhundert viele urbanistisch bedeutende Denkmäler großflächig freigelegt wurden.

Offensichtliche Lageungenauigkeiten bestehen auch bei den älteren Luftbildentzerrungen, die analog-photogrammetrisch mit optisch-mechanischen Entzerrungsverfahren durchgeführt wurden. Vergleicht man diese exemplarisch mit den neuesten Farb-Orthofotos, sind Abweichungen um bis zu 10 m festzuhalten. Da der archäologische Stadtplan von Carnuntum bei der folgenden Untersuchung der römischen Landvermessung, die sich auf das Umland der Stadt konzentriert, eher eine sekundäre Rolle spielt, sollen derartige Probleme in diesem Kontext nicht weiter thematisiert werden.

### 3.4 Arbeitsabläufe und verwendete Software

Die vorliegenden Geobasis- und Geofachdaten umfassen unterschiedliche Formen von Liniengeometrien. Es gibt:

1. sowohl Polylinien mit 1 Segment,
2. als auch Polylinien aus mehreren verbundenen Segmenten sowie
3. Ketten aus mehreren aneinander gereihten Polylinien.

Im Datenbestand sind allerdings keine Polylinien aus nicht zusammenhängenden Segmenten vorhanden (*multipart polyline*).

Die Berechnung der Orientierungsdaten erfolgte in ESRI ArcView 3 mit Hilfe des Avenue-Scripts „*Statistical Analysis with ArcView GIS*“, das zu den

---

<sup>70</sup> HARL 1989, 537–539; DONEUS – GUGL 1999, 187–189, 193–196.

---

Ausführungen und Anwendungsbeispielen in Lee – Wong<sup>71</sup> frei verfügbar ist. Mit der Funktion *Add Length and Angle* lassen sich:

- die Orientierungsdaten ermitteln, wobei der Winkel vom Anfangspunkt zum Endpunkt der Linie im Bezug auf die Nordrichtung gemessen wird.
- die Gesamtlänge der Polylinie (*true length*) bestimmen.
- die Länge zwischen dem Anfangsknoten und dem Endknoten der Polylinie (*straight-line length*) erfassen.

Bei der Berechnung der Orientierung von Polylinien, die aus mehreren Segmenten bestehen, wird die *mean direction* der Einzelsegmente herangezogen. In Einzelfällen (vgl. Kap. 4.5) erwies es sich als vorteilhafter, komplexe Polylinien vor der Orientierungsbestimmung in ihre Einzelsegmente zu zerlegen. Dies erfolgte mit dem Avenue-Script „*Point & Polyline Tools v1.2*“.

Bei der statistischen Auswertung der Orientierungsdaten wurde auf Oriana 2.0.2 zurückgegriffen. Die Software erlaubt die Berechnung einer Reihe von Lage- und Streuungsparameter, die Ausführung statistischer Signifikanztests und von Korrelationsanalysen für mehrere zirkuläre Datentypen, darunter auch dem Datentyp *Axial*, der für Orientierungsdaten vorgesehen ist. Ferner bietet Oriana eine große Auswahl an grafischen Darstellungsmöglichkeiten für zirkuläre Daten.

Für die Weiterverarbeitung der Daten stand ESRI ArcGIS 8.2 zur Verfügung, mit dem der komfortable Export über das VBA-Script „*XTools 3.1*“ in die Tabellenkalkulation MS Excel möglich ist.

#### 4. ANALYSE VON RÖMISCHEN LIMITATIONSSYSTEMEN IN CARNUNTUM MIT STATISTIK- UND GIS-METHODEN

##### 4.1 Antike Straßen und Vermessungsachsen im Raum Carnuntum

Bei der Definition der antiken Straßen- und Vermessungslinien ist nicht nur auf die bei Kandler<sup>72</sup> angeführten Achsen einzugehen, sondern darüber hinaus sollen weitere, aus den Luftbildern und Grabungsbefunden zu erschießende Achsen berücksichtigt werden (Beilage 1).

##### Achse 1

Südwestlich des Schaffelhof lassen sich in der sogenannten Ziegelofenbreite (Abb. 4.1) auf einer Länge von rund 280 m deutliche Trockenmarken der römischen Fernstraße Carnuntum – Scarbantia („Bernsteinstraße“) im Luftbild erkennen. Die Römerstraße verschwindet unter einer heute noch existierenden Straßenverbindung, die über rund 5,2 km geradlinig Richtung Bruck/Leitha verläuft. Erst ca. 2,5 km vor Bruck/Leitha beschreibt die heutige Straßenverbindung einen leichten Knick, doch wird grundsätzlich die Flucht der Römerstraße beibehalten.

Es ist naheliegend, aus dem Luftbildbefund abzuleiten, dass die moderne Straße der römischen Fernstraße folgt. Bereits in der josephinischen Landes-

---

<sup>71</sup> LEE – WONG 2001.

<sup>72</sup> KANDLER 1977.

---

aufnahme ist diese Achse eingezeichnet<sup>73</sup>. In der älteren archäologischen Literatur findet sich die Bezeichnung „die alte Straße“, ohne dass ein antiker Ursprung dieser Straßenachse in Erwägung gezogen wurde<sup>74</sup>.

Orientierung: 40,0° (220,0°)

#### Achse 2

Achse 2 repräsentiert dieselbe römische Straße, allerdings in unmittelbarer Nähe des Legionslagers. Die aufgrund der hier lokalisierbaren großen römischen Nekropole als „Gräberstraße“ bezeichnete Achse hatte Kandler<sup>75</sup> als eine der Ausgangslinien der antiken Vermessung herangezogen. Die Straßen-trasse verläuft zwischen dem Legionslager und dem Schaffelhof, wie auf Luftbildern zu sehen ist, nicht völlig geradlinig. Die Rekonstruktion der Achse 2 basiert auf einer ca. 230 m langen Trockenmarke nordöstlich von Schaffelhof und des letzten im Luftbild noch erkennbaren Teilstücks der Gräberstraße ca. 380 m vor der Westfront des Lagers.

Orientierung: 32,21° (212,21°)

#### Achse 3

Achse 3 bezeichnet die Straße nach Gerulata (Rusovce SK), wobei jedoch nur der über das Luftbild gesicherte Bereich südwestlich von Hundsheim ausgewertet wurde. Auf einer Länge von insgesamt rund 700 m sind zwei 135 bzw. 160 m lange, in einer Flucht liegende Trockenmarken zu sehen. Nicht herangezogen wurde der bereits von Groller vorgelegte Plan (Straße Nr. 12)<sup>76</sup>, den auch Kandler verwendete<sup>77</sup>.

Orientierung: 108,44° (288,44°)

#### Achse 4

Achse 4 wird definiert durch eine Straße, die das Legionslager durch das Süd-tor (*porta decumana*) verlässt. Auf Basis der Farb-Orthofotos und der von Doneus<sup>78</sup> durchgeführten Luftbildauswertung lässt sich diese Straße über 850 m vom Lager ausgehend Richtung Süden verlaufend fassen.

Orientierung: 140,83° (320,83°)

#### Achsen 5–6

Achsen 5 und 6 sind zwei Vermessungslinien, die schon Kandler definierte<sup>79</sup>. Achse 6 bezeichnet die Orientierung des Legionslagers der Periode 1–2, Achse 5 gibt die Orientierung des Legionslagers der Periode 3–4 an (vgl. Kap. 2).

Orientierung der Achse 5: 134° (314°)

Orientierung der Achse 6: 129° (309°)

---

<sup>73</sup> KANDLER 2000, Abb. S. 28.

<sup>74</sup> GROLLER 1902, 4 Taf. I.

<sup>75</sup> KANDLER 1977, 146.

<sup>76</sup> GROLLER 1902, Taf. I.

<sup>77</sup> KANDLER – VETTERS 1989, Abb. S. 203.

<sup>78</sup> DONEUS – NEUBAUER – SCHARRER 2001, 68–70 Abb. 2; 13.

<sup>79</sup> KANDLER 1977, 145–146.

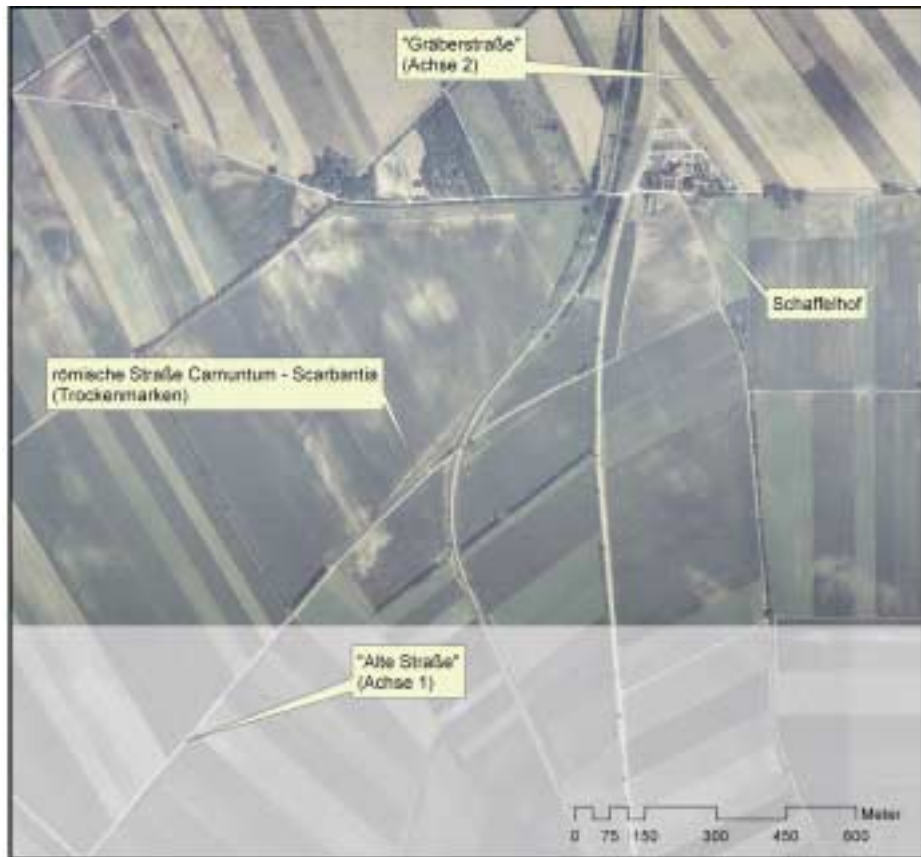


Abb. 4.1: Römischer Straßenverlauf im Raum Schaffelhof südlich von Petronell

Setzt man diese Achsen in Bezug zur Terminologie römischer Limitation, kann man – analog zu den im Raum Augusta Raurica rekonstruierten rechtwinkligen Rastern<sup>80</sup> – für die SW-NO verlaufenden Achsen den Begriff *decumanus*, für die NW-SO verlaufenden Vermessungslinien den Begriff *cardo* verwenden. Nach Kandler hätte demnach der zugehörige *cardo* zur Achse 5  $44^\circ$  ( $224^\circ$ ), der *cardo* der Achse 6  $39^\circ$  ( $219^\circ$ ) betragen.

#### 4.2 Flurorientierungen: Franziszeischer Kataster und DKM im Vergleich

Der Untersuchungsraum mit einem Gesamtumfang von rund 1230 bzw. 1280 ha umfasst das gesamte Gemeindegebiet von Bad Deutsch-Altenburg und die östlichsten Parzellen der Gemeinde Petronell. Für den Vergleich nicht berücksichtigt wurden die verbauten Siedlungsareale von Bad Deutsch-Altenburg sowie Straßenbereiche wie die Bundesstraße B9 (Abb. 3.4; Beilage 2).

Um eine regionale Differenzierung bei der Bewertung der Flurorientierungen zu ermöglichen, erweist es sich als vorteilhaft, kleinere Untersuchungseinheiten (*sampling units*)<sup>81</sup> zu definieren. Bis zu der großen Kommassierungsmaßnahme des Jahres 1911<sup>82</sup> war die Kulturlandschaft durch

<sup>80</sup> LAUR-BELART 1988, 37–39 Abb. 25.

<sup>81</sup> ORTON 2000, 19.

<sup>82</sup> MÜLLNER 1973, 259–260.



---

Gewannfluren, also gleich laufende, streifenförmige Besitzparzellen charakterisiert<sup>83</sup>. Die Abgrenzung der unterschiedlich großen Untersuchungseinheiten richtete sich primär nach benachbarten Flurelementen mit (nahezu) übereinstimmender Orientierung. Diese ließen sich zu 53 (Franziszeischer Kataster) bzw. 75 Einheiten (aktuelle DKM) zusammenfassen (Beilage 2).

Der gewählte methodische Zugang orientiert sich an Verfahren, die beispielsweise in den Umweltwissenschaften (Hydrologie) Anwendung fanden, wo es darum ging, die raumzeitliche Verteilung von Hochwasserereignissen zu untersuchen, indem Richtungsdaten statistisch ausgewertet und mit verschiedenen Diagrammformen visualisiert wurden<sup>84</sup>.

Um eine Aggregation der Orientierungswerte pro Untersuchungseinheit zu erreichen, kam folgende Vorgangsweise zur Anwendung: Über eine Verschneidung (*clip*-Operation) ließen sich gezielt alle Flurgrenzen pro Untersuchungseinheit selektieren, deren Orientierungswerte mit ArcView ermittelt wurden. Die Berechnung der statistischen Kennziffern pro Einheit erfolgte mit Oriana. Die Charakterisierung der Parzellenausrichtungen sollte mit den Werten für *mean direction*  $\mu$  und *length of mean vector*  $r$  erfolgen. Dazu mussten für jede Untersuchungseinheit die Zentroide erzeugt werden. Die mit Oriana errechneten Werte wurden an den Zentroiden der Untersuchungseinheiten als Polylinien eingetragen, wobei das als Längenattribut des Vektors verwendete Streuungsmaß  $r$  aus Darstellungsgründen mit dem Faktor „400“ multipliziert wurde.

#### 4.2.1 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Anhang A–B und auf Beilage 2 zusammengefasst. Bei einer Visualisierung der Linienanzahl pro Einheit ist neben der Flächennutzung die unterschiedliche Größe der insgesamt 53 *units* des Franziszeischen Katasters entscheidend. Die zentralen Bereiche des Untersuchungsgebiets mit den Einheiten 154, 152, 123, 111, 101, 127 umfassen charakteristische Ackerparzellen mit kleinteiligen Gewannfluren, die eine große Linienanzahl aufweisen, sodass insbesondere hier aussagekräftige statistische Kennziffern zu erwarten sind. In den Randbereichen im Süden (121, 143), im Nordwesten (155, 156, 98–100, 102–103, 85, 88, 90), entlang des Altenburger Bachs (139, 140, 145, 148) und im Nordosten (135–136, 124, 128, 130–131) ist eine deutlich geringere Linienanzahl zu verzeichnen. Als Maßzahl für die Liniendichte<sup>85</sup> wurde aus der Fläche und der aufsummierten Linienlänge pro Untersuchungseinheit ein Dichtekoeffizient berechnet (Linienlänge/Fläche  $\times$  100).

Die größte Orientierungsvariabilität zeigen Einheiten mit wenigen Linienelementen (155, 88, 90, 139–140, 145, 148), mit kleinteilig strukturierter Unterteilung (93–94) oder mit stark unterschiedlich orientierten Parzellengrenzen (119, 138, 144). Die wichtigsten deskriptiven Maße zu den definierten Untersuchungseinheiten können aus Anhang A entnommen werden. Bei einer Darstellung der *mean direction* mit der Längenausprägung über das Attribut *length of mean vector* kristallisieren sich bei den Mittelwerten zwei dominierende Richtungen heraus: NW-SO streichende Vektoren findet man

---

<sup>83</sup> LESER 1998, 270.

<sup>84</sup> BURN 1997, 214–222 Abb. 3–4; UHLENBROOK et al. 2001, 193 Abb. 8–9.

<sup>85</sup> DEMERS 2000, 311–312.

---

in den Einheiten um das Legionslager sowie in den westlichen und zentralen Bereichen des Untersuchungsgebiets, während im rechten Winkel darauf stehende Parzellengrenzen vor allem im Osten und Nordosten in Erscheinung treten. Im Süden herrschen abweichende, stärker nach NNO ausgerichtete Linien in den Einheiten 121 und 141–142 vor, die sich nicht mit den oben genannten Hauptorientierungsrichtungen in Verbindung bringen lassen.

Angesichts der unterschiedlichen Raumabdeckung (12,800.840,11 m<sup>2</sup>), der variierenden Anzahl und durchschnittlich geringeren Größe der insgesamt 75 Untersuchungseinheiten ist die Anzahl der Polylinien pro *unit* im aktuellen Kataster tendenziell kleiner bzw. erreicht auch nur einen Maximalwert von 288 Linien/Einheit. Dass die Ackerparzellen eine geringere Linienanzahl aufweisen, ist einerseits eine Folge der höheren Anzahl an Untersuchungseinheiten, andererseits aber auch eine Auswirkung der Flurbereinigungsmaßnahmen. Die Gesamtanzahl an Polylinien hat sich demgegenüber nämlich von 4218 (Altkataster) auf 4697 (DKM) erhöht, während die Gesamtlänge sämtlicher Polylinien von 544.814,90 m auf 323.456,59 m abgenommen hat. Die größten Konzentrationen sind im Nordosten (Siedlungswachstum von Bad Deutsch-Altenburg) und im Nordwesten (Aufparzellierungsmaßnahmen am Ostrand der Gemeinde Petronell: Einheiten 22–27) zu beobachten.

Die Kommassierungsmaßnahmen (vor allem des Jahres 1911) bewirkten schwerpunktmäßig in den zentralen und südlichen Bereichen gravierende Veränderungen, die nicht nur Flurzusammenlegungen, sondern nach aufwendigen Neuvermessungen weitgehend modifizierte Flureinteilungen und eine Reorganisation des Wegesystems mit sich brachten. Eine größere Variabilität der Orientierungsdaten ist insbesondere durch kleinteilig strukturierte Untersuchungseinheiten mit Hausparzellen (4, 6, 10, 22–27, 47–48), *units* mit wenigen, rechtwinklig aufeinander stehenden Linienstrukturen (54, 64, 70, 75) und größere heterogene, für gewerbliche Nutzung vorgesehene Einheiten (44, 72) gegeben.

Im Westen des Untersuchungsgebietes (*units* 31 und 36–37) dominieren heute NW-SO verlaufende Ackergrenzen, die im Zuge der Kommassierungsmaßnahmen der Gemeinde Petronell im Vergleich zum Zustand von 1819 weitgehend umorientiert wurden. Deren neue Ausrichtung stimmt auch nicht mit den östlich angrenzenden Flächen (z. B. *unit* 32 in der Gemeinde Bad Deutsch-Altenburg) überein. Im Süden des Untersuchungsgebiets verstärken sich die schon auf dem Altkataster zu beobachtenden Abweichungen. Die Ausrichtung der Feldgrenzen in den Einheiten 39, 62–63 und 66–67 orientiert sich noch stärker nach Nordosten als im Franziszeischen Kataster. Die Ausrichtung der Parzellierung im Südosten (69, 71, 73–75) erfuhr eine Anpassung an die großen Ackerfluren (40–42, 64–65) im Zentrum des Gemeindegebietes von Bad Deutsch-Altenburg.

#### 4.2.2 Diskussion

Beim Vergleich des Franziszeischen Katasters mit der aktuellen digitalen Katastermappe (DKM) gewährleistet die gewählte Methode die Möglichkeit, eine räumlich differenzierte Bewertung der unterschiedlichen Parzellenausrichtungen vorzunehmen. Aufgrund der gravierenden Veränderungen der Kulturlandschaft durch die bereits erwähnten, weitreichenden Kommassie-

---

rungsmaßnahmen – 1883 in Petronell<sup>86</sup> und 1911 in Bad Deutsch-Altenburg<sup>87</sup> – bestand die Notwendigkeit, unterschiedliche räumliche Bezugssysteme zu definieren, um eine sinnvolle Aggregation der Daten durchführen zu können.

Für jede der 53 Untersuchungseinheiten (*sampling units*) des Altkatasters ließen sich die Orientierung und die Variabilität der Linienstrukturen pro *unit* anschaulich visualisieren. Zum Vergleich wurden in Beilage 2 die Orientierungsdaten der aktuellen DKM auf Basis der 53 Untersuchungseinheiten auf derselben Karte eingetragen. Das Ergebnis ist aber kaum interpretierbar, denn bei der in 53 Arbeitsschritten durchgeführten Vektorverschneidung erzeugt man unwillkürlich auch Liniensegmente, die bezogen auf die Parzellenstruktur der DKM schon zu völlig unterschiedlich orientierten Flursystemen gehören können. Die deskriptiven statistischen Kennziffern derart erhobener Ensembles sind in der Folge keineswegs aussagekräftig.

Erfolgsversprechender erscheint die Definition neuer Untersuchungseinheiten, die sich an die Parzellenstruktur der DKM anpassen. Nach Festlegung der 75 *units* ist als Nachteil zu werten, dass dadurch keine unmittelbare Vergleichbarkeit mit dem Altkataster gegeben ist. Die Lage- und Streuungsparameter versprechen allerdings repräsentativer zu sein, denn es erfolgt keine willkürliche Datenauswahl, sondern durch die angepasste Auswahl der Untersuchungseinheiten eine zielgerichtete Datenerhebung (*purposive sampling*)<sup>88</sup>. Ein im Grunde vergleichbares Problem besteht häufig bei historischen Arbeiten, die gezwungen sind, auf unterschiedliche räumliche Bezugsgrößen zurückgreifen zu müssen<sup>89</sup>.

Die Festlegung der räumlichen Ausdehnung der Untersuchungseinheiten in Carnuntum bleibt dennoch problematisch bzw. ist in dem einen oder anderen Fall ein Diskussionspunkt, da die Abgrenzung ähnlich orientierter Parzellenstrukturen mitunter nur aufgrund des ersten visuellen Eindrucks vorgenommen wurde.

Eine alternative Möglichkeit, gleich verlaufende Linienstrukturen zu analysieren, persistente Linien herauszufiltern und über eine Maßzahl zu bewerten, bietet die von F. X. Schütz entwickelte Persistenzanalyse. Der zweiteilige Persistenzindex (PX) gibt neben der zeitlichen Differenz der verglichenen Linienstrukturen die geometrische Abweichung der Linienelemente aufgrund zweier Parameter wieder: der Linienlänge sowie des Steigungswinkels (Gradient)<sup>90</sup>. Der Algorithmus ist in eine MapInfo-Applikation integriert und soll die Basis bilden für das in Entwicklung befindliche Archäologische Informationssystem FORTVNA, mit dem eine GIS-gestützte Auswertung historischer Karten durchgeführt werden kann<sup>91</sup>. Ein Einsatz in der Limitationsforschung wäre ohne Zweifel von Interesse, doch wurde FORTVNA ursprünglich für großmaßstäbige Analysen im Maßstab 1:500 und größer entwickelt. Nach Auskunft von F. X. Schütz setzt insbesondere die weiterentwickelte Version sehr genau vermessene Vektordaten im cm-Bereich voraus, sodass der Carnuntiner Datenbestand diesen Anforderungen wohl nicht gerecht wird.

---

<sup>86</sup> NEDELIK 2002, II–74.

<sup>87</sup> MÜLLNER 1973, 259–260.

<sup>88</sup> ORTON 2000, 21.

<sup>89</sup> z. B. GREGORY – SOUTHALL 2002.

<sup>90</sup> HÄUBER – SCHÜTZ 2001.

<sup>91</sup> SCHÜTZ – HÄUBER 2001, 286–292; HÄUBER – SCHÜTZ 2004, 141–149.

---

### 4.3 Klassifikation und Visualisierung der Parzellenausrichtungen

Im vorangegangenen Kapitel erfolgte die Bewertung der Parzellenorientierungen nicht auf der Basis der einzelnen Polylinien, sondern es wurden die linearen Strukturen zu größeren Gruppen (*sampling units*) aggregiert und analysiert (Beilage 2). In einem weiteren Schritt sind die Klassifizierung und Visualisierung der einzelnen Liniensegmente nach ihren Orientierungswerten vorzunehmen.

Die Datenbasis bildet die aktuelle digitale Katastermappe (DKM), die mit insgesamt 22.310 Polylinien eine Raumabdeckung von 40,27 km<sup>2</sup> aufweist. Mit Oriana ist es sehr einfach, die ermittelten Parzellenausrichtungen zu klassifizieren, um einen ersten Eindruck von den Flurorientierungen im Untersuchungsgebiet zu erhalten. Der Datentyp *Compass Direction* ermöglicht die Gruppierung der Orientierungswerte in bis zu 16 Klassen mit einer Spannbreite von 22,5°, wobei beispielsweise der Wertebereich der Klasse E ausgehend von 90°, der der Klasse S von 180° aus definiert wird. In ESRI ArcGIS kann man in der Attributtabelle eine Reklassifikation der maximal möglichen 16 Klassen in einen Wertebereich zwischen 0–180° vornehmen. Damit erreicht man eine Reduzierung auf 8 Klassen, die mit einer kontinuierlich abgestuften Farbskala visualisiert wird<sup>92</sup>.

<i>Klasse</i>	<i>Farbe</i>	<i>RGB-Wert</i>
N/S	gelb	255/255/191
NNE	orange	252/174/96
NE	rot	214/26/29
ENE	violett	193/165/207
E	blau	43/112/181
ESE	blaugrün	122/245/220
SE	grün	26/150/65
SSE	grüngelb	204/245/122

Neben den nach ihrer Orientierungsklasse differenzierten Liniensegmenten und der Wiedergabe der antiken Straßen- und Vermessungsachsen 1 bis 6 beinhaltet Beilage 1 ferner die wichtigsten statistischen Maßzahlen, wie die Anzahl der Liniensegmente pro Orientierungsklasse (Cnt\_N\_Dir), die durchschnittliche Länge (Ave\_TLENGTH), die Summe (Sum\_TLENGTH), die Standardabweichung (SD\_TLENGTH) und die Varianz (Var\_TLENGTH) sämtlicher Linien pro Klasse.

Dieselben Arbeitsschritte wurden sowohl für den Zustand vor 1911 als auch bei der DKM auf den in Kap. 4.2 reduzierten Untersuchungsbereich angewandt (Abb. 4.2–4.3). Obwohl dieselben Datensätze verwendet wurden, führte die Einbeziehung der Grenzen der Untersuchungseinheiten, die in Kap. 4.2 bei der Clip-Operation weggefallen sind, zu einer Vergrößerung der Liniengesamtzahl auf 5839 (Altkataster) bzw. 6067 Polylinien (DKM). Die Klassifikation, Visualisierung und Wiedergabe der wichtigsten deskriptiven Statistiken erfolgte wie bei der oben geschilderten Bearbeitung der gesamten DKM (Beilage 1).

---

<sup>92</sup> Vgl. auch WIEDEMANN – ANTROP – VERMEULEN 2001a, 117–118.

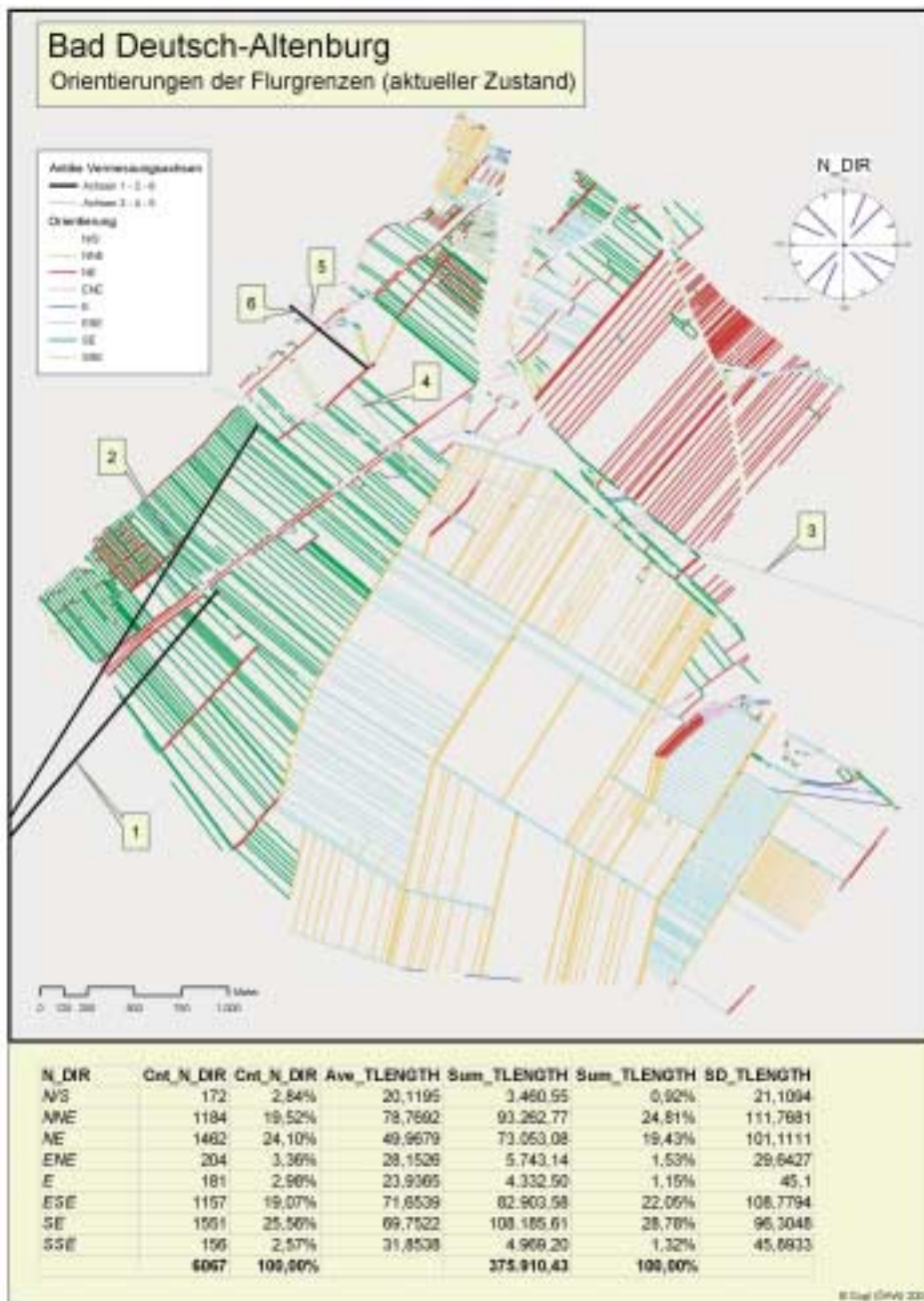


Abb. 4.2: Bad Deutsch-Altenburg: Visualisierung der Parzellenausrichtungen (aktueller Zustand)

Ergänzend zu den Kartenbildern (Abb. 4.2–4.3; Beilage 1) können die gesamten Orientierungsdaten in Form von zirkulären Histogrammen (Oriana: *Raw Data Plots*) veranschaulicht werden. Oriana gruppiert die Orientierungsdaten in Klassen mit frei wählbarer Spannbreite (in unserem Fall: 5°), wobei die Werte ungeachtet der Linienlänge entlang einer Kreisskala eingetragen werden.

- sämtliche 22.310 Linien der DKM (Abb. 4.4A)
- 6.067 Linien der DKM im reduzierten Untersuchungsraum, der im Wesentlichen der Gemeinde Bad Deutsch-Altenburg entspricht (Abb. 4.4B)



Abb. 4.3: Bad Deutsch-Altenburg: Visualisierung der Parzellenausrichtungen (Zustand vor 1911)

– 5.839 Linien des Altkatasters im reduzierten Untersuchungsraum (Abb. 4.4C)

Im Altkataster scheinen die Werte am ehesten einem orthogonalen Raster zu entsprechen. Die größten Konzentrationen zeigen die Orientierungswerte in den Azimutintervallen  $35\text{--}40^\circ$  und  $125\text{--}130^\circ$ .

Versucht man die Abweichung der Parzellengrenzen des Franziszeischen Katasters von den antiken Vermessungsachsen zu visualisieren, bilden die Achse 6a ( $129^\circ/309^\circ$ ) und die Achse 6b ( $39^\circ/219^\circ$ ) die Ausgangspunkte der Klassifikation. Von den Achsen 6a und 6b ausgehend werden „Abweichungsklassen“ definiert, wobei ein Toleranzwert von  $\pm 5^\circ$  für die beiden unmittel-

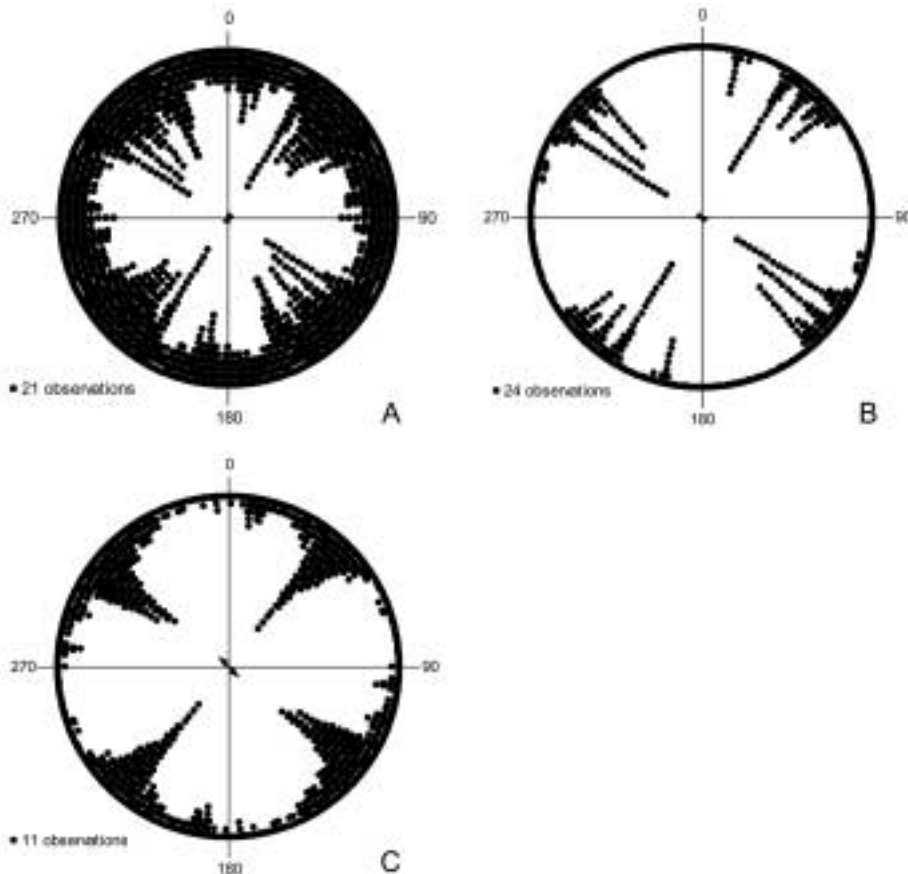


Abb. 4.4: Zirkuläre Histogramme: Orientierungsdaten der gesamten DKM (A), der DKM im Raum Bad Deutsch-Altenburg (B, vgl. Abb. 4.2) sowie des Franziszeischen Katasters im Raum Bad Deutsch-Altenburg (C, vgl. Abb. 4.3)

bar an den antiken Achsen ausgerichteten Abweichungsklassen zum Einsatz kommt. Dieser Toleranzwert beruht auf den Erfahrungen von Antrop – Vermeulen – Wiedemann<sup>93</sup>, denen hinsichtlich der Lagegenauigkeit vergleichbares Datenmaterial zur Verfügung stand.

Die ursprüngliche Gruppierung der Daten in 36 Klassen (4–14°, ..., 34–44°, ..., 124–134°, ..., 354–4°) ließ sich in 6 Klassen zusammenfassen. Zu den 2 Klassen, die eine weitgehende Übereinstimmung mit den vorgegebenen antiken Achsen aufweisen (Klassen 1 und 4: Spannbreite 10°), kommen noch je 2 weitere Abweichungsklassen von den beiden Hauptrichtungen (Klassen 2–3 und 5–6). Bei der Visualisierung der 6 Abweichungsklassen wurden die Hauptrichtungen in Rot (Klasse 1) und in Blau (Klasse 4) dargestellt, während die statistischen Kennziffern die Verteilung der Daten auf die 6 Klassen zeigen (Abb. 4.5).

#### 4.3.1 Ergebnisse

Auf Beilage 1 sind die Parzellenausrichtungen der digitalen Katastermappe (DKM) und die Lage der antiken Achsen 1 bis 6 dargestellt. Die Achsen 1–3

<sup>93</sup> ANTROP – VERMEULEN – WIEDEMANN 2001, 69–70.



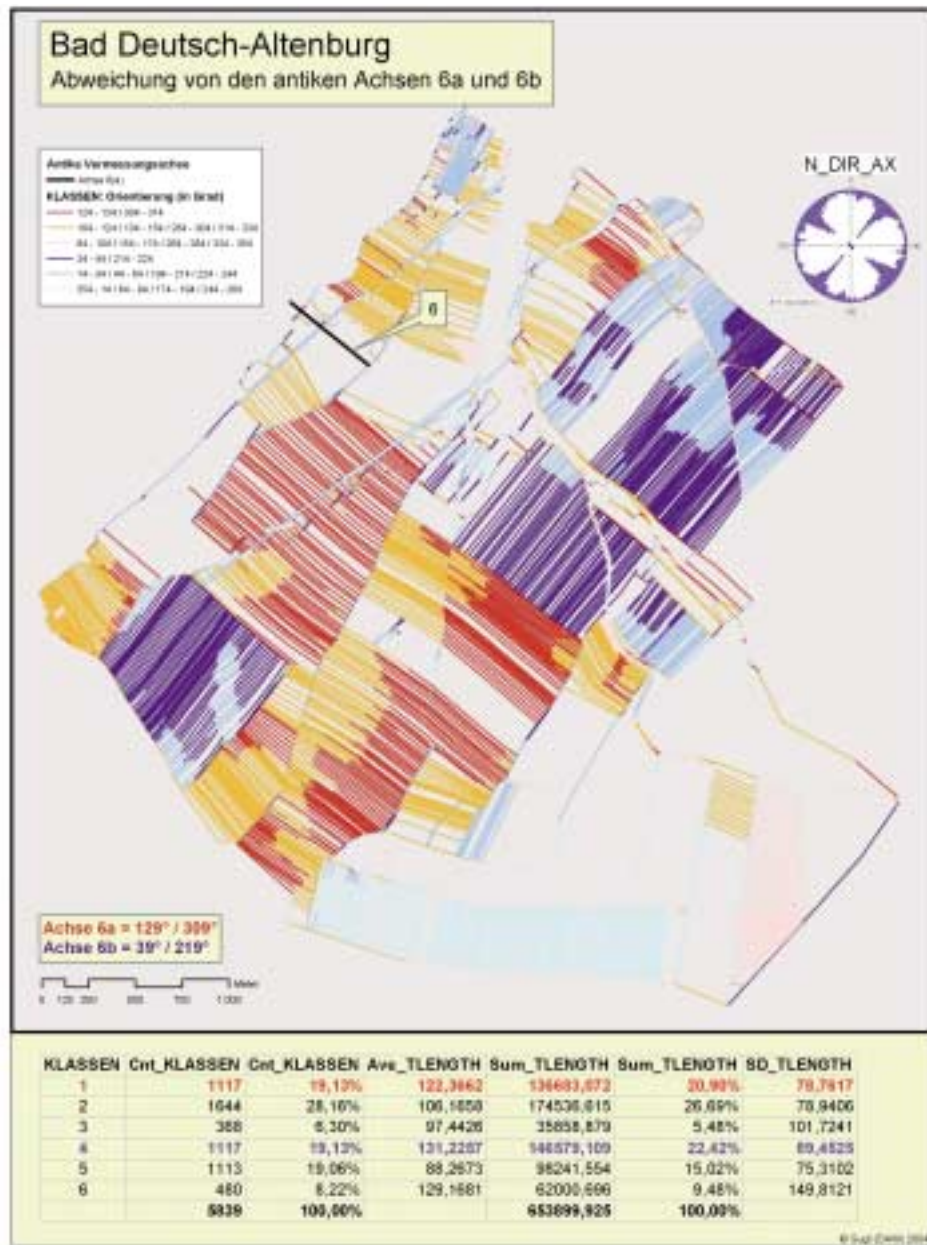


Abb. 4.5: Bad Deutsch-Altenburg: Abweichungen der Parzellenausrichtungen des Franziszeischen Katasters von den antiken Achsen 6a und 6b

wurden hervorgehoben, weil sie bei der Diskussion der Kandler'schen Hypothesen eine besondere Rolle spielen.

Westlich und südwestlich von Petronell wird das Flursystem von Parzellengrenzen der Klasse SSE dominiert. Ein anderes Bild präsentiert sich dagegen unmittelbar südlich und südöstlich von Petronell, wo die vorherrschende Ausrichtung der Parzellen nach Südosten (Klasse SE) weist. Im Nordosten des Katasterausschnitts finden sich vor allem Grundstücksgrenzen der Klasse NE, die gegen Osten von Flurelementen der Klasse SE abgelöst werden. Die zentralen und südlichen Bereiche des Gemeindegebiets von Bad Deutsch-Altenburg sind charakterisiert durch Linien der Klassen NNE und ESE. Ent-

---

lang des südlichen Randbereichs des Katasterausschnitts treten häufig Äcker und Wiesen der Klasse N/S auf.

Dieser heterogene Eindruck bestätigt sich ferner, wenn man die Gesamtverteilung der Linienelemente in einem zirkulären Histogramm betrachtet (Abb. 4.4). Obgleich gewisse Orientierungsklassen dominieren – insbesondere die Wertebereiche  $30\text{--}35^\circ$  und  $120\text{--}125^\circ$  – ergeben sich keine eindeutigen Orientierungspräferenzen, sondern es scheint vielmehr eine Tendenz in Richtung Gleichverteilung der Daten vorzuherrschen. Dies geht auch aus den deskriptiven Maßen auf Beilage I hervor.

Konzentriert man sich auf den Untersuchungsraum, von dem sowohl die DKM-Daten als auch der vektorisierte Altkataster vorliegen (vgl. Abb. 3.4), treten sofort wenige Hauptorientierungsrichtungen eindeutig hervor. Auf dem zirkulären Histogramm dominant sind die Klassen  $30\text{--}35^\circ$  und  $120\text{--}125^\circ$  bzw. in Abb. 4.4B die Klassen NE (24,10 % der Anzahl an Linienelementen) und SE (25,56 % der Linienelemente). Die Klassen NNE (19,52 %) und ESE (19,07 %) sind ebenfalls sehr stark vertreten.

Mit 653.899,93 m Gesamtlänge der Linienstrukturen zeigt der Altkataster ein dichteres Bild als die DKM (375.910,43 m). Es dominieren rote und grüne Linienelemente (Klassen NE und SE), die mit 29,58 % bzw. 28,81 % in Erscheinung treten, gefolgt von der Klasse ESE (15,28 %). Auffällig sind die stark abweichend orientierten Parzellen im Süden und Südosten des Untersuchungsraums, wo die Klassen E, N/S und NNE vorherrschen.

Die Parzellenausrichtungen auf dem Franziszeischen Kataster weisen demgegenüber eine noch stärkere Konzentration auf. Mit Blick auf das zirkuläre Histogramm (Abb. 4.4C) kann man von einer bimodalen Datenverteilung sprechen. Entsprechend der in Oriana vorgenommenen Klassifikation herrschen Daten mit einer Orientierung von  $35\text{--}40^\circ$  bzw.  $125\text{--}130^\circ$  vor. Dies lässt sich gut mit Abb. 4.5 vergleichen.

Bei einem Vergleich der beiden zirkulären Histogramme (Abb. 4.4B-C) wird ersichtlich, dass im Umfeld des Legionslagers wenige Hauptorientierungsrichtungen dominieren. Insbesondere bei dem auf der Basis des Altkatasters erstellten Histogramm prägen orthogonal ausgerichtete Parzellengrenzen den Untersuchungsraum. Der *mean vector* ( $\mu = 134,073^\circ$ ) weist eine Länge von  $r = 0,07$  auf und der Median (*circular median direction*<sup>94</sup>) beträgt  $123,11^\circ$ , was auf eine hohe Variabilität der Orientierungsdaten hinweist. Eine derart hohe Variabilität ist nicht nur bei einer Gleichverteilung gegeben, sondern auch bei polymodal verteilten Daten, insbesondere wenn die Konzentrationen (Primär- und Sekundärmaxima) stark unterschiedliche Werte aufweisen.

Demgegenüber zeigt die DKM mit einem *mean vector*  $\mu = 118,496^\circ$  eine noch höhere Variabilität ( $r = 0,016$ ), der Median liegt mit  $129,09^\circ$  der Orientierung der Achse 6a jedoch sehr nahe. Die geringfügig unterschiedlichen Werte beim Konzentrationsparameter  $\alpha$  variieren zwischen 0,141 (Altkataster) und 0,033 (DKM), sodass auch dieses Streuungsmaß eine etwas geringere Konzentration der Orientierungsdaten bei den aktuellen Parzellengrenzen ausdrückt.

Die Visualisierung der Abweichung von der antiken Achse 6, durchgeführt auf der Basis des Altkatasters, ergab einen hohen Anteil von jeweils 19,13 % der Orientierungsklassen 1 und 4 (Abb. 4.5). Diese Orientierungen stehen mit einem Toleranzwert von  $\pm 5^\circ$  dem *decumanus* und dem *cardo* des

---

<sup>94</sup> KOVACH 2003, 44–45.

---

hypothetischen Rasters (vgl. Kap. 4.1) offensichtlich sehr nahe. Vor allem südlich und südwestlich des Legionslagers sowie im Osten und Nordosten des Gemeindegebiets von Bad Deutsch-Altenburg besitzen die Agrarflächen große Affinitäten zu den antiken Achsen. Der Süden und Südosten zeigt Parzellenausrichtungen, die von dem antiken Raster sehr stark differieren, insbesondere die nach Norden bzw. NNE orientierten Parzellengrenzen, ein Phänomen, das auch am zirkulären Histogramm (Abb. 4.4C) sichtbar ist.

#### 4.3.2 Diskussion

Im Gegensatz zu den in Kap. 4.2 durchgeführten Untersuchungen kam eine mittlerweile in GIS-Studien zur römischen Limitation übliche Visualisierungstechnik zur Anwendung, bei der die Gesamtheit der Parzellengrenzen nach ihren Orientierungswerten klassifiziert wird. Die Darstellung in Form von Karten ermöglicht einen schnellen Überblick und eine visuelle Bewertung der räumlichen Verteilung der klassifizierten Flurgrenzen.

Von den beiden gewählten Klassifikationsverfahren (nach vorgegebenen Orientierungsklassen bzw. nach „Abweichungsklassen“) erwies sich vor allem letztere als sehr gut geeignet, um die in Kap. 2 formulierten Thesen Kändlers zu überprüfen. Nach einer Klassifikation sämtlicher Liniensegmente konnte der Anteil der Linienstrukturen pro Klasse quantifiziert werden, sodass sich ein diachronischer Bewertungsansatz eröffnet<sup>95</sup>. Der aktuelle Zustand kann mit dem historischen Landschaftszustand auf der Basis der zu Klassen aggregierten Daten verglichen werden, wohingegen bei der in Kap. 4.2 gewählten segregierenden Methode das Untersuchungsgebiet nach bestimmten Kriterien in kleinere Einheiten unterteilt wurde.

Einfache zirkuläre Histogramme (Abb. 4.4) erweisen sich insbesondere dann als hilfreich, wenn eine Visualisierung der Datenverteilung rasch durchgeführt werden muss. In diesem Fall sind sie darstellungstechnisch sicherlich linearen Histogrammen vorzuziehen, denn charakteristische Verteilungsmuster wie orthogonale Raster oder generell Hauptorientierungsrichtungen erschließen sich dem menschlichen Auge gefälliger auf einer Kreisskala. Ihr Nachteil liegt darin, dass zwar die Anzahl der Beobachtungen erfasst wird, die Länge der Liniensegmente aber unberücksichtigt bleibt.

Hier würden sich andere Diagrammformen anbieten, wie die in Oriana bereitgestellte Richtungsrose *Two-Variable Histogram – Stacked Circular* (Abb. 4.6). Eine zweite Variable (TLENGTH) wird in Häufigkeitsklassen eingeteilt, sodass die Wiedergabe der Linienslängen in jedem Azimutintervall proportional dargestellt werden kann. In Abb. 4.6 ist zu erkennen, dass Liniensegmente mit einer Länge unter 250 m im Datenbestand vorherrschen. Bei den Linienstrukturen, die nach Norden bzw. NNE ausgerichtet sind, dominieren demgegenüber Linien mit einer Länge zwischen 250 und 500 m, die mehrheitlich Parzellengrenzen aus den Untersuchungseinheiten 141 und 142 wiedergeben. Problematisch bleibt allerdings die Visualisierung von umfangreichen Datenmengen, denn eine Differenzierung der Zweitvariable anhand einer mehrteiligen Farbskala ist in diesem Fall kaum mehr möglich.

---

<sup>95</sup> BENDER – JENS 2004, 36–38.

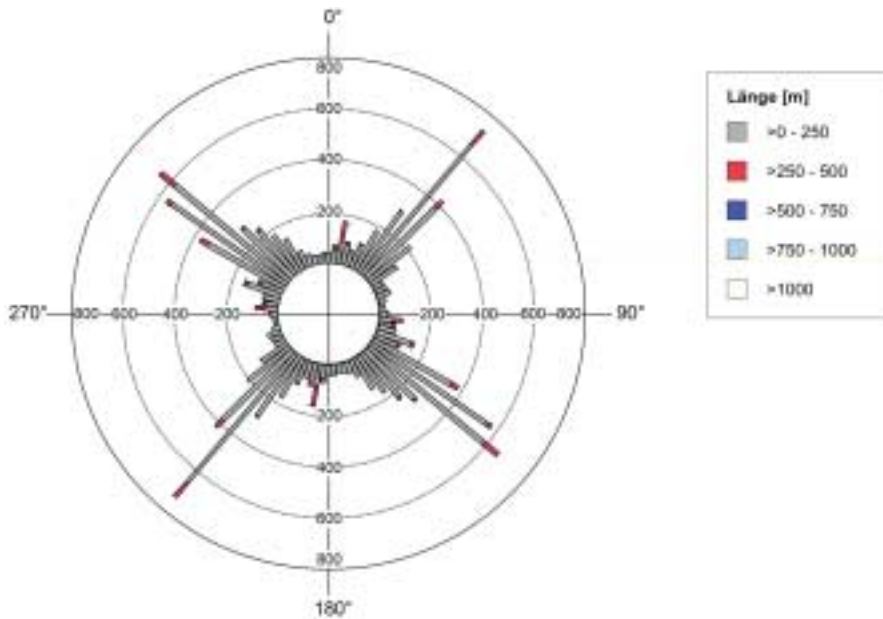


Abb. 4.6: Richtungsverteilung der Parzellengrenzen des Franziszeischen Katasters unter Berücksichtigung der Linielängen (Anzahl der Linienelemente: n = 5839)

#### 4.4 Orientierung der Bauten in der Lagerstadt (*canabae legionis*)

Im Kontext der römischen Landvermessung im Großraum Carnuntum muss ferner der Frage nachgegangen werden, inwieweit die bekannten Siedlungsbefunde zumindest in der Lagerstadt auf die postulierten Limitationsachsen Bezug nehmen. Der in Kap. 4.3 verwendete Toleranzwert von  $\pm 5^\circ$  erscheint in diesem Zusammenhang nicht sinnvoll, weil die beiden von Kandler definierten Lagerachsen 5 und 6 mit einer Ausrichtung von  $134^\circ$  bzw.  $129^\circ$  sehr eng beieinander liegen. Deswegen erwies sich eine Klassifikation der in Einzelsegmente zerlegten Polylinien in 8 Klassen als vorteilhaft. Die Hauptorientierungsrichtungen bildeten die Achsen 5 und 6. Davon ausgehend konnten „Abweichungsklassen“ mit einer Toleranz von  $\pm 2,5^\circ$  festgelegt werden. Weil kaum Übereinstimmungen mit der Orientierung der Bebauung in der Carnuntiner Zivilstadt bestehen, erfolgte eine räumliche Einschränkung auf die *canabae legionis* bis zum Auxiliarkastell. Die eigenen Gesetzen gehorchende Innenbebauung des Legionslagers blieb ebenfalls unberücksichtigt.

##### 4.4.1 Ergebnisse

Die Visualisierung der Orientierungsklassen verdeutlicht die untergeordnete Bedeutung von Siedlungsstrukturen, die mit der Ausrichtung der älteren Legionslagerachse (Achse 6) konform sind. Aus Abbildung 4.7 geht auch hervor, dass die Achse 1 (vgl. Kap. 2) mit dem über die Achse 6 definierten Zenturiationssystem übereinstimmt. Die Achse 1 ist demzufolge identisch mit dem zur Achse 6 gehörigen *decumanus*.

Die stärksten Konzentrationen der Orientierungsklassen 1 und 5 finden sich südöstlich des Legionslagers in Verlängerung der Mittelachse des ältesten Lagers sowie unmittelbar nordöstlich des Amphitheaters in Form von Straßenzügen. Der prozentuell geringe Anteil der Klassen 1 und 5 ergibt kein

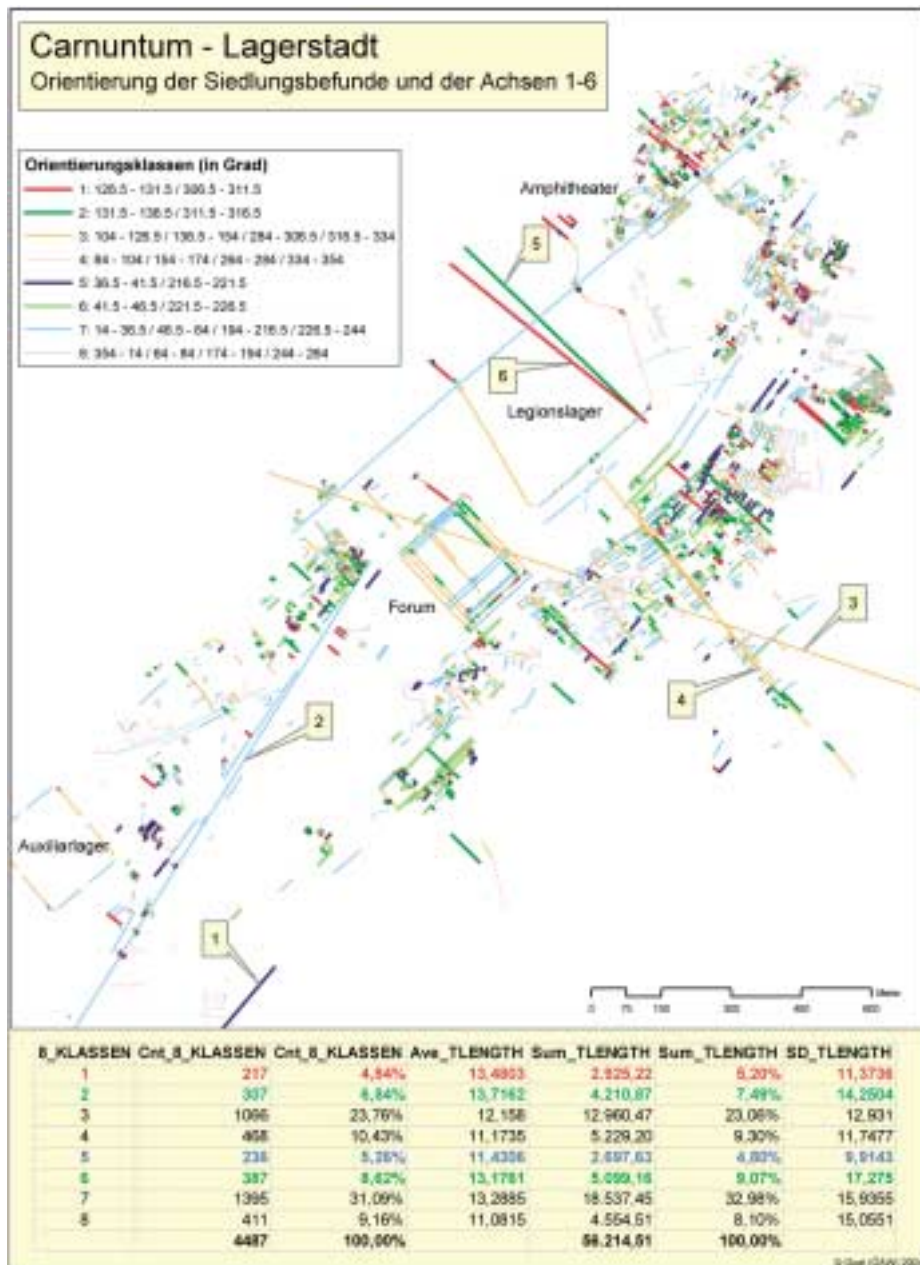


Abb. 4.7: Carnuntum, Lagerstadt: Orientierung der Siedlungsbefunde und der Achsen 1–6

klares Bild. Für die Ausrichtung der entsprechenden Siedlungsareale spielen Lineamente dieser Orientierungsklassen nur eine untergeordnete Rolle.

Demgegenüber sind Elemente der Klassen 2 und 6, die mit der jüngeren Legionslagerachse 5 übereinstimmen, vorherrschend. Vor allem südlich und südwestlich des Legionslagers begegnet man einer Bebauung, die sich an Achse 5 ausrichtet wie das jüngere Forum II sowie die Stadtrandbereiche südlich und westlich des Forums. Trotz aller Unregelmäßigkeiten zeichnen sich die Ansätze eines rechtwinkligen Rasters in diesen Teilen der Lagerstadt ab, die von den hier zu untersuchenden Limitationsachsen abweichen. Eine Rekonstruktion dieses Siedlungsrasters kann nicht Ziel dieser Arbeit sein, sondern muss der luftbildarchäologischen Auswertung vorbehalten bleiben.

---

#### 4.5 Automatisierte Vektorisierung von Rasterbildern

Die vorhandene Vektordatenbasis ist für großräumige Betrachtungen keineswegs ausreichend. Vor allem die arbeitsintensive Vektorisierung des Franziszeischen Katasters konnte nur in den Kernbereichen von Carnuntum um das Legionslager verwirklicht werden, während Kandler bei seinen Überlegungen zur antiken Landvermessung auch das Flursystem im Umland einbezog<sup>96</sup>. Für diesen Raum stehen ausschließlich Rasterdaten in Form von SW- und Farb-Orthofotos sowie eines SPOT-Satellitenbilds zur Verfügung. Eine manuelle Vektorisierung der Flurgrenzen erwies sich wegen des Arbeitsaufwands als unrationell, sodass hierfür eine automatisierte Vektorisierung gewählt wurde. Mit der automatisierten Generierung von Vektordaten wurde dabei die Erwartungshaltung verknüpft, zumindest eine repräsentative Auswahl an Orientierungsdaten zum Flursystem im Umland von Carnuntum zur Verfügung zu haben.

Bei jeder Datenerfassung steht eine Gegenüberstellung von Erfassungsaufwand und Datenqualität bzw. Qualitätsanspruch im Vordergrund. Bei den Datengrundlagen fiel die Auswahl auf die SW-Orthofotos. Die SW-Orthofotos (Graustufen) weisen eine Raumabdeckung von 225 km<sup>2</sup> auf. Es liegen insgesamt 9 Blätter (Kacheln) à 5 × 5 km im TIFF-Format vor, jede Kachel mit einer durchschnittlichen Dateigröße von ca. 62 MB. Die Farb-Orthofotos haben demgegenüber eine geringere Raumabdeckung von 45 km<sup>2</sup>. Das Mosaik setzt sich aus 36 ECW-komprimierten Einzelbildern (Raumabdeckung pro Bild: 1250 × 1000 m) mit einer individuellen Dateigröße von ca. 6 MB zusammen. Neben den SW-Orthofotos erfolgte ferner eine Vektorisierung des SPOT-Bildes (Abb. 3.4).

Die Durchführung der Vektorisierung konnte nur mit Hilfe von frei verfügbarer Software abgewickelt werden. Auf den Einsatz von kommerziellen Produkten wie ERDAS Imagine oder IDRISI Kilimanjaro musste verzichtet werden. Die digitale Bildverarbeitung erfolgte mit The GIMP 1.2.3. Bei der Vektorisierung der Rasterdaten kamen zwei unterschiedliche Software-Produkte zum Einsatz: GRASS GIS 5.0.2 auf einer SuSE Linux 8.2-Plattform und MapScan for Windows 1.0, einer Software, die zwischen 1996–1999 von der United Nations Statistics Division, einer UNO-Organisation, entwickelt wurde.

Die ersten Arbeitsschritte umfassten Methoden der Bildverbesserung (*image enhancement*)<sup>97</sup>. Mit den Werkzeugen von The GIMP sollten die Bilddaten entsprechend aufbereitet werden, damit die Vektorisierung leichter und zuverlässiger abgewickelt werden konnte. Geometrische Korrekturen waren aufgrund der Ausgangsdaten nicht erforderlich.

1. Kontrastverbesserung: Anhand des Grauwert-Histogramms ließ sich eine einfache lineare Kontraststreckung (*linear contrast stretching*) vornehmen, wobei die Tonwertspreizung auf 45/1.00/255 geändert wurde.
2. Digitale Filterung: Um die Detailwiedergabe zu verbessern, war eine Filterung (*edge enhancement*) notwendig. Von den in The GIMP verfügbaren Filtern wurde der Sobel-Filter gewählt (mit den Parameter-Einstellungen: Sobel Horizontal und Sobel Vertikal aktiviert). Der richtungsabhängige Hochpassfilter erzeugt in der Regel etwas breitere Kanten als der Laplace-Filter.

---

<sup>96</sup> KANDLER 1974, 38–40 Abb. 7.

<sup>97</sup> LILLESAND – KIEFER 2000, 488–499; ALBERTZ 2001, 106–111.



- 
3. Die Binärumsetzung der Grauwert-Bilder geschah durch das Ausführen der Schwellwert-Funktion in The GIMP. Mit einem an das Bild angepassten Binarisierungs-Schwellwert von 20, 25 oder 30 ließ sich der Anteil an schwarzen und weißen Pixel steuern.
  4. Abschließend waren noch die Farbwerte zu invertieren, sodass die Kanten in Schwarz, der Hintergrund in Weiß dargestellt werden.

Die automatisierte Vektorisierung wurde sowohl mit GRASS als auch mit *MapScan* parallel durchgeführt, sodass ein Vergleich der Vektorisierungsergebnisse möglich ist.

Bei der Vektorisierung mit GRASS GIS kamen folgende Module zur Anwendung:

1. Mit *r.in.tiff* lässt sich die mit The GIMP aufbereitete TIFF-Datei importieren und in eine GRASS-Raster-Datei umwandeln.
2. *r.support* ermöglicht die Editierung des Datei-Headers (Georeferenzierung und Aktualisierung der *cell-statistics*).
3. *r.thin* führt eine Optimierung der GRASS-Raster-Datei durch, wobei der Algorithmus versucht, die Kanten auszudünnen, indem er sie auf eine Breite von einer Zelle reduziert (Skelettisierung). Bei zu hohen Schwarzanteilen im Bild ist dies nicht ausführbar, weshalb die Wahl des Invertierungsschwellwerts bei der digitalen Bildverarbeitung entscheidend ist. Der Schwellwert lässt sich nur experimentell festlegen.
4. Mit *r.line* kann die eigentliche Vektorisierung in Form von Polylinien durchgeführt werden.
5. *v.support* führt den Aufbau der Vektor-Topologie durch, die eine Voraussetzung für den Export als *shape-file* bildet. Die Erstellung der Topologie ist sehr zeitaufwendig und beansprucht bei Vektordateien mit bis zu 469.000 Polylinien eine Rechenzeit von rund zwei Stunden.
6. *v.out.shape* exportiert die GRASS-Vektor-Datei in das ESRI *shape-file*-Format.

Die Vektorisierung mit *MapScan* erfordert für jede aufbereitete TIFF-Datei mehrere Teilschritte, da die zwar benutzerfreundliche, manchmal aber instabile Software bei der Gesamtvektorisierung einer Rasterdatei in einem Vorgang überfordert ist. *MapScan* bietet drei Simplifikationsalgorithmen an, von denen der Douglas-Peucker-Algorithmus ausgewählt wurde (Parameter: *Recognition: Inter Active* – *Vectorization: Centerline*). Bei dieser experimentell ermittelten Entscheidung war der visuelle Eindruck der ersten Vektorisierungsergebnisse ausschlaggebend. Die Toleranzwerte bei der Vektorisierung bewegten sich zwischen 0 (Orthofotos) und 3 (SPOT), wobei höhere Werte zu einer stärkeren Simplifikation führen. Nach der Georeferenzierung kann die Vektordatei als *shape-file* exportiert werden.

Schon bei einem ersten visuellen Vergleich der Vektorisierungsergebnisse von *MapScan* und GRASS fällt auf, dass bei *MapScan* eine deutlich geringere Linienanzahl und gleichzeitig eine stärkere Simplifikation erzielt wurden.

#### 4.5.1 Optimierung und Datenreduktion

Nach beiden Vektorisierungsvorgängen ließen sich die Orientierungsdaten sowie die *true length* und die *straight-line length* mit dem *ArcView*-Script berechnen. Da sich unser Interesse auf die Orientierung der Flurgrenzen richtet, er-



---

schien es vorrangig, eine Lösung für komplexe Polylinien zu finden, deren Einzelsegmente stark unterschiedliche Richtungen aufweisen. Denn die ermittelten Orientierungsdaten von komplexen Polylinien können das Ergebnis stark verfälschen. Somit sollen nur Polylinien ausgewertet werden, deren Segmente sich möglichst eng um eine Richtung konzentrieren<sup>98</sup>. Die manuelle Selektion von „richtungskonstanten“ Vektoren wäre dabei aber zu zeitaufwendig.

- Einen Lösungsansatz bietet der Einsatz des *length ratio*, der eine einfache Möglichkeit darstellt, um gekrümmte Polylinien zu identifizieren<sup>99</sup>. Er wird berechnet, indem die Länge der gesamten Kette dividiert wird durch die *straight-line length*. Der Minimumwert von 1 bezeichnet eine simple Polylinie aus einem Segment, höhere Werte des *length ratio* weisen auf komplexere Polylinien hin.
- Eine Alternative wäre die Zerlegung der mehrteiligen Polylinien in Einzelsegmente. Bei GRASS war a priori schon absehbar, dass dies nicht zu empfehlen ist, da keine (beeinflussbare) Simplifikation beim Vektorisierungsvorgang erfolgt. Insbesondere bei schräg verlaufenden Kanten bestehen die Polylinien (Ketten) häufig aus nicht „richtungskonstanten“ Einzelvektoren. Bei den mit MapScan vektorisierten Orthofotos wurden beide Verfahren angewandt.
- Um das Vektorisierungsergebnis zu optimieren und eine Datenreduktion zu erreichen, erfolgte zunächst die Selektion sehr kurzer Linienelemente über das Feld TLENGTH (*true length*). Die Klassifikation der Polylinien kann mit der Methode *Natural Breaks* (5 Klassen) vorgenommen werden, wonach die Klasse mit den kürzesten Linien (Schwellwert zumeist: 4,25 m) gelöscht wird. Diese Vorgangsweise rechtfertigt sich durch die Beobachtung, dass sehr kurze Linien meist immer Orientierungswerte wie 90,00° oder 180,00° aufweisen. Diese Linien spiegeln keine in der realen Welt tatsächlich vorhandenen linearen Strukturen wieder, sondern es handelt sich in der Regel um Vektorisierungsrelikte aufgrund ungünstiger Bildeigenschaften und Bildfehler („Rauschen“).
- Eine weitere Form der Datenreduktion ermöglicht eine räumliche Selektion. Bei den Orthofotos und beim SPOT-Satellitenbild wurde eine manuelle Erfassung von Siedlungskernen mit einem Polygondatensatz vorgenommen. Über eine vektorielle Verschneidung können sämtliche Polylinien im Siedlungsbereich entfernt werden. Beim vektorisierten SPOT-Bild erfolgte im Wesentlichen eine Beschränkung auf die Bereiche südlich der Donau (146.621 Polylinien).

Hinsichtlich des Arbeitsablaufs erfolgte zuerst die räumliche Selektion, gefolgt von der Reduktion aufgrund der Linienlänge und zuletzt die Reduktion über den berechneten *length ratio*. Als Schwellwert wird  $ratio = 1,3$  festgelegt. Dies entspricht einem Wert von einer Standardabweichung über dem arithmetischen Mittel. Datensätze mit einem höheren *length ratio* wurden gelöscht.

#### 4.5.2 Visualisierung und Bewertung des Vektorisierungsergebnisses

Aus den erzeugten Vektordaten sollen die Flurgrenzen herausgefiltert werden, die dem hypothetischen Raster (Achsen 6a und 6b) entsprechen. Die Daten lassen sich nach den 6 Abweichungsklassen visualisieren (vgl. Kap. 4.3),

---

<sup>98</sup> DEMERS 2000, 316 Abb. 11.9.

<sup>99</sup> LEE – WONG 2001, 104–107 Abb. 4.9.

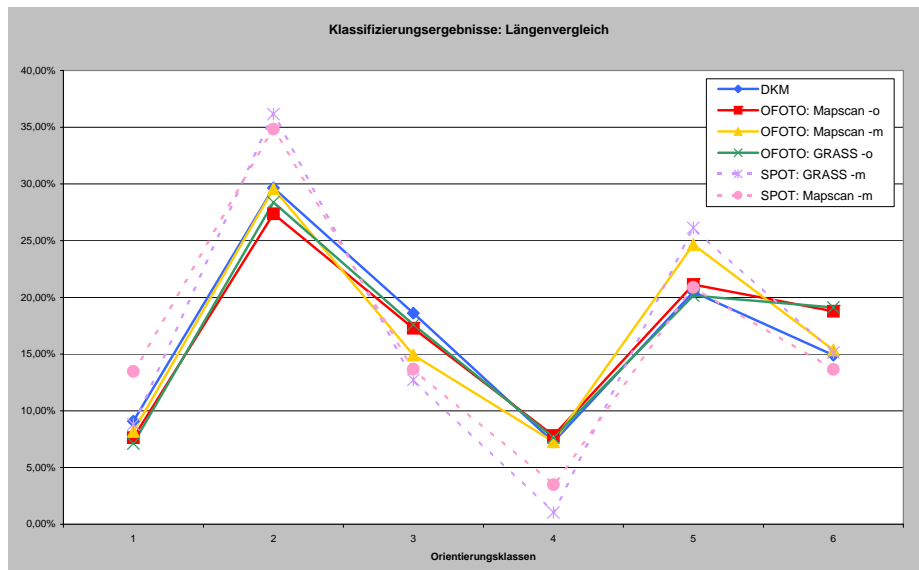


Abb. 4.8: Ergebnisse der Vektorisierung: in Prozentanteilen wiedergegebene Längenverteilung der Lineamente (zur Definition der Orientierungsklassen vgl. Beilage 3)

wobei die in Rot bzw. Blau gehaltenen Linienstrukturen der Klassen 1 und 4 hervorgehoben werden (Beilage 3).

Um das Legionslager Carnuntum dominieren Parzellengrenzen der Klasse 1. Südöstlich von Bad Deutsch-Altenburg finden sich gehäuft Flurgrenzen der Klasse 4. In den zentralen und südlichen Bereichen der Gemeinde Bad Deutsch-Altenburg beobachtet man hauptsächlich Flurorientierungen, die nicht mit den antiken Achsen 6a und 6b übereinstimmen. Nordwestlich und südwestlich von Prellenkirchen (im Südosten des Untersuchungsraums) besteht eine hohe Konzentration von Parzellen der Klasse 4. Dies trifft in geringerem Ausmaß auch auf den Bereich südlich und westlich von Edelsthal, am Ostrand der Orthofoto-Serie gelegen, zu. Bemerkenswerte Ergebnisse liegen nördlich und nordöstlich von Bruck/Leitha im Raum Pachfurth-Rohrau-Höflein-Göttlesbrunn vor. Entlang der Achse 1 überwiegt der Eindruck, dass einerseits eine geringere Liniendichte besteht, andererseits lineare Strukturen der Klassen 1 und 4 vorherrschen.

Für die Evaluierung des Vektorisierungsergebnisses war folgende Überlegung ausschlaggebend: Eine optimale automatisierte Vektorisierung sollte die digitale Katastermappe ersetzen. Ein Vergleich mit der verfügbaren DKM bietet sich demzufolge an, wobei sich die Qualität der auf der Basis der Orthofotos vorgenommenen Vektorisierung und der ermittelten Orientierungswerte an der DKM zu orientieren hat. Dabei wird auch die Tatsache in Kauf genommen, dass der Katasterplan bereits eine zweckorientierte kartografische Umsetzung von spezifischen Phänomenen der Erdoberfläche darstellt und aufgrund seines Verwendungszwecks nicht dieselbe Information beinhaltet wie Orthofotos oder Satellitenbilder.

Um eine regionale Vergleichbarkeit zu gewährleisten, ist es notwendig, sich auf ein Testgebiet zu beschränken, das eine übereinstimmende Raumabdeckung der Rasterbilder mit der DKM aufweist. Abzüglich der Donau und des Auwaldes umfasst dieses Testgebiet insgesamt rund 32,27 km<sup>2</sup>. Bei einem ersten Vergleich der gesamten Linienanzahl pro Orientierungsklasse mit der DKM kristallisieren sich drei Vektorisierungsvorgänge heraus, deren Ergeb-

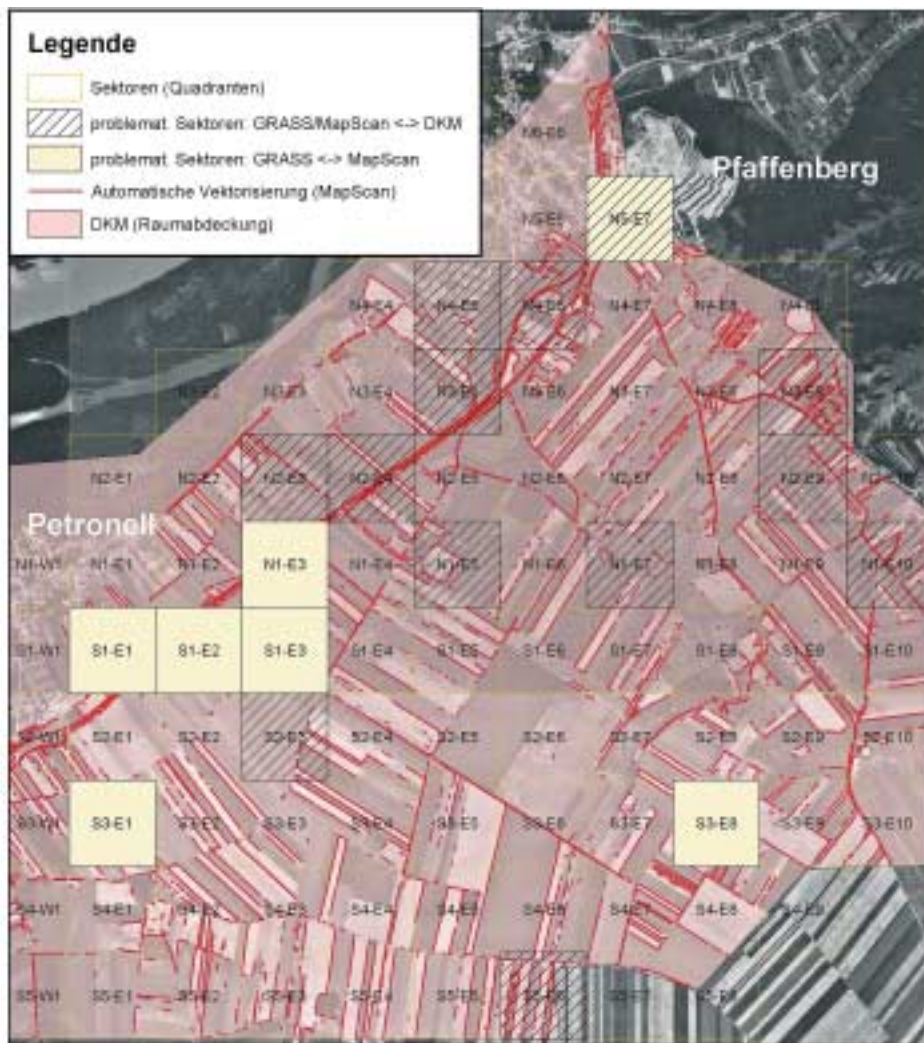


Abb. 4.9: Bewertung des Vektorisierungsergebnisses: Hervorhebung von Sektoren mit stärker abweichenden Resultaten

nisse der DKM vor allem bei den Häufigkeiten der Klassen 1–5 am nächsten kommen. Die Datenbasis bilden in den drei Fällen jeweils die SW-Orthofotos. Während mit GRASS keine Zerlegung der mehrteiligen Polylinien in Einzelsegmente durchgeführt wurde (Abb. 4.8: GRASS -o), wurden bei der Vektorisierung der Orthofotos mit MapScan beide Vorgangsweisen gewählt (Abb. 4.8: Mapscan -o bzw. Mapscan -m).

Verglichen mit den rund 852.643 m langen Linienstrukturen in der DKM konnten bei der automatischen Vektorisierung Polylinien mit einer Gesamtlänge von 295.676 m (MapScan -o), 302.435 m (GRASS -o) und 346.502 m (MapScan -m) erfasst werden. Diese Werte entsprechen bestenfalls 40 % der in der DKM vorhandenen Linien und sind somit weit entfernt von dem Bestand an Linienstrukturen, die in der DKM abgebildet sind. Allerdings war es nicht nur das Ziel, möglichst viele lineare Strukturen zu erfassen, sondern auch eine möglichst hohe Tauglichkeit für die Identifizierung der Flurorientierungen zu erreichen.

Wegen der größeren Vergleichbarkeit wurde nur auf die Vektorisierungsvorgänge zurückgegriffen, bei denen der *length ratio* zum Einsatz kam

---

(GRASS -o und MapScan -o). Der Vergleich der Orientierungsdaten erfolgte auf der Basis von willkürlich festgelegten, identisch großen, quadratischen räumlichen Bezugsgrößen, wie es in ähnlicher Form bei der Darstellung von Richtungsverteilungen im Zuge von geologischen Fotolineationskartierungen praktiziert wurde<sup>100</sup>. Zu diesem Zweck wurde in Anlehnung an ein Beispiel in der mesoamerikanischen Archäologie<sup>101</sup> ein orthogonales Stadtraster definiert, das aus 500 × 500 m großen Quadranten (Sektoren) besteht. Der Ausgangspunkt befindet sich südlich von Petronell (Nullpunkt: x/y = 790.000/5.330.000). Die 128 am Bundesmeldenetz M34 ausgerichteten Quadranten sind nach ihrer geografischen Lage benannt: S1–E1, N1–E1, N1–E2 etc. (Abb. 4.9).

Wegen des enormen Arbeitsaufwands musste die mit einer Vektor-Verschneidung (*clip*-Operation) vorgenommene Selektion der Polylinien auf die 82 Sektoren der Osthälfte (Quadrantenstreifen E1–E10) beschränkt werden. In den Attributtabelle wurden die selektierten Linienelemente mit ihren Sektornamen versehen und wieder zusammengeführt (*merge*-Operation). Danach erfolgte die Berechnung der Orientierungsdaten. Mit der Funktion *Summarize* ließen sich die Anzahl und die Längenteile der Linienstrukturen pro Sektor ermitteln (Abb. 4.10) und daraus der Dichtekoeffizient berechnen (Anhang C-E: Dichte = Gesamtlinielänge/Fläche × 100).

Bei einer Gegenüberstellung der prozentuellen Anteile der Linielängen pro Sektor fällt auf, dass die Linielängen der beiden Vektorisierungsversuche untereinander weitgehend ein ähnliches Verhalten zeigen. Die größten Abweichungen mit einem über 0,5 %-Anteil sind in den Sektoren N1–E3, N5–E7, S1–E1, S1–E2, S1–E3, S3–E1 und S3–E8 zu verzeichnen. Die beiden Vektorisierungsversuche weisen gegenüber der DKM zwar auch einige Gemeinsamkeiten, teils jedoch auch gravierende Unterschiede – besonders in den Sektoren N1–E5, N1–E7, N1–E10, N2–E3, N2–E4, N2–E9, N3–E5, N3–E9, N4–E5, N4–E6, N5–E7, S2–E3, S5–E6 – auf.

Dafür sind mehrere Gründe ausschlaggebend. Die Vektordaten aus dem Testgebiet gehen auf zwei Orthofotos zurück: im Norden das Rasterbild 803402.tif (Sektorenstreifen S1–N6), im Süden das Orthofoto 803300.tif (Sektorenstreifen S2–S5). Eine Gegenüberstellung der Histogramme verdeutlicht die unterschiedlichen radiometrischen Eigenschaften der beiden Bilder (Abb. 4.11). Die helleren Bildanteile sind bei 803300.tif stärker vertreten. Bei 803402.tif weisen die Pixelwerte eine prägnantere rechtsschiefe Verteilung auf. Insgesamt macht 803402.tif einen flauereren Bildeindruck.

Eine visuelle Einzelbewertung der problematischen Sektoren liefert weitere Erklärungsmöglichkeiten für die abweichenden Ergebnisse (Abb. 4.9). Es ist nicht überraschend, dass es die größten Schwierigkeiten in Sektoren mit spezifischen Landnutzungstypen gibt, die zahlreiche, kleinteilige Linienstrukturen hervorbringen, wie im Bereich des Steinbruchs am Pfaffenberg (N5–E7), oder von Wohnbebauung, die nicht herausgefiltert wurde (N3–E9, N4–E5, N4–E6). Ferner findet auf den Orthofotos die dichte Parzellierung von landwirtschaftlich genutzten Flächen in Form von Streifenfluren manchmal aufgrund der ungünstigen radiometrischen Bildeigenschaften keine Entsprechung (N1–E5, N1–E7, N1–E10, N2–E3, S2–E3).

---

<sup>100</sup> KRONBERG 1984, 255 Abb. 189; KRONBERG 1985, 207 Abb. 134.

<sup>101</sup> Teotihuacán: COWGILL – ALTSCHUL – SLOAD 1984, 154 Abb. 1; MANZANILLA 2004, 124 Abb. 5.1.

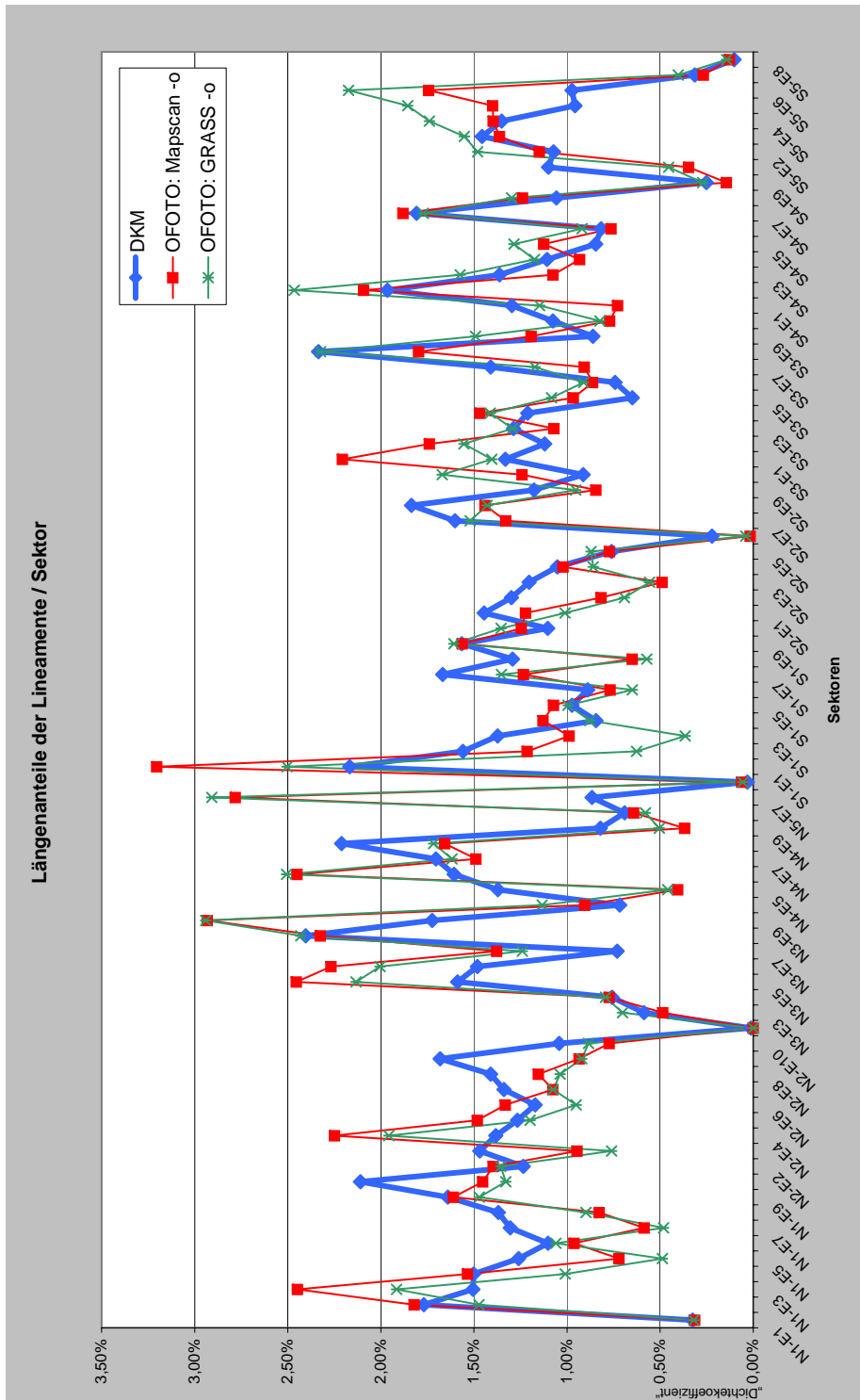


Abb. 4.10: Längenanteile der Lineamente pro Sektor in Prozentwerten

Undeutliche Grenzen von Streifenfluren gehen vor allem als Folge allzu mangelhafter Kontraste und wegen geringer Detailwiedergabe schon im Verlauf des Bildverarbeitungsprozesses (Kontrastverbesserung, Binärumsetzung) verloren. Eine weitere Ursache ist der manchmal unterschiedliche Informationsgehalt der DKM und der Orthofotos, sodass die Unterteilung der Agrar-

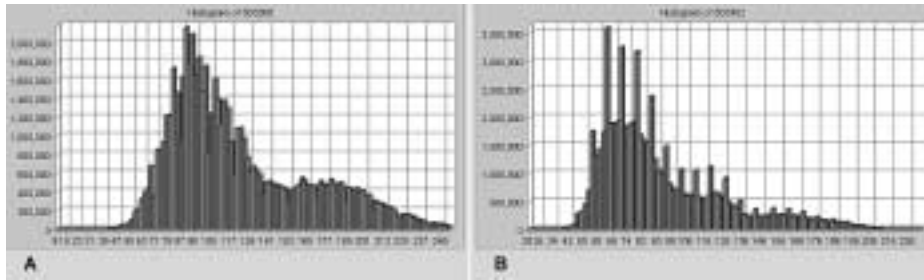


Abb. 4.11: Histogramme der Orthofotos 803300.tif (A) und 803402.tif (B)

flächen nicht übereinstimmt (S5–E6). Homogene Waldflächen im Bereich von Bad Deutsch-Altenburg (N3–E5, N4–E5) weisen beispielsweise eine komplex strukturierte Parzellierung auf, die sich wiederum im Luftbild überhaupt nicht zu erkennen gibt.

Besonders negative Auswirkungen sind bei einer Kombination von mehreren genannten Faktoren zu erwarten, so z. B. bei einem Zusammentreffen von ungünstigen Bildeigenschaften und unterschiedlichem Informationsgehalt (N2–E4) oder von gewissen Landnutzungstypen (Wohnbebauung/Bewaldung) und unterschiedlichem Informationsgehalt (N3–E5, N4–E5).

Als Optimierungsmöglichkeit würde sich zunächst die Kontrolle der binarisierten Rasterbilder unter Zuhilfenahme der DKM anbieten. Das Anbringen von lokalen radiometrischen Korrekturen bzw. Bildverbesserungen vor dem Vektorisierungsvorgang ist allerdings als sehr zeitaufwendig einzustufen. Leichter zu realisieren dürfte die Erweiterung des räumlichen Filters sein. Die etwas detailliertere (manuelle) Erfassung von gewissen Landnutzungstypen (geschlossene Wohnbebauung, Waldgebiete, Bergbauareale) im Raum Carnuntum wäre im Hinblick auf den Arbeitsaufwand durchaus vertretbar.

Vergleicht man die mit GRASS bzw. MapScan durchgeführten Vektorisierungen untereinander, konzentrieren sich die im Ergebnis abweichenden Sektoren ebenfalls auf den Nordteil des Testgebiets, der durch das Orthofoto 803402.tif abgedeckt wird. Unterschiedliche Ergebnisse treten vor allem in Sektoren mit überwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen in Erscheinung. Eine Erklärung dafür könnte nur eine vertiefende Auseinandersetzung mit den implementierten Algorithmen der verwendeten Vektorisierungssoftware liefern, die in diesem Rahmen nicht erfolgen kann.

Mit Hilfe einer Korrelationsanalyse sollen die Zusammenhänge zwischen den Richtungsverteilungen veranschaulicht werden. Dies kann auf der Basis der 82 zirkulären Mittelwerte der sektorenweise aggregierten Orientierungsdaten durchgeführt werden. Die in Oriana implementierte *circular-circular correlation* kalkuliert den Koeffizienten zwischen zwei zirkulären Variablen mit der Fisher-Lee-Methode, die dem Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten nach Pearson bei linearen Daten entspricht<sup>102</sup>. Der verwendete zirkuläre Korrelationskoeffizient kann einen Wert zwischen  $-1$  und  $1$  annehmen, also von einer perfekten negativen Korrelation bis zu einer perfekten positiven Korrelation reichen. Ein Wert nahe  $0$  bedeutet, dass keine Korrelation besteht.

<sup>102</sup> KOVACH 2003, 51.

Tab. 4.1: Zirkuläre Korrelation (*mean vector* = MV) zwischen der DKM und den beiden Vektorisierungsversuchen (MapScan, GRASS)

Results in matrix format			
Circular-Circular correlation (lower half) and probabilities (upper half)			
	DKM_MV	MAP_MV	GRASS_MV
DKM_MV	–	< 0.05	< 0.05
MAP_MV	0,582	–	< 0.05
GRASS_MV	0,57	0,814	–

Zwischen den beiden Vektorisierungsversuchen einerseits (MAP\_MV, GRASS\_MV) und den Werten der DKM andererseits (DKM\_MV) herrscht die Richtungsverteilungen betreffend jeweils eine statistisch signifikante, mittlere positive Korrelation, wobei der Korrelationskoeffizient für MapScan geringfügig höher ist. Die beiden Vektorisierungsversuche untereinander weisen eine hohe positive Korrelation auf<sup>103</sup>.

Zieht man die Häufigkeitsverteilung der identifizierten Lineamente und deren Richtungsverteilungen heran, darf man schlussfolgern, dass die aus den Rasterbildern abgeleiteten Lineationen sicherlich keine (annähernd) vollständige Wiedergabe der in der DKM enthaltenen Parzellengrenzen liefern. Während die hier nicht näher kommentierten SPOT-Satellitendaten bestenfalls für eine erste Bestandsaufnahme bzw. eine großräumige Ersterkundung eingesetzt werden können, lassen sich mit den SW-Orthofotos doch weitaus bessere Ergebnisse erzielen.

Tab. 4.2: Zirkuläre Korrelation (*mean vector* = MV) zwischen der DKM und den beiden Vektorisierungsversuchen (MapScan, GRASS), gruppiert nach den Sektorenstreifen S1–N6 (Nord) und S2–S5 (Süd)

Results in matrix format			
Circular-Circular correlation (lower half) and probabilities (upper half)			
	DKM_MV	MAP_MV	GRASS_MV
DKM_MV	–	< 0.05	< 0.05
	–	< 0.05	< 0.05
MAP_MV	Nord: 0,695	–	< 0.05
	Süd: 0,471	–	< 0.05
GRASS_MV	Nord: 0,635	Nord: 0,858	–
	Süd: 0,509	Süd: 0,764	–

Ambivalente Ergebnisse sind bei „anspruchsvollen“ Vektorisierungsvorlagen, wie der Nordhälfte des Testgebiets, zu verzeichnen. In der Südhälfte des Testgebiets wurde zwar ebenfalls eine deutlich geringere Liniendichte als das Vorbild DKM erzielt, aber aus Abb. 4.9 möchte man ableiten, dass bezogen auf die Linienlänge eine durchaus repräsentative Wiedergabe der Lineamente erreicht wurde.

Die Korrelation der Richtungsverteilungen ergibt allerdings ein anderes Bild. Bei den Sektorenmittelwerten herrscht eine größere Übereinstimmung in der Nordhälfte des Testgebiets als im Süden. Eine Erklärung dafür wäre, dass die korrelierten, zirkulären Mittelwerte vor allem von der Anzahl der

<sup>103</sup> BÜHL – ZÖFEL 2000, 320.

---

Richtungsmessungen negativ beeinflusst werden. Offenbar zeigen sich hier die Nachteile von reinen Kantendetektionsalgorithmen. Auf den binarisierten Bildern treten häufig Linien in Form von längeren Pixelreihen in Erscheinung, die „unterbrochen“ sind. Eine vollautomatisierte Vektorisierung, die keine an die Qualität der Rasterdaten angepasste Linienverfolgung vorsieht, kann diese Lücken nicht schließen. Die Nachteile von in reinen Kantendetektionsalgorithmen verwendeten linearen Operatoren sind bekannt: Sie sind einerseits besonders anfällig für Störpixel, andererseits eben unfähig, Lücken in Linienelementen zu ergänzen<sup>104</sup>.

Dies kann die zirkulären Mittelwerte entscheidend verzerren, was besonders bei einem Vergleich mit der DKM zum Tragen kommt und die Aussagekraft der Korrelation sicherlich einschränkt. Zusätzlich spielt hier natürlich auch der schon angesprochene unterschiedliche Informationsgehalt der Vergleichsdaten (digitale Katastermappe versus Orthofotos) eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Demgegenüber weisen die mit GRASS GIS und MapScan erzielten Ergebnisse eine höhere Korrelation auf. Während es mit GRASS aufgrund der vollautomatischen Vektor-Konversion („Batch-Vektorisierung“) kaum möglich sein wird, bessere Ergebnisse zu erzielen, bietet MapScan als Vektorisierungs- und Nachbearbeitungssoftware eine umfangreichere Palette an interaktiven Werkzeugen, sodass noch ein größeres Potenzial vorhanden wäre, die Ergebnisse zu verbessern. Ein deutlich höherer Zeitaufwand bei der Vektorisierung wäre die Folge.

#### 4.6 Rekonstruktion der antiken Limitation im Raum Carnuntum

Ein Großteil der bisher in der Limitationsforschung durchgeführten Rekonstruktionsversuche weisen dieselben Schwierigkeiten bzw. Schwächen auf. Die Rekonstruktionsvorschläge beruhten häufig auf kleinmaßstäblichem, analogem Kartenmaterial, auf dem eine manuelle Kartierung der identifizierten Limitationsreste vorgenommen wurde. Die Selektion der orientierungskonformen Lineamente ging demzufolge von einer rein visuellen Bewertung der Flurorientierungen aus. Besonders problematisch ist die nicht selten willkürliche Lokalisierung des Ausgangspunkts der Vermessung, denn die Lage des Nullpunkts ist entscheidend dafür, welche Lineamente mit den *limites* einer *centuria* übereinstimmen.

GIS-Einsatz bietet nicht nur die Möglichkeiten, aus einem Polylinien-Datenbestand Linienelemente mit gewissen Orientierungseigenschaften zu selektieren und unterschiedlich ausgerichtete Zenturiationssysteme in Form eines *visual overlay* grafisch darzustellen. Im Hinblick auf Rekonstruktionsversuche sollte es mit GIS-Technologie auch vergleichsweise einfach sein, konkurrierende Modelle zu berechnen und zu bewerten.

Die Rekonstruktionsversuche der römischen Landvermessung im Raum Carnuntum stützen sich auf sechs Modelle (Raster A1–A6), für die folgende Voraussetzungen gelten:

- Für die axiale Ausrichtung war die postulierte Legionslagerachse 6a bestimmend (vgl. Kap. 2) bzw. eine bestmögliche Übereinstimmung mit der Achse 1 anzustreben. Auch wenn zwischen beiden Achsen nur geringfügige Abweichungen in der Größenordnung von 1° bestehen, musste man dies

---

<sup>104</sup> KNÖPFLE 1988, 41.



---

bei großräumigen Rekonstruktionsversuchen durch separate Modelle in Betracht ziehen.

- Bei der Definition des Ausgangspunkts wurden ebenfalls mehrere Varianten in Erwägung gezogen. Der Schnittpunkt der Achse 6 mit der Achse 1 scheint aus archäologischer Sicht derzeit die naheliegendste Lösung zu sein. Eher willkürlich ist die Annahme des Nullpunkts bei den Modellen A5 und A6.
- Als dritten Punkt galt es die unterschiedliche Seitenlänge der Zenturien zu berücksichtigen. Deshalb wurden für jedes der drei Achsensysteme eine Variante mit einer Zenturienseitenlänge von 703 und eine zweite mit einer Seitenlänge von 710 m definiert.

Die Ausgangsdaten bei der Erstellung der Raster A1–A6 bildeten die Vektorisierungsergebnisse, die auf der Basis der SW-Orthofotos mit Hilfe von GRASS und MapScan generiert wurden, ohne dass eine Zerlegung in einzelne Liniensegmente durchgeführt worden war (vgl. Kap. 4.5). Die Polylinien wurden in 8 Klassen ausgehend von der auf  $129^\circ$  ausgerichteten Hauptorientierungsachse gruppiert. Danach erfolgte eine Selektion der Linienstrukturen, die maximal  $\pm 2,5^\circ$  davon abweichen, wobei die Azimutintervalle denen der Klasse 1 und 5 bei der Analyse der Siedlungsbefunde in der Lagerstadt entsprechen (vgl. Kap. 4.4 Abb. 4.7).

Die sechs orthogonalen Raster wurden jeweils mit einem Puffer von  $\pm 15$  m versehen, sodass als Ergebnis sechs Polygon-*Feature Classes* vorlagen, die die Raster A1–A6 repräsentierten. Bei der Selektion der Linienelemente kamen zwei unterschiedliche Verfahren zur Anwendung:

1. Selektion sämtlicher vollständiger Polylinien, die innerhalb des Puffers liegen (Operator: *are contained by*)
2. Vektorverschneidung, indem alle linearen Strukturen innerhalb des Puffers über eine *clip*-Operation selektiert werden.

Entscheidend ist die Definition der Zenturiationsraster:

- Raster A1 (Beilage 4) geht von der Legionslagerachse (Achse 6a) aus. Die zugehörige Achse 6b wird mit einem Winkel von  $219^\circ$  angenommen. Ausgangspunkt der Achse 6b ist die im Luftbild nachgewiesene römische Fernstraße südwestlich von Schaffelhof ( $x/y = 789.107/5.328.375$ ). Der hypothetische Nullpunkt, der als Ausgangspunkt der Vermessung den Schnittpunkt des *decumanus maximus* mit dem *cardo maximus* wiedergibt, liegt bei:  $x/y = 791.788/5.331.686$  (auf volle Meterangaben gerundet). Zenturienseitenlänge: 710 m
- Raster A2 nimmt als Ausgang den Verlauf der auf einer Länge von über 5 km verlässlich rekonstruierbaren Römerstraße nordöstlich von Bruck/Leitha (Achse 1). An Hand der SW-Orthofotos ließ sich eine Orientierung von  $40,0^\circ$  bestimmen (vgl. Kap. 2). Vom Nullpunkt ( $x/y = 791.838/5.331.630$ ) ausgehend wird im rechten Winkel dazu der *cardo maximus* gelegt. Zenturienseitenlänge: 710 m
- Die Raster A3–A4 entsprechen den Modellen A1–A2 mit dem Unterschied, dass die Zenturienseitenlänge 703 m beträgt.
- Raster A5 nimmt wie bei A2 die Achse der aus Luftbildern erschlossenen Römerstraße zur Rekonstruktionsgrundlage. Der Nullpunkt wird mit  $x/y = 791.942/5.331.754$  willkürlich festgesetzt. Hier verläuft nämlich der

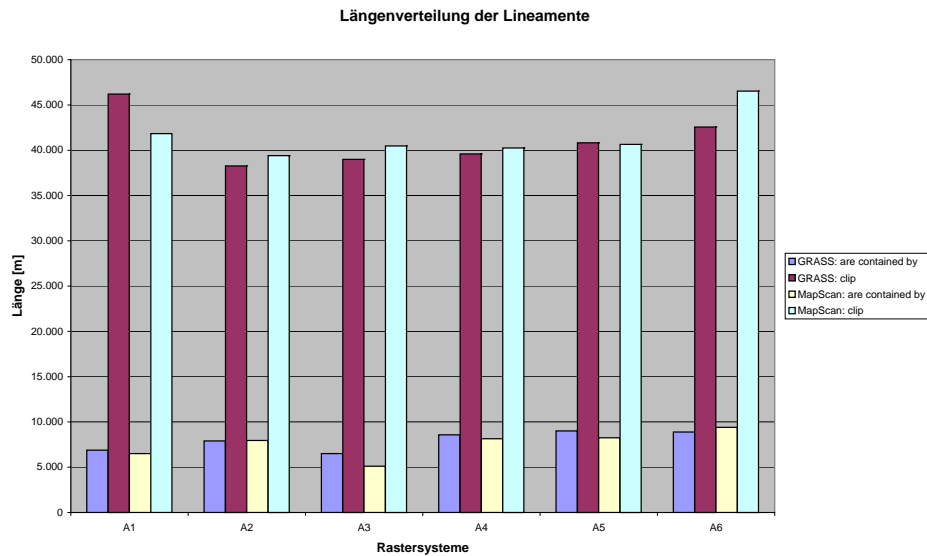


Abb. 4.12: Rekonstruktionsversuche A1–A6: Längenverteilung der Lineamente

hypothetische *decumanus* durch ein im Luftbild sichtbares, prominentes Gebäude in der Lagerstadt, das vermutlich als Tempel zu interpretieren ist. Zenturienseitenlänge: 703 m

- Raster A6 stimmt mit A5 überein, weist jedoch eine Zenturienseitenlänge von 710 m auf.

#### 4.6.1 Ergebnisse

Die Ergebnisse lassen sich in Diagrammform darstellen, wobei die Längenverteilung der Lineamente als Bewertungsgrundlage dienen (Abb. 4.12). Die Gesamtlänge der vollständig innerhalb der sechs Puffer liegenden Polylinien bewegte sich zwischen 5.099 m und 9.401 m und ist damit vergleichsweise gering. Die höchsten Werte erreichten die Rekonstruktionsversuche A2 und A4–A6. Raster A6 setzte sich davon noch geringfügig ab. Ausschlaggebend dafür ist sicherlich die axiale Übereinstimmung des hypothetischen *decumanus* mit der Römerstraße (Achse 1), entlang der zahlreiche lineare Strukturen auf über 5 km Länge vektorisiert wurden. Die unterschiedlichen in GRASS und MapScan implementierten Vektorisierungs- bzw. Simplifikationsalgorithmen spielen keine entscheidende Rolle.

Mit Hilfe der *clip*-Operation ließen sich Polylinien im Umfang von 38.268 m bis 46.533 m erfassen. Raster A1 und A6 wiesen die besten Werte auf, doch erreichte GRASS bei Raster A1, MapScan bei Raster A6 Spitzenwerte. Die genauen Ursachen für dieses abweichende Bild bleiben ohne nähere Analysen ungeklärt. Bei einer Vektorverschneidung sollten Simplifikationsalgorithmen ebenfalls nicht ausschlaggebend sein.

Den besten Gesamteindruck hinterließ Raster A6, der ungeachtet der Software und der Selektionsmethode sehr gute bis gute Werte im Vergleich erzielte.

#### 4.6.2 Diskussion

Die sechs Rekonstruktionsversuche brachten nicht völlig zufriedenstellende Ergebnisse. Die Ursachen dafür sind zunächst bei der Datenaufbereitung und

---

der Durchführung der Selektionsvorgänge zu suchen. Die jeweils 30 m breiten Pufferzonen beinhalten auch (vollständige oder verschnittene) Linienelemente, die aufgrund ihrer geringen Länge quer zu den mit einem Puffer versehenen Vermessungslinien verlaufen können. Als Optimierungsmöglichkeit würde sich anbieten, die Lineamente der Klassen 1 und 5 getrennt zu behandeln und ebenso jedes Raster in NW-SO und SW-NO streichende Vermessungslinien zu differenzieren (z. B. Raster A1a und A1b). In diesem Fall würden nur mit den Vermessungslinien übereinstimmend orientierte Lineamente selektiert werden.

Inbesondere bei der *clip*-Operation wirkt sich die Tatsache aus, dass alle Polylinien der Klassen 1 und 5, die den Raster schneiden, mit dem Puffer verschnitten werden. Insofern können die Ergebnisse der Vektorverschneidung trotz der vordergründigen Präferenzen für die Raster A1 und A6 keine große Verlässlichkeit beanspruchen. Berücksichtigt man nur vollständige Linien (Operator: *are contained by*), sticht die Dominanz der Modelle hervor, die sich eng an der Römerstraße (Achse 1) orientieren. Raster A2 und A4–A6 unterstreichen somit die Häufigkeit der Lineamente entlang der Achse 1. Eine Entscheidung über die Lage des Vermessungsausgangspunkts und der Maschenweite des Rasters (703 oder 710 m) ist angesichts der vergleichbaren Werte nicht möglich.

Die bisherigen Untersuchungen haben den Zusammenhang zwischen der Legionslagerachse (Achse 6: Achsenkreuz mit einer Orientierung:  $129^\circ/309^\circ - 39^\circ/219^\circ$ ) und der Orientierung der Achse 1 ( $130^\circ/310^\circ - 40^\circ/220^\circ$ ) deutlich gemacht. Die geringfügige Abweichung von  $1^\circ$  wirft die Frage auf, wie verlässlich die Angaben Kanders eigentlich sind. Kandler rekonstruierte die Vermessungslinien der Achsen 5 und 6 ausgehend von den eigenen Grabungsbefunden und den Altgrabungen. Seine Rekonstruktion erfolgte also ausschließlich anhand der in der *praetentura* des Legionslagers freigelegten Befunde (Abb. 2.4). Bezogen auf die über 5 km lange römische Straßentrasse (Achse 1) konnte er dabei nur auf vergleichsweise kurze Strecken zurückgreifen.

Seit den Grabungen Kanders im Legionslager kamen keine neuen Befunde zutage, die eine Präzisierung der Achsenausrichtung erlauben würden. Greift man auf die Fotolineationen im heutigen Landschaftsbild zurück und selektiert die SO-NW streichenden Linienelemente der Klasse 1, die über 200 m lang sind, erhält man mit GRASS 31, mit MapScan 33 Polylinien. Der *mean vector*  $\mu = 129,155^\circ$  (GRASS) bzw.  $\mu = 129,182^\circ$  (MapScan) stimmt sehr gut mit den Werten Kanders überein und weicht von der für die Achse 1 ermittelten Ausrichtung ab.

Die Abweichung von  $1^\circ$  wirkt auf den ersten Blick sehr gering, doch ist diese Differenz über längere Distanzen durchaus von Bedeutung. Eine wirklich überzeugende Erklärung kann hier nicht angeboten werden. Man muss auf diese Unstimmigkeit hinweisen, sollte sie aber nicht zum Anlass nehmen, an den Zusammenhang von Achse 1 und Achse 6 als Hauptvermessungsachsen eines Limitationsrasters zu zweifeln.

Die bei den herangezogenen Daten (SW-Orthofotos) durchgeführte vollautomatisierte Vektorisierung ist sicherlich ausreichend, um einen Überblick über die Ausdehnung von orientierungskonformen Lineamenten zu erhalten. Ein zufriedenstellender Rekonstruktionsvorschlag konnte darauf aufbauend allerdings nicht entwickelt werden, denn die Unterschiede zwischen den Rastern A1–A6 sind zu gering. Ein Aspekt, auf den hier nur am Rande hingewiesen werden kann, ist die Abhängigkeit metrologischer Untersuchungen von

---

den Maßstäben der verfügbaren Kartengrundlagen. Im Rahmen einer statistisch-metrologischen Analyse am Beispiel des hellenistischen Vermessungsrasters auf der dalmatinischen Insel Hvar (Pharos) untersuchten Slapšak – Stančić<sup>105</sup> die Eignung von Kartengrundlagen für metrologische Studien. Demzufolge erlauben topografische Karten im Maßstab 1 : 25.000 nur geodätische Genauigkeiten im Bereich von  $\pm 5$  m. Erst bei topografischen Karten 1 : 5.000 bewegt man sich in einem Fehlerbereich von  $\pm 1$  m. Die Lagegenauigkeit der Basisdaten, also der SW-Orthofotos, sollte unter diesen Aspekten also ausreichend sein (vgl. Tab. 3.1).

Problematischer erscheint ein weiterer Punkt, der vor allem im Carnuntiner Raum zum Tragen kommt: die bereits angesprochene Struktur des Flursystems. Die kleinteiligen Gewinnfluren resultieren in eng beieinander liegenden Lineamenten. Bei einer automatischen Vektorisierung ist es unmöglich, die Linienstrukturen unterschiedlich zu gewichten, um zwischen (temporären) Ackergrenzen und beständigeren Flurgrenzen (Hecken, Mauern etc.) unterscheiden zu können. Flursysteme mit einer hohen Dichte an Lineationen – dazu zählen auch noch die Gewinnfluren nach erfolgter Kommassierung – dürften für metrologische Untersuchungen überhaupt eine schwierige Ausgangssituation darstellen. Für erneute Rekonstruktionsversuche mit einer qualitativ höherwertigen Vektordatenbasis müsste man zuerst zumindest eine „halbautomatische“ Vektorisierung, wahrscheinlich sogar eine manuelle Vektordatenerfassung durchführen.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Eine der Grundvoraussetzungen für die Organisation und Nutzung des städtischen Umlandes war in der Antike – wie heute auch – die systematische Landvermessung, Kartierung und Aufzeichnung der Grundbesitzverhältnisse. Die Relikte der römischen Landvermessung (Limitation, Zenturiation) haben sich im heutigen Landschaftsbild insbesondere in den Anrainerstaaten des Mittelmeerraumes erstaunlich gut erhalten, sodass vielerorts eine Rekonstruktion der römischen Limitation anhand der heutigen Flurgrenzen ermöglicht wurde. Charakteristisch ist eine Parzellierung des Landes in quadratische Grundeinheiten mit einer Seitenlänge von 20 *actus* (durchschnittlich ca. 710 m).

Für das Umland des Legionslagers und der römischen Stadt Carnuntum (Niederösterreich) kann man deshalb eine analoge Vorgangsweise erwarten. Manfred Kandler war hier im Raum Petronell/Bad Deutsch-Altenburg aufgefallen, dass die Längsachse des ältesten Legionslagers mit einem Großteil der Parzellengrenzen in der Gemeinde Bad Deutsch-Altenburg fluchtet. Den Zusammenhang zwischen der Orientierung der aktuellen Flurgrenzen und der Ausrichtung des Lagers führte Kandler auf die römische Limitation des Gebiets zurück.

Das Hauptziel der vorliegenden Studie besteht darin, diese Zusammenhänge auf die Hypothesen Kanders bezug nehmend zu überprüfen. Seit seinen Ausführungen von 1976/1977 liegt zum einen eine breitere Datenbasis vor, zum anderen hat sich mittlerweile ein wesentlich erweitertes Methodenspektrum in der Limitationsforschung entwickelt. Gegenüber den Anfängen in den Jahrzehnten nach dem Zweiten Weltkrieg, die durch Luftbildkartie-

---

<sup>105</sup> SLAPŠAK – STANČIČ 1998.

---

rungen auf der Grundlage analoger Karten geprägt waren, erfolgte ab den 1980er-Jahren mit der Verfügbarkeit digitaler Fernerkundungsdaten eine Ablöse der grafisch-manuellen Auswertung durch Methoden der digitalen Bildverarbeitung. Der damals bereits praktizierte Einsatz statistischer Auswertungsmethoden konnte in der Folge durch GIS-Technologie wesentlich erleichtert und um weitere GIS-spezifische, analytische Techniken erweitert werden.

Die Untersuchung beginnt mit einer Definition der antiken Straßen- und Vermessungsachsen (Achsen 1–6), wobei wegen Problemen der Lagegenauigkeit weniger auf die Ergebnisse der (Alt-)Grabungen als auf Fernerkundungsdaten (Farb- und SW-Orthofotos) zurückgegriffen wird. Eine Interpretation von Bewuchsmerkmalen zeigt, dass sich Reste römischer Fernstraßen im Umland von Carnuntum teils noch im heutigen Verkehrsnetz erhalten haben.

Zunächst werden die Parzellenausrichtungen verglichen. Die für das Gemeindegebiet von Deutsch-Altenburg durchgeführte Vektorisierung des Altkatasters (Franziszischer Kataster 1819) ermöglicht eine Gegenüberstellung mit den Parzellenausrichtungen auf der aktuellen digitalen Katastermappe (DKM). Um die Parzellenausrichtungen mit adäquaten statistischen Maßzahlen beschreiben zu können, wurden vor allem in den Umwelt- und Erdwissenschaften verwendete Methoden adaptiert. Die für Orientierungsdaten vorgesehenen Verfahren der zirkulären Statistik werden besonders in der Photo-geologie bei der Bewertung von tektonischen Bruchlinien (Lineamente, Lineationen) angewandt. In Carnuntum ließ sich eine Visualisierung von zirkulären Lage- und Streuungsparametern durchführen, die eine räumlich differenzierte Interpretation der Attributausprägungen erlaubte. Dies konnte mit graphischen Darstellungen wie zirkulären Histogrammen und Richtungsrosen unterstützt werden.

Auf Basis der aktuellen DKM erfolgte eine Klassifikation und Visualisierung der Parzellenausrichtungen, die über die Raumabdeckung des vektorisierten Altkatasters hinausreichte. Die Gruppierung der Parzellengrenzen in Orientierungsklassen mit gleich breiten Azimutintervallen gewährleistete einen ersten Überblick, sodass die Unterschiede zwischen den Gemeinden Bad Deutsch-Altenburg (Legionslager Carnuntum) und Petronell (Zivilstadt Carnuntum) deutlich hervortraten. Konzentriert man sich auf das unmittelbare Umfeld des Legionslagers, ist die gruppierte Darstellung der Parzellengrenzen des Altkatasters besonders aufschlussreich. Nach einer Klassifikation ausgehend von den postulierten antiken Vermessungsachsen (Achsenausrichtung:  $39^\circ$  bzw.  $129^\circ$ ) können die innerhalb eines  $5^\circ$  großen Toleranzbereichs liegenden Lineamente identifiziert werden, sodass sich der hohe Anteil an Parzellengrenzen, die mit Kanders Modell übereinstimmen, quantifizieren ließ.

Die Siedlungsbefunde in der Lagerstadt (*canabae legionis*) unmittelbar um das Lager wurden auf vergleichbare Weise visualisiert. Das postulierte Zenturiationssystem spielte bei der Bebauung der Lagerstadt offenbar städteplanerisch keine Rolle, denn hier findet sich ein deutlich höherer Anteil von Baufluchten, die sich an anderen (jüngeren?) Vermessungslinien ausrichten. Dies trifft auch auf die Zivilstadt von Carnuntum zu.

Über die Ausführungen von Kandler hinausreichend wurde der Versuch einer Rekonstruktion des vorgeschlagenen Limitationssystems unternommen. Zu diesem Zweck wurden sechs Modelle definiert, die sich in der Wahl der Zenturienseitenlänge (703 oder 710 m), der Lage des Ausgangspunkts der

---

antiken Vermessung sowie in Form von geringfügigen Achsenabweichungen unterschieden. Nach einer Pufferbildung ausgehend von den Vermessungsachsen und mit Hilfe von Vektorverschneidungsfunktionen konnten die Anteile von modellkonformen Lineamenten verglichen werden. Die Rekonstruktionsversuche verliefen allerdings nicht erfolgreich, denn kein Modell setzte sich entscheidend von den anderen ab.

Insgesamt gesehen ist aber doch ein erheblicher Informationsgewinn zur römischen Limitation in Carnuntum zu konstatieren.

1. Erstmals sind definitive Aussagen zur Ausrichtung der Grundstückspartellen im Raum Carnuntum möglich. Darüber hinaus kann für das Gemeindegebiet von Bad Deutsch-Altenburg durch die Vektordigitalisierung des Franziszeischen Katasters das Ausmaß der Veränderungen der Parzellenausrichtungen in Folge von Flurbereinigungsmaßnahmen räumlich differenziert bewertet werden. In zukünftigen Forschungen sollte ferner Kandlers Hinweis auf die Wüstung Steinabrunn, einer bei dem Türkeneinfall von 1529 zerstörten Ortschaft im Süden des Gemeindegebiets, nachgegangen werden. Spätere Neuvermessungen, die die abweichend orientierten Flurgrenzen in diesem Bereich erklären dürften, finden Ausdruck im Zusatz „Neuriß“ bei den Flurnamen<sup>106</sup>. Trotz der komplexen kulturlandschaftsbildenden Prozesse der letzten Jahrhunderte, die ein lohnendes Betätigungsfeld für landschaftshistorische Untersuchungen wären, konnte eine erstaunlich große Übereinstimmung des Altkatasters mit dem Limitationsmodell Kandlers festgestellt werden. Die Kommassierungsmaßnahmen des Jahres 1911 brachten einschneidende Veränderungen in den zentralen und südlichen Gemeindeflächen mit sich. Die für die Region typischen Gewinnfluren prägten die Struktur der landwirtschaftlich genutzten Flächen. Während die Orientierung der Agrarflächen in den östlichen und nördlichen Bereichen der Gemeinde Bad Deutsch-Altenburg weitgehend erhalten blieb, verdient die Entwicklung unmittelbar um das Legionslager besondere Beachtung. In erster Linie südlich und östlich davon zeigte die Bebauung der Lagerstadt kaum Übereinstimmung mit dem Zenturiationsraster. Im Altkataster sind die Flächen östlich des Lagers stärker nach OSO verlaufend. Erst mit den Kommassierungen am Beginn des 20. Jahrhunderts (!) kam es zu einer Umorientierung und Anpassung an die Parzellen südwestlich des Lagers, die (schon im Franziszeischen Kataster) mit der römischen Zenturiation übereinstimmten. Dieses Beispiel veranschaulicht recht gut die komplizierten Mechanismen, die die historische Entwicklung des Landschaftsbildes beeinflussen. Gerade deshalb erübrigt sich eine Diskussion über den tatsächlich antiken Ursprung einzelner Lineamente. Im Carnuntiner Kontext kann dieses Problem weder mit GIS-spezifischen noch mit alternativen Methoden gelöst werden.
2. Daten mit einer entsprechend großen Raumabdeckung erleichtern die Rekonstruktion von antiken Limitationsrastern enorm. Vor allem Fernerkundungsdaten gewährleisteten einen räumlichen Überblick und ermöglichen das Erkennen von Landschaftsmustern, zu denen auch die Reste der römischen Limitation zu zählen sind. In der Limitationsforschung fanden deshalb schon sehr früh Luftbilder und topografische (Übersichts)Karten Verwendung. Mit dem geringen Geländeauschnitt des vektorisierten Franziszeischen Katasters und der digitalen Katastermappe ist das Erfas-

---

<sup>106</sup> KANDLER 1977, 147–148.

---

sen größerer Zusammenhänge weitaus schwieriger. Weil bei der Carnuntiner Limitation offensichtlich der Verlauf der Fernstraßen im Umland eine bedeutende Rolle spielte, wurde der Versuch unternommen, auf der Basis von SW-Orthofotos Fotolineationen zu identifizieren und über ihre Attributeigenschaften (Länge, Orientierung) zu analysieren. Bei den vorgenommenen automatisierten Vektorisierungsversuchen mussten „richtungskonstante“ Vektoren, also nicht allzu stark gekrümmte Polylinien, aus den Rasterdaten generiert werden, da ansonsten keine Auswertung mit Methoden der zirkulären Statistik bzw. überhaupt eine Visualisierung nach Orientierungswerten möglich ist. Zum Zwecke der Datenreduktion wurde nicht nur eine räumliche Selektion der Daten, sondern auch eine nach qualitativen Kriterien vorgenommen, die neben dem Kriterium der Linielänge auch eine Identifizierung der „richtungskonstanten“ Polylinien mit Hilfe einer Ratiobildung (*length ratio*) erlaubte. Die Ergebnisse der automatisierten Vektorisierung erbrachten wesentliche neue Erkenntnisse zur Ausdehnung des postulierten antiken Rasters, hauptsächlich im Raum zwischen Schaffelhof und Bruck/Leitha, wo sich zahlreiche Lineamente in Übereinstimmung mit dem Limitationsmodell wiederfinden. Hervorzuheben ist die bisher nicht entsprechend erkannte Bedeutung der sogenannten „Alten Straße“, einer Straßentrasse, die der römischen Fernverbindung Carnuntum-Scarbantia (Achse 1) folgte, und die eine der SW-NO verlaufenden Hauptvermessungsachsen des Systems, vermutlich den *cardo maximus*, repräsentierte. Die gewählte Methode der vollautomatisierten Vektorisierung von Rasterbildern erwies sich durchaus geeignet zur großräumigen Identifizierung von Linienstrukturen wie einem Limitationsraster. Die Ergebnisse der Vektorisierung stellten bei weitem keine vollständige Wiedergabe der vorhandenen Lineationen dar, bildeten aber eine zufriedenstellend repräsentative Auswahl, die vor allem von den Bildeigenschaften der verwendeten Rasterdaten und den am Boden vorhandenen Landnutzungstypen (Wohnbebauung, Bergbau, landwirtschaftlich genutzten Flächen, Wald etc.) abhängt.

3. Resümiert man abschließend zu den antiken Achsen 1–6, so ist zunächst festzuhalten, dass die von Kandler postulierte Längsachse des ältesten Carnuntiner Lagers (Achse 6) und die antike Straßentrasse südwestlich von Schaffelhof (Achse 1) die Hauptachsen des Limitationssystems charakterisierten. Dieser Abschnitt der römischen Fernstraße Carnuntum-Scarbantia, die sogenannte „Bernsteinstraße“, repräsentierte vermutlich den *cardo maximus*, die Längsachse des älteren Legionslagers sehr wahrscheinlich den *decumanus maximus*. Wie schon Kandler richtig erkannte, finden die aus dem Südtor (*porta decumana*) des mittelkaiserzeitlichen Lagers führende Straße (Achse 4) und die Längsachse in der *praetentura* des jüngeren Lagers (Achse 5) im heutigen Landschaftsbild keine vergleichbare Entsprechung. Abweichend zu den Ausführungen von Kandler<sup>107</sup> lassen sich die sogenannte „Gräberstraße“ unmittelbar südwestlich des Legionslagers (Achse 2) und die südöstlich nach Gerulata führende Straße (Achse 3) ebenfalls nicht mit diesem Limitationsmodell in Übereinstimmung bringen.

Meines Erachtens hat die vorliegende Untersuchung gezeigt, dass die in dieser Arbeit verwendeten Methoden dazu geeignet sind, Lineamente zu iden-

---

<sup>107</sup> KANDLER 1977, 146–147.

---

tifizieren, zu selektieren und mit quantitativen Verfahren zu analysieren. GIS-Technologie stellt jedoch nicht nur ein unverzichtbares analytisches Instrumentarium bei der Untersuchung von einzelnen Limitationssystemen zur Verfügung, sondern könnte auch als methodisch-technische Basis dazu dienen, ein wissenschaftlich essentielles, aber nach meiner Einschätzung in der Limitationsforschung noch ungelöstes Grundproblem besser in den Griff zu bekommen, bei dem es darum geht, die Vergleichbarkeit von Einzelergebnissen zu gewährleisten. Auf diese Schwierigkeit hat bereits Peterson<sup>108</sup> angesichts seiner Erfahrungen in Großbritannien hingewiesen, wo die Erhaltungsbedingungen für entsprechende antike Landnutzungsphänomene weitaus ungünstiger einzustufen sind als im Mittelmeerraum. Ein großes Desiderat wäre die Ausarbeitung eines Kriterienkatalogs, der überregional vergleichbare Maßzahlen umfassen könnte, wie die Länge und die Dichte der Lineamente, ihre Richtungsverteilung sowie die räumliche Verteilung der Liniendichte. Eine modifizierte Form des Persistenzindex, der per se eine quantitative Bewertung persistenter Linienelemente bezweckt und den Grad der Kontinuität von linearen Elementen im Landschaftsbild zu erfassen versucht, würde auch in der Limitationsforschung ein breites Anwendungsfeld finden.

#### DANKSAGUNG

Eine wesentliche Grundlage jeder Arbeit im Themenbereich „GIS“ bilden die Daten. Ohne die produktive Kooperation mit dem Museum Carnuntinum wären essentielle Basisdaten nicht zur Verfügung gestanden. Der archäologische Gesamtplan wurde und wird als work in progress gemeinsam mit dem Museum in Bad Deutsch-Altenburg erstellt. Herrn Franz Humer, dem Leiter des Museum Carnuntinum, sei dafür und für die Bereitstellung der Farb-Orthofotos herzlich gedankt.

Die Ergebnisse der Luftbildarchäologie sind für die Erforschung der römischen Landvermessung im Raum Carnuntum von besonderer Bedeutung. Die kollegiale Zusammenarbeit mit Herrn Michael Doneus (Luftbildarchiv des Instituts für Ur- und Frühgeschichte der Universität Wien) konnte in Carnuntum von der Auswertung von Luftaufnahmen aus dem Legionslager auf Fragestellungen im Umfeld der Stadt, vor allem zum Verlauf der römischen Fernstraßen, ausgedehnt werden. Seine stete Diskussionsbereitschaft verdient dankend hervorgehoben zu werden.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei zwei Kollegen aus dem Fachbereich Geographie für ihre Gesprächsbereitschaft und die erhaltenen Literaturhinweise bedanken: bei Herrn Oliver Bender (Institut für Stadt- und Regionalforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien) und Herrn Franz Xaver Schütz (Regensburg).

---

<sup>108</sup> PETERSON 1988a, 170 Abb. 9.



- Die Literaturabkürzungen orientieren sich an den Richtlinien der Römisch-Germanischen Kommission, Frankfurt/Main (Berichte der Römisch-Germanischen Kommission 71, 1990, 973 ff.). Für Werke mit österreichischem Erscheinungsort wurde zusätzlich die Sigelliste des Österreichischen Archäologischen Instituts verwendet (<http://www.oeci.at/publik/autoren.html>).
- ALBERTZ 2001 = J. ALBERTZ, Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern, 2. Aufl., Darmstadt 2001.
- ANTROP – VERMEULEN – WIEDEMANN 2001 = M. ANTROP – F. VERMEULEN – T. WIEDEMANN, GIS and spatial analysis for the study of Roman roads and field patterns in the civitas Menapiorum. In: B. Slapšak (Hrsg.), On the good use of geographic information systems in archaeological landscape studies. Proceedings of the COST G2 Working Group 2 round table Ljubljana 1998, Luxemburg 2001, 61–79.
- ANTROP – WIEDEMANN 2001 = M. Antrop – T. Wiedemann, Using GIS to study ancient linear marks. In: F. Vermeulen – M. Antrop (Hrsg.), Ancient Lines in the Landscape. A Geo-Archaeological Study of the Protohistoric Roman Roads and Field Systems in Northwestern Gaul, Babesch Suppl. 7, Leuven 2001, 43–66.
- BEHRENDIS – WILCOCK 2003 = O. BEHRENDIS – J. WILCOCK, COST Action G2 – Paysages anciens et structures rurales. Ancient landscapes and rural structures. Working Group 1: Sources techniques anciennes/Ancient technical sources (2003). <http://www.soc.staffs.ac.uk/jdwl/wg1home.htm> (2004–11–01).
- BENDER – JENS 2004 = O. BENDER – D. JENS, Zur Qualität der „historischen Kulturlandschaft“ – Diachronische Landschaftsbewertung auf Vektordatenbasis. In: J. Strobl – Th. Blaschke – G. Griesebner (Hrsg.), Angewandte Geoinformatik 2004: Beiträge zum 16. AGIT-Symposium Salzburg, Heidelberg 2004, 35–44.
- BRADFORD 1957 = J. BRADFORD, Ancient Landscapes. Studies in Field Archaeology, London 1957.
- BÜHL – ZÖFEL 2000 = A. BÜHL – P. ZÖFEL, SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows, 7. Aufl., München 2000.
- BURN 1997 = D. H. BURN, Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures, *Journal of Hydrology* 202, 1997, 212–230.
- CAILLEMER – CHEVALLIER 1957 = A. CAILLEMER – R. CHEVALLIER, Die römische Limitation in Tunesien, *Germania* 35, 1957, 45–54.
- CAMPBELL 2000 = B. CAMPBELL, The Writings of the Roman Land Surveyors, *Journal Roman Stud.* Monogr. 9, London 2000.
- CHARRAUT – FAVORY 1993 = D. CHARRAUT – F. FAVORY, De la carte topographique à l'analyse d'images: méthodologie de l'identification des limitations antiques, *Rev. Arch. Narbonnaise* 26, 1993, 19–56.
- CHARRAUT – JOURDAIN 1994 = D. CHARRAUT – PH. JOURDAIN, Traitement d'images et morphologie cadastrale. In: M. Clavel-Lévêque – I. Jouffroy – A. Vignot (Hrsg.). De la terre au ciel I. Paysages et cadastres antiques, Kongressber. Besançon 1993, Centre Recherche Ancienne 136, Espaces et paysages 3, Paris 1994, 165–172.
- CHOUQUER – FAVORY 1991 = G. CHOUQUER – F. FAVORY, Les Paysages de l'Antiquité. Terres et cadastres de l'Occident romain (IV<sup>e</sup> s. avant J.-C./III<sup>e</sup> s. après J.-C.), Paris 1991.
- CLAVEL-LÉVÊQUE – OREJAS 2002 = M. CLAVEL-LÉVÊQUE – A. OREJAS (Hrsg.), Atlas historique des cadastres d'Europe 2, Commission Européenne, Luxemburg 2002.
- CLAVEL-LÉVÊQUE et al. 2000 = M. CLAVEL-LÉVÊQUE – A. VASSILOPOULOS – N. EVELPIDOU – G. TIROLOGOS, An Example from Béziers to Demonstrate a GIS based Methodology for Selecting Possible Roman Cadastre Grids. In: F. Vermeulen – M. De Dapper (Hrsg.), Geoarchaeology of the Landscapes of Classical Antiquity, Kongressber. Ghent 1998, Babesch Suppl. 5, Leiden 2000, 15–22.
- CLAVEL-LÉVÊQUE et al. 2001 = M. CLAVEL-LÉVÊQUE – A. VASSILOPOULOS – N. EVELPIDOU, Orientation analysis on possible Roman cadastre lines with the use of GIS tools. In: B. Slapšak (Hrsg.), On the good use of geographic information systems in archaeological landscape studies. Proceedings of the COST G2 Working Group 2 round table, Ljubljana 1998, Luxemburg 2001, 53–56.
- CLAVEL-LÉVÊQUE – VIGNOT 1998 = M. CLAVEL-LÉVÊQUE – A. VIGNOT (Hrsg.), Atlas historique des cadastres d'Europe 1, Commission Européenne, Action COST G2 «Paysages anciens et structures rurales», Brüssel 1998.
- COMPATANGELO 1989 = R. COMPATANGELO, Un cadastre de pierre – le Salento romain. Paysages et structures agraires, Centre Recherches Histoire Ancienne 90, Paris 1989.

- COWGILL – ALTSCHUL – SLOAD 1984 = G. L. COWGILL – J. H. ALTSCHUL – R. S. SLOAD, Spatial analysis of Teotihuacán: a Mesoamerican metropolis. In: H. Hietala (Hrsg.), *Intrasite spatial analysis in archaeology*, *New Directions in Archaeology*, Cambridge 1984, 154–195.
- DARBANDI – GUY 1981 = M. DARBANDI – M. GUY, La contribution des images spatiales et aériennes à la connaissance des mesures utilisées pour la division des terres dans l'Antiquité, *Pallas* 28, 1981, 101–121.
- DELÉZIR – GUY 1993 = J. DELÉZIR – M. GUY, Apport du traitement numérique et des images satellitaires à la connaissance des parcellaires antiques, *Rev. Arch. Narbonnaise* 26, 1993, 69–85.
- DEMERS 2000 = M. N. DEMERS, *Fundamentals of Geographic Information Systems*, 2. Aufl., New York 2000.
- DILKE 1971 = O. A. W. DILKE, *The Roman land surveyors*, Newton Abbot 1971.
- DONEUS – GUGL 1999 = M. DONEUS – CH. GUGL, Von der Luftbildauswertung zum digitalen Stadtplan von Teurnia – St. Peter in Holz (Kärnten), *ÖJh Beibl.* 68, 1999, 173–196.
- DONEUS – NEUBAUER – SCHARRER 2001 = M. DONEUS – W. NEUBAUER – G. SCHARRER, Archäologische Prospektion der Landschaft von Carnuntum. Möglichkeiten der Luftbildarchäologie, *Carnuntum Jahrb.* 2000, Wien 2001, 53–72.
- FAVORY 1980 = F. FAVORY, Détection des cadastres antiques par filtrage optique: Gaule et Campanie, *MEFRA* 92, 1980, 347–386.
- GREGORY – SOUTHALL 2002 = I. N. GREGORY – H. R. SOUTHALL, Mapping British Population History. In: A. K. Knowles (Hrsg.), *Past Time, Past Place. GIS for History*, *Redlands* 2002, 117–130.
- GROLLER 1900 = M. v. GROLLER, *Das Straßennetz*, RLÖ 1, Wien 1900, 47–64.
- GROLLER 1902 = M. v. GROLLER, *Straßenforschung*, RLÖ 3, Wien 1902, 3–18.
- GUGL 2003 = CH. GUGL, Carnuntum castra legionis. In: Zs. Visy (Hrsg.), *The Roman Army in Pannonia. An archaeological guide of the Ripa Pannonica*, Pécs 2003, 55–57.
- HARL 1989 = O. HARL, Der Stadtplan von Virunum nach Luftaufnahmen und Grabungsberichten, *Jahrb. RGZM* 36, 1989, 521–598.
- HÄUBER – SCHÜTZ 2001 = CH. HÄUBER – F. X. SCHÜTZ, The Analysis of Persistent Structures: A Functionality of the Archaeological Information System FORTVNA. AGIT 2001 – Symposium und Fachmesse für Angewandte Geoinformatik, Salzburg 2001 (2001). [http://www.agit.at/papers/2001/haeuber\\_FPR.pdf](http://www.agit.at/papers/2001/haeuber_FPR.pdf) (2004–08–18).
- HÄUBER – SCHÜTZ 2004 = CH. HÄUBER – F. X. SCHÜTZ, Einführung in Archäologische Informationssysteme (AIS). Ein Methodenspektrum für Schule, Studium und Beruf mit Beispielen auf CD, Mainz 2004.
- HEIMBERG 1977 = U. HEIMBERG, Römische Landvermessung – Limitatio, *Kleine Schriften zur Kenntnis der römischen Besetzungsgeschichte Südwestdeutschlands* 17, Stuttgart 1977.
- HUMER – KANDLER 2003 = F. HUMER – M. KANDLER, Carnuntum, *Arch. Österr.* 14/1, 2003, 4–27.
- JOBST 1983 = W. JOBST, *Provinzhauptstadt Carnuntum. Österreichs größte archäologische Landschaft*, Wien 1983.
- JOBST et al. 1983 = W. JOBST – M. KANDLER – H. HAITZMANN – H. KAGER – E. VOZIKIS – P. WALDHÄUSL, Archäologie und Photogrammetrie. Ballonaufnahmen, Pläne und Orthofotos von Carnuntum und des Kultbezirkes auf dem Pfaffenberg. Entzerrte Amateuraufnahmen von Mosaiken aus Ephesos. In: Bundesdenkmalamt Wien (Hrsg.), *Architektur-Photogrammetrie*, Wien 1983, 270–273.
- KANDLER 1974 = M. KANDLER, Die Ausgrabungen im Legionslager Carnuntum 1968–1973. Eine vorläufige Zusammenfassung, *AnzWien* 111, 1974, 27–40.
- KANDLER 1977 = M. KANDLER, Zum territorium legionis von Carnuntum. In: J. Fitz (Hrsg.), *Limes. Akten des XI. Internationalen Limeskongresses Székesfehérvár* 1976, Budapest 1977, 145–154.
- KANDLER 1979 = M. KANDLER, Vorläufiger Bericht über die Grabungen im Legionslager Carnuntum in den Jahren 1974 bis 1977, *AnzWien* 115, 1978 (1979) 335–351.
- KANDLER 1997 = M. KANDLER in: H. Friesinger – F. Krinzinger (Hrsg.), *Der römische Limes in Österreich. Führer zu archäologischen Denkmälern*, Wien 1997, 258–272.
- KANDLER 1998 = M. KANDLER, 100 Jahre Österreichisches Archäologisches Institut 1898–1998. Forschungen in Carnuntum. Begleitband zur Bilddokumentation im Museum Carnuntinum Bad Deutsch-Altenburg, Oktober 1998, Wien 1998.
- KANDLER 2000 = M. KANDLER, Der Kirchenberg von Bad Deutsch-Altenburg und seine archäologischen Denkmäler. Von der Urgeschichte zur Neuzeit. In: Ch. Farka (Hrsg.), *Der Kirchenberg. Archäologie und Geschichte im Bereich der Marienkirche von Bad Deutsch-Altenburg, Niederösterreich, Bad Deutsch-Altenburg* 2000, 13–38.

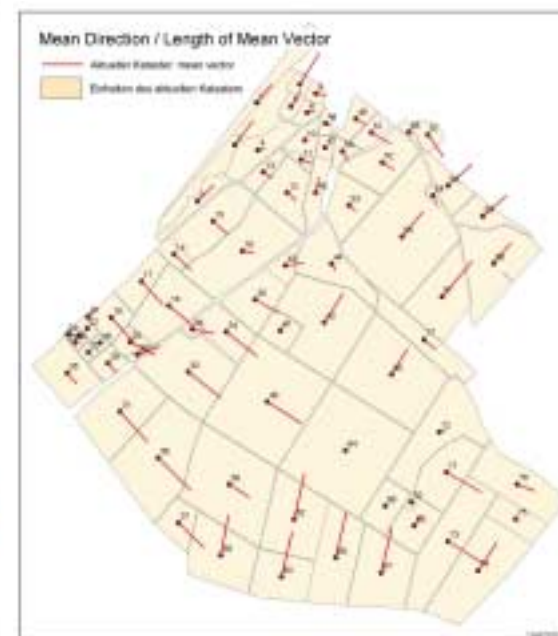
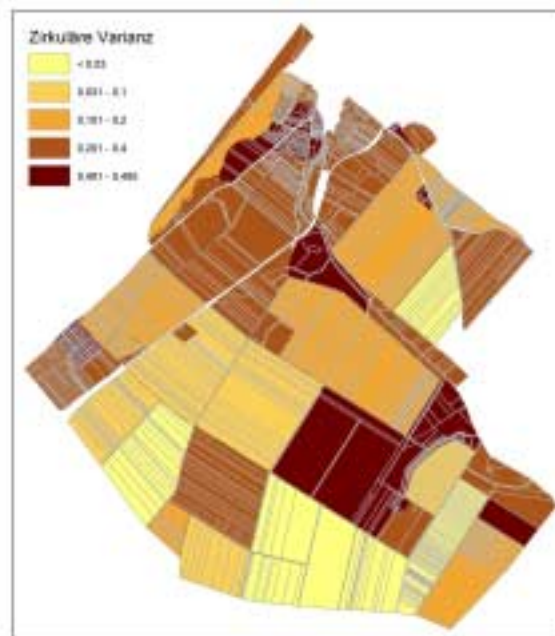
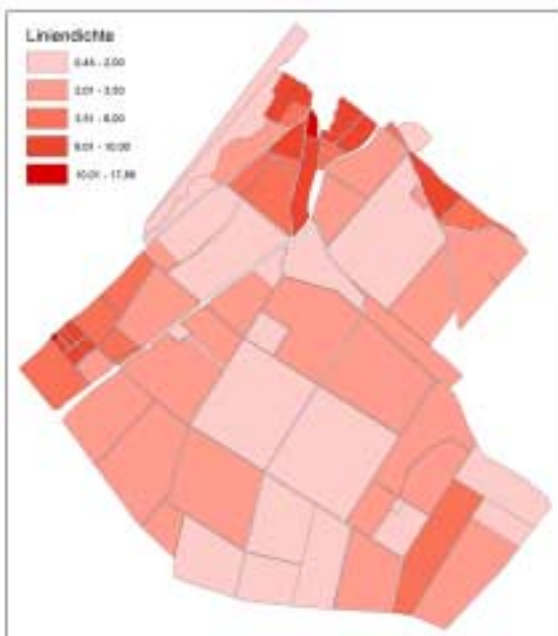
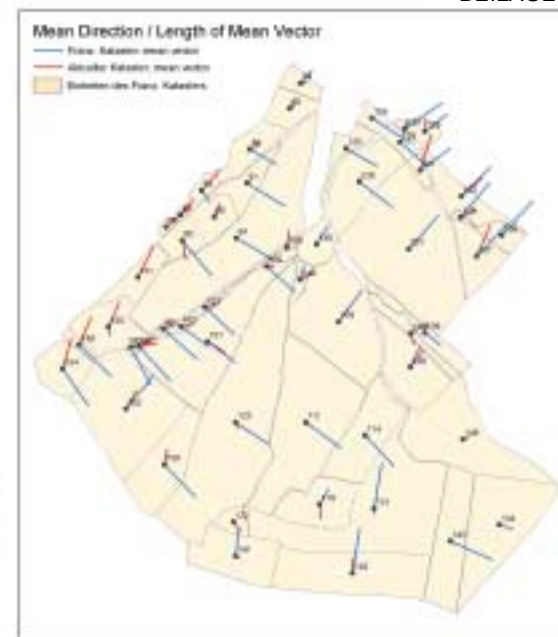
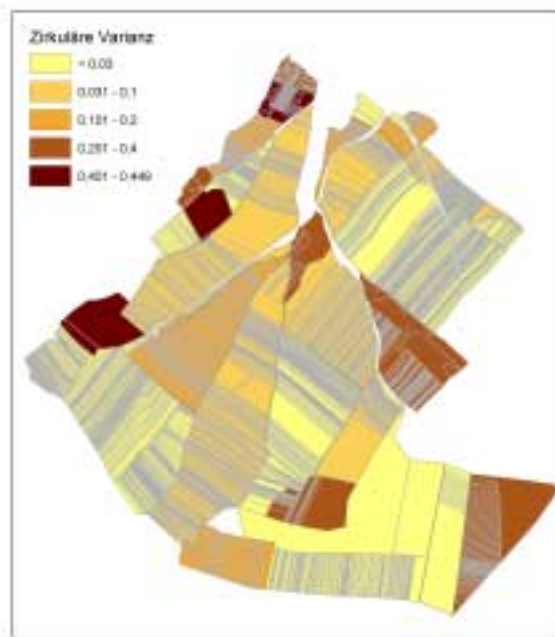
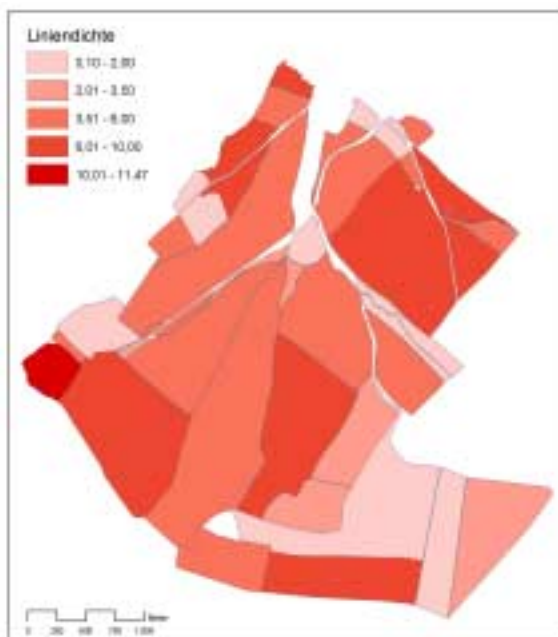
- KANDLER 2003 = M. KANDLER, Die Kavallerie im römischen Heer der Kaiserzeit. In: Mythos Pferd. Steirische Landesausstellung 2003, Ausstellungskat. Piber/Köflach, Graz 2003, 84–93.
- KANDLER – GUGL 2002 = M. KANDLER – CH. GUGL, Gli accampamenti militari di Carnuntum. In: M. Buora – W. Jobst (Hrsg.), Roma sul Danubio. Da Aquileia a Carnuntum lungo la via dell'ambra. Ausstellungskat. Udine 2002, Cat. e Monogr. Arch. Civici Musei di Udine, Rom 2002, 121–132.
- KANDLER – VETTERS 1989 = M. KANDLER – H. VETTERS (Hrsg.), Der römische Limes in Österreich. Ein Führer, 2. Aufl., Wien 1989.
- KNÖPFLE 1988 = W. KNÖPFLE, Rechnergestützte Detektion linearer Strukturen in digitalen Satellitenbildern, Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung 56/1, 1988, 40–47.
- KOVACH 2003 = W. L. KOVACH, Oriana – Circular Statistics for Windows, ver. 2, Pentraeth 2003.
- KRONBERG 1984 = P. KRONBERG, Photogeologie. Eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der geologischen Auswertung von Luftbildern, Stuttgart 1984.
- KRONBERG 1985 = P. KRONBERG, Fernerkundung der Erde. Grundlagen und Methoden des Remote Sensing in der Geologie, Stuttgart 1985.
- LAUR-BELART 1988 = R. LAUR-BELART, Führer durch Augusta Raurica, 5. Aufl., Basel 1988.
- LEE – WONG 2001 = J. LEE – D. W. S. WONG, Statistical Analysis with ArcView GIS, New York 2001.
- LESER 1998 = H. LESER (Hrsg.), Wörterbuch Allgemeine Geographie, 10. Aufl., München 1998.
- LILLESAND – KIEFER 2000 = TH. M. LILLESAND – R. W. KIEFER, Remote sensing and image interpretation, 4. Aufl., New York 2000.
- LORENZ 1987 = TH. LORENZ, Römische Städte, Darmstadt 1987.
- MANZANILLA 2004 = L. MANZANILLA, Social Identity and Daily Life at Classical Teotihuacan. In: J. A. Hendon – R. A. Joyce (Hrsg.), Mesoamerican Archaeology. Theory and Practice. Blackwell Studies in Global Archaeology, Malden/Oxford/Carlton 2004, 124–147.
- MARCHIORI 2004 = A. MARCHIORI, La centuriazione tra SIT e GIS, Agri Centuriati 1, 2004 (im Druck).
- MARDIA – JUPP 2000 = K. V. MARDIA – P. E. JUPP, Statistics of directional data, 2. Aufl., Chichester 2000.
- MÜLLNER 1973 = F. MÜLLNER, Bad Deutsch-Altenburg. Von der Frühzeit bis zur Gegenwart, Bad Deutsch-Altenburg 1973.
- NEDELIK 2002 = A. H. NEDELIK, Vom Municipium zur Marktgemeinde. Eine Chronik von Petronell-Carnuntum. 2000 Jahre große Geschichte und kleine G'schichtln. Teil 2: Von der Biedermeierzeit zur Jahrtausendwende, Petronell-Carnuntum 2002.
- NOWOTNY 1914 = E. NOWOTNY, Die Grabungen im Standlager von Carnuntum 1908–1911, RLÖ 12, Wien 1914, 1–222.
- NOWOTNY 1924 = E. NOWOTNY, Römische Forschung in Österreich 1912–1924, Ber. RGK 15, 1923/24, 121–161.
- NOWOTNY 1937 = E. NOWOTNY, Das Territorium legionis von Carnuntum, RLÖ 18, Wien/Leipzig 1937, 129–152.
- ORTON 2000 = C. ORTON, Sampling in Archaeology, Cambridge 2000.
- PETERSON 1988a = J. W. M. PETERSON, Roman cadastres in Britain 1. South Norfolk A, Dialogues d'histoire ancienne 14, 1988, 167–199.
- PETERSON 1988b = J. W. M. PETERSON, Information systems and the interpretation of Roman cadastres. In: S. P. Q. Rahtz (Hrsg.), Computer and Quantitative Methods in Archaeology 1988 – CAA 88, BAR Internat. Ser. 446, Oxford 1988, 133–149.
- PETERSON 1992a = J. PETERSON, Fourier analysis of field boundaries. In: G. Lock – J. Moffet (Hrsg.), Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1991, BAR Int. Ser. S577, Oxford 1992, 149–156.
- PETERSON 1992b = J. W. M. PETERSON, Trigonometry in Roman cadastres. In: J.-Y. Guillaumin (Hrsg.), Mathématiques dans l'Antiquité. Mém. Centre Jean-Palmerie 11, St. Etienne 1992, 185–203.
- PETERSON 1996a = J. PETERSON, Using Fourier analysis to identify the most significant subdivisions of a centuriation (1996). <http://www.sys.uea.ac.uk/Research/researchareas/JWMP/compmethods/cadfourier.html> (2004–03–09).
- PETERSON 1996b = J. PETERSON, A glossary of terms used in Roman land surveying (1996). <http://www.sys.uea.ac.uk/Research/researchareas/JWMP/glossary.html> (2004–11–01).

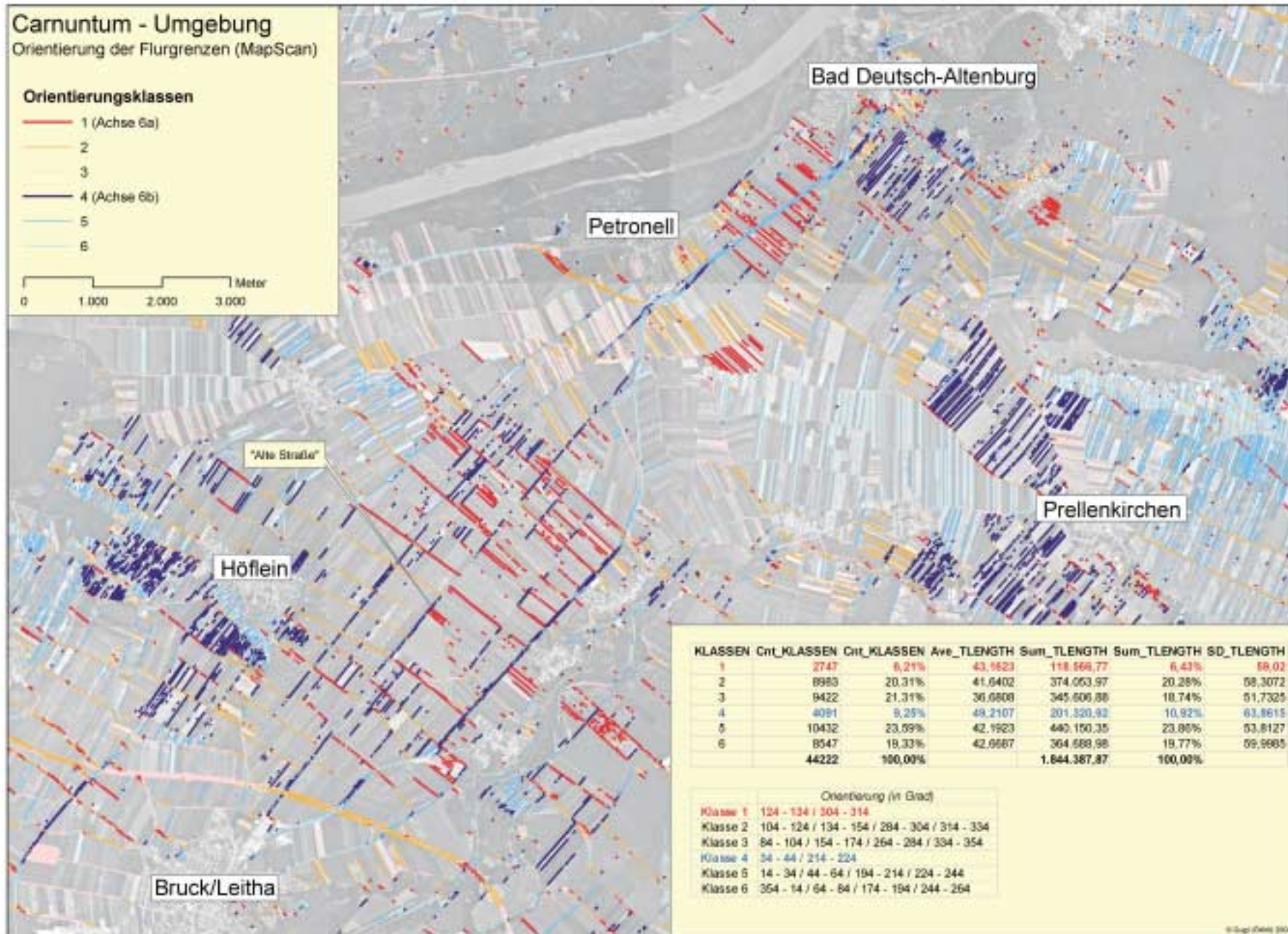
- 
- PETERSON 1997 = J. PETERSON, Local parcelling in the South Norfolk A cadastre (1997). <http://www2.cmp.uea.ac.uk/Research/researchareas/JWMP/evoluzioni/evoljp1.html> (2004-03-09).
- SCHÜTZ – HÄUBER 2001 = F. X. SCHÜTZ – CH. HÄUBER, Reconstructing ancient Rome, using Remote Sensing and GIS-Technology: the Archaeological Information System FORTVNA, Regensburger Geogr. Schr. 35, 2001, 283–294.
- SLAPŠAK – STANČIČ 1998 = B. SLAPŠAK – Z. STANČIČ, Down to the millimetre – GIS in metrological study of ancient land divisions. In: J. Peterson (Hrsg.), The use of Geographic Information Systems in the study of ancient landscapes and features related to ancient land use, Kongressber. Ljubljana 1996, COST Action G2 – Paysages antiques et structures rurales, Luxemburg 1998, 105–110.
- SWAN – SANDILANDS 1995 = A. R. H. SWAN – M. SANDILANDS, Introduction to Geological Data Analysis, Oxford/Northampton 1995.
- TASSAUX – MATIJAŠIĆ – KOVAČIĆ 2001 = F. TASSAUX – R. MATIJAŠIĆ – V. KOVAČIĆ (Hrsg.), Loron (Croatie). Un grand centre de production d' amphores à huile istriennes (Ier–IVe s. p.C.), Ausonius Publ. Mém.6, Bordeaux 2001.
- UHLENBROOK et al. 2001 = ST. UHLENBROOK – A. STEINBRICH – D. TETZLAFF – CH. LEIBUNDGUT, Zusammenhang zwischen extremen Hochwassern und ihren Einflussgrößen. In: Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, KLIWA-Berichte 1 (Karlsruhe 2001) 187–203 (<http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/media/vortrag13.pdf>) (2004-11-21).
- VERMEULEN – HAGEMAN – WIEDEMANN 2000 = F. VERMEULEN – B. HAGEMAN – T. WIEDEMANN, Photo-interprétation, cartographie et analyse dans le cadre d'un SIG des systèmes spatiaux anciens. L'archéologie des routes et parcellaires romaines en Gaule Belgique septentrionale. In: F. Vermeulen – M. De Dapper (Hrsg.), Geoarchaeology of the Landscapes of Classical Antiquity, Kongressber. Ghent 1998, Babesch Suppl. 5, Leiden 2000, 219–233.
- WIEDEMANN – ANTROP – VERMEULEN 2001a = T. WIEDEMANN – A. ANTROP – F. VERMEULEN, GIS-analysis of possible ancient normative field systems in the Civitas Menapiorum. In: F. Vermeulen – M. Antrop (Hrsg.), Ancient Lines in the Landscape. A Geo-Archaeological Study of the Protohistoric Roman Roads and Field Systems in Northwestern Gaul, Babesch Suppl. 7, Leuven 2001, 117–138.
- WIEDEMANN – ANTROP – VERMEULEN 2001b = T. WIEDEMANN – M. ANTROP – F. VERMEULEN, Analysis of the Roman road system around Cassel and application of a GIS-model in Sandy Flanders. In: F. Vermeulen – M. Antrop (Hrsg.), Ancient Lines in the Landscape. A Geo-Archaeological Study of the Protohistoric Roman Roads and Field Systems in Northwestern Gaul, Babesch Suppl. 7, Leuven 2001, 83–96.

Vorgelegt von k. M. FRIEDRICH KRINZINGER  
in der Sitzung am 18. März 2005.

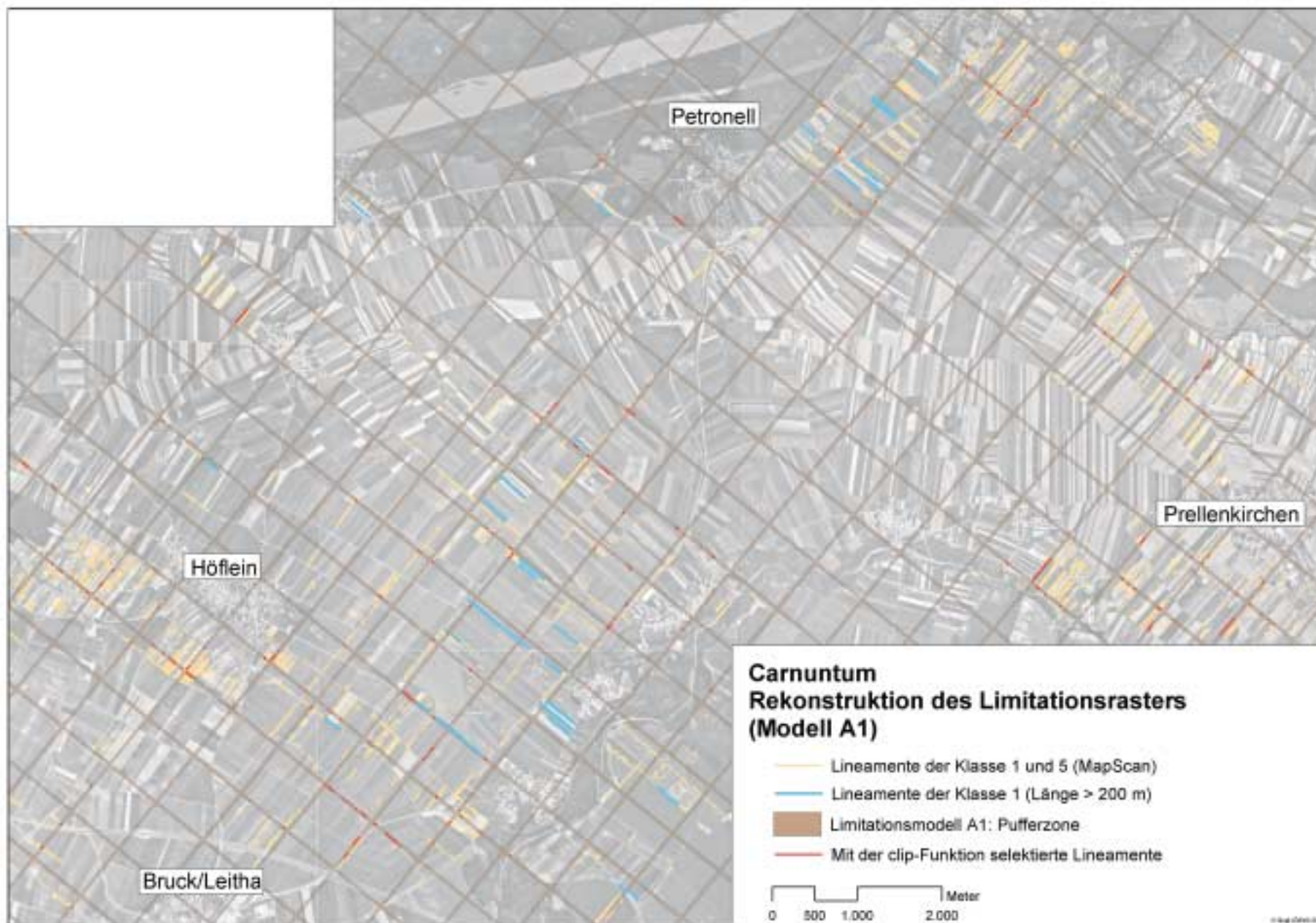














---

## ABBILDUNGSNACHWEIS

Abb. 2.1	BRADFORD 1957, Taf. 42
Abb. 2.2	HEIMBERG 1977, Abb. 10
Abb. 2.3	Ch. Gugl. – Kartengrundlage: Farb-Orthofotos (Land Niederösterreich/BEV 0037/2003)
Abb. 2.4	Ch. Gugl. – Kartengrundlage: SW-Orthofotos (Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien)
Abb. 2.5	KANDLER 1974, Abb. 7
Abb. 3.1	FAVORY 1980, Abb. 4b
Abb. 3.2	SWAN – SANDILANDS 1995, Abb. 5.4 (b)–(c)
Abb. 3.3	MARDIA – JUPP 2000, Abb. 3.1
Abb. 3.4	Ch. Gugl. – Kartengrundlage: CNES/SPOT Image 1992–1994
Abb. 4.1	Ch. Gugl. – Kartengrundlagen: Farb-Orthofoto (Land Niederösterreich/BEV 0037/2003); SW-Orthofoto (BEV EB 2003/01203)
Abb. 4.2–4.8	Ch. Gugl.
Abb. 4.9	Ch. Gugl. – Kartengrundlage: SW-Orthofoto (BEV EB 2003/01203)
Abb. 4.11–4.12	Ch. Gugl.
Beilagen 1–2	Ch. Gugl.
Beilagen 3–4	Ch. Gugl. – Kartengrundlage: SW-Orthofotos (BEV EB 2003/01203)

## STATISTISCHER ANHANG

### Anhang A

Franziszeischer Kataster: Statistische Maßzahlen der Untersuchungseinheiten

### Anhang B

Digitale Katastermappe: Statistische Maßzahlen der Untersuchungseinheiten

### Anhang C

Digitale Katastermappe: Statistische Maßzahlen der Sektoren des Testgebiets

### Anhang D

Vektorisierung mit MapScan: Statistische Maßzahlen der Sektoren des Testgebiets

### Anhang E

Vektorisierung mit GRASS GIS: Statistische Maßzahlen der Sektoren des Testgebiets





SEKTOR	Cnt_SEKTOR	Cnt_SEKTOR	Ave_TLENGTH	Sum_TLENGTH	Sum_TLENGTH	SD_TLENGTH	Dichte		
N1-E1	59	0,70%	31,7789	1.874,95	0,33%	28,6775	0,75		Dichte
N1-E2	201	2,37%	50,7268	10.196,08	1,77%	60,3826	4,08		Mittelwert
N1-E3	119	1,40%	72,9372	8.679,53	1,51%	75,8736	3,47		Minimum
N1-E4	64	0,75%	135,2726	8.657,45	1,50%	137,2587	3,46		Maximum
N1-E5	72	0,85%	100,9193	7.268,19	1,26%	126,7099	2,91		Standardabweichung
N1-E6	32	0,38%	198,682	6.357,82	1,10%	218,5786	2,54		
N1-E7	119	1,40%	63,2372	7.525,23	1,31%	53,783	3,01		
N1-E8	107	1,26%	73,727	7.888,79	1,37%	81,1439	3,16		
N1-E9	110	1,30%	85,9932	9.459,26	1,64%	84,5749	3,78		
N1-E10	192	2,26%	63,328	12.158,98	2,11%	79,0432	4,86		
N2-E2	133	1,57%	53,531	7.119,63	1,24%	66,4444	2,85		
N2-E3	96	1,13%	88,2154	8.468,68	1,47%	88,9419	3,39		
N2-E4	126	1,48%	63,226	7.966,48	1,38%	74,4618	3,19		
N2-E5	94	1,11%	77,6343	7.297,62	1,27%	81,6949	2,92		
N2-E6	87	1,02%	77,5933	6.750,62	1,17%	74,1267	2,70		
N2-E7	37	0,44%	208,5683	7.717,03	1,34%	217,0427	3,09		
N2-E8	75	0,88%	108,3885	8.129,13	1,41%	117,5826	3,25		
N2-E9	114	1,34%	85,0277	9.693,15	1,68%	108,106	3,88		
N2-E10	156	1,84%	38,5242	6.009,78	1,04%	26,3844	2,40		
N3-E2	5	0,06%	13,9535	69,77	0,01%	19,0278	0,03		
N3-E3	89	1,05%	37,9735	3.379,64	0,59%	44,8467	1,35		
N3-E4	62	0,73%	70,4879	4.370,25	0,76%	83,4871	1,75		
N3-E5	224	2,64%	40,8521	9.150,87	1,59%	67,3392	3,66		
N3-E6	132	1,56%	64,6682	8.536,21	1,48%	97,2063	3,41		
N3-E7	43	0,51%	98,002	4.214,08	0,73%	136,8744	1,69		
N3-E8	230	2,71%	60,2554	13.858,75	2,40%	72,0198	5,54		
N3-E9	197	2,32%	50,4481	9.938,27	1,72%	64,3178	3,98		
N4-E4	111	1,31%	37,2306	4.132,60	0,72%	35,5431	1,65		
N4-E5	306	3,61%	25,8418	7.907,59	1,37%	24,7597	3,16		
N4-E6	231	2,72%	40,0837	9.259,33	1,61%	42,8943	3,70		
N4-E7	175	2,06%	56,1349	9.823,60	1,70%	77,3364	3,93		
N4-E8	338	3,98%	37,7005	12.742,76	2,21%	39,0381	5,10		
N4-E9	172	2,03%	27,5207	4.733,56	0,82%	28,5378	1,89		
N5-E6	152	1,79%	26,2145	3.984,60	0,69%	28,9597	1,59		
N5-E7	149	1,76%	33,5004	4.991,56	0,87%	38,6161	2,00		
N6-E6	20	0,24%	8,9552	179,10	0,03%	8,975	0,07		
S1-E1	265	3,12%	47,1279	12.488,88	2,17%	58,1459	5,00		
S1-E2	97	1,14%	92,6167	8.983,82	1,56%	115,4026	3,59		
S1-E3	77	0,91%	102,786	7.914,52	1,37%	99,9038	3,17		
S1-E4	45	0,53%	108,2506	4.871,28	0,85%	121,6002	1,95		
S1-E5	29	0,34%	193,4239	5.609,29	0,97%	186,8228	2,24		
S1-E6	62	0,73%	82,5511	5.118,17	0,89%	105,7036	2,05		
S1-E7	42	0,49%	228,9179	9.614,55	1,67%	214,8188	3,85		
S1-E8	171	2,01%	43,5698	7.450,43	1,29%	40,7203	2,98		
S1-E9	141	1,66%	64,0039	9.024,55	1,57%	84,7641	3,61		
S1-E10	66	0,78%	96,4152	6.363,41	1,10%	114,9945	2,55		
S2-E1	95	1,12%	87,6627	8.327,95	1,44%	113,4937	3,33		
S2-E2	76	0,90%	98,5385	7.488,93	1,30%	102,3881	3,00		
S2-E3	68	0,80%	101,9885	6.935,22	1,20%	99,5688	2,77		
S2-E4	16	0,19%	379,0351	6.064,56	1,05%	188,3504	2,43		
S2-E5	39	0,46%	112,4125	4.384,09	0,76%	114,598	1,75		
S2-E6	5	0,06%	255,7181	1.278,59	0,22%	303,0056	0,51		
S2-E7	121	1,43%	76,3087	9.233,35	1,60%	80,5053	3,69		
S2-E8	233	2,75%	45,4134	10.581,32	1,84%	55,4583	4,23		
S2-E9	121	1,43%	56,0871	6.786,54	1,18%	63,6052	2,71		
S2-E10	99	1,17%	53,1659	5.263,43	0,91%	69,0806	2,11		
S3-E1	72	0,85%	106,5431	7.671,11	1,33%	153,7259	3,07		
S3-E2	69	0,81%	93,5226	6.453,06	1,12%	134,4565	2,58		
S3-E3	101	1,19%	73,4477	7.418,22	1,29%	80,835	2,97		
S3-E4	49	0,58%	142,456	6.980,34	1,21%	149,7142	2,79		
S3-E5	23	0,27%	162,8202	3.744,87	0,65%	181,5516	1,50		
S3-E6	46	0,54%	92,928	4.274,69	0,74%	104,4753	1,71		
S3-E7	130	1,53%	62,512	8.126,57	1,41%	83,3032	3,25		
S3-E8	164	1,93%	82,0562	13.457,21	2,33%	85,662	5,38		
S3-E9	50	0,59%	99,2831	4.964,16	0,86%	124,9675	1,99		
S3-E10	87	1,02%	71,3298	6.205,69	1,08%	81,7178	2,48		
S4-E1	145	1,71%	51,5435	7.473,80	1,30%	79,5045	2,99		
S4-E2	230	2,71%	49,242	11.325,65	1,96%	76,9758	4,53		
S4-E3	94	1,11%	83,5602	7.854,66	1,36%	84,7796	3,14		
S4-E4	66	0,78%	96,7002	6.382,21	1,11%	126,1795	2,55		
S4-E5	38	0,45%	128,3414	4.876,97	0,85%	142,7793	1,95		
S4-E6	10	0,12%	470,6279	4.706,28	0,82%	126,8019	1,88		
S4-E7	94	1,11%	110,9121	10.425,74	1,81%	122,4811	4,17		
S4-E8	98	1,15%	62,1728	6.092,93	1,06%	65,3426	2,44		
S4-E9	19	0,22%	76,1365	1.446,59	0,25%	93,5775	0,58		
S5-E1	53	0,62%	119,6655	6.342,27	1,10%	153,9994	2,54		
S5-E2	54	0,64%	114,4366	6.179,57	1,07%	142,1009	2,47		
S5-E3	81	0,95%	103,6878	8.398,71	1,46%	119,5508	3,36		
S5-E4	76	0,90%	102,4941	7.789,55	1,35%	122,8919	3,12		
S5-E5	33	0,39%	167,167	5.516,51	0,96%	191,8141	2,21		
S5-E6	65	0,77%	86,2747	5.607,86	0,97%	99,3568	2,24		
S5-E7	34	0,40%	53,3491	1.813,87	0,31%	32,7384	0,73		
S5-E8	10	0,12%	59,29	592,90	0,10%	65,7263	0,24		
	<b>8488</b>	<b>100,00%</b>		<b>576.393,82</b>	<b>100,00%</b>				

Vektorisierung mit MapScan:  
 Statistische Maßzahlen der Sektoren des Testgebiets

ANHANG D

SEKTOR	Cnt_SEKTOR	Cnt_SEKTOR	Ave_TLENGTH	Sum_TLENGTH	Sum_TLENGTH	SD_TLENGTH	Dichte		
N1-E1	15	0,32%	40,5295	607,94	0,31%	46,5271	0,24		
N1-E2	88	1,87%	40,082	3.527,21	1,82%	46,7324	1,41	Dichte	
N1-E3	100	2,12%	47,4295	4.742,95	2,45%	77,566	1,90	Mittelwert	0,93
N1-E4	98	2,08%	30,3298	2.972,32	1,53%	28,7764	1,19	Minimum	0,00
N1-E5	53	1,12%	26,3652	1.397,35	0,72%	23,7481	0,56	Maximum	2,48
N1-E6	45	0,96%	41,4321	1.864,45	0,96%	64,4473	0,75	Standardabweichung	0,523
N1-E7	51	1,08%	22,242	1.134,34	0,59%	19,3091	0,45		
N1-E8	47	1,00%	34,1131	1.603,32	0,83%	39,9101	0,64		
N1-E9	56	1,19%	55,7163	3.120,11	1,61%	67,0048	1,25		
N1-E10	57	1,21%	49,4146	2.816,63	1,45%	60,6324	1,13		
N2-E2	70	1,49%	38,653	2.705,71	1,40%	39,0741	1,08		
N2-E3	61	1,29%	30,0462	1.832,82	0,95%	30,7295	0,73		
N2-E4	87	1,85%	50,1028	4.358,94	2,25%	90,5372	1,74		
N2-E5	95	2,02%	30,2353	2.872,36	1,48%	37,0704	1,15		
N2-E6	79	1,68%	32,6583	2.580,01	1,33%	35,8961	1,03		
N2-E7	73	1,55%	28,5552	2.084,53	1,08%	29,9765	0,83		
N2-E8	57	1,21%	39,2217	2.235,63	1,15%	41,2874	0,89		
N2-E9	46	0,98%	39,3922	1.812,04	0,94%	41,4608	0,72		
N2-E10	46	0,98%	32,5822	1.498,78	0,77%	35,155	0,60		
N3-E2	0	0,00%	-	0,00	0,00%	-	0,00		
N3-E3	39	0,83%	24,1277	940,98	0,49%	17,6087	0,38		
N3-E4	58	1,23%	25,8278	1.498,01	0,77%	25,9373	0,60		
N3-E5	106	2,25%	44,856	4.754,73	2,45%	61,0176	1,90		
N3-E6	122	2,59%	36,0124	4.393,51	2,27%	40,0118	1,76		
N3-E7	36	0,76%	74,1907	2.670,86	1,38%	123,6988	1,07		
N3-E8	114	2,42%	39,5219	4.505,50	2,32%	49,9938	1,80		
N3-E9	174	3,69%	32,6516	5.681,37	2,93%	44,1974	2,27		
N4-E4	56	1,19%	31,3203	1.753,94	0,91%	23,1255	0,70		
N4-E5	35	0,74%	22,4739	786,59	0,41%	16,2048	0,31		
N4-E6	137	2,91%	34,6628	4.748,80	2,45%	35,9497	1,90		
N4-E7	76	1,61%	37,9824	2.886,66	1,49%	41,7982	1,15		
N4-E8	91	1,93%	35,2793	3.210,41	1,66%	40,2748	1,28		
N4-E9	15	0,32%	47,4514	711,77	0,37%	52,1626	0,28		
N5-E6	54	1,15%	23,0185	1.243,00	0,64%	23,9329	0,50		
N5-E7	224	4,75%	24,0696	5.391,60	2,78%	20,1231	2,16		
N6-E6	10	0,21%	11,9571	119,57	0,06%	15,7074	0,05		
S1-E1	164	3,48%	37,8608	6.209,18	3,20%	44,981	2,48		
S1-E2	77	1,63%	30,5435	2.351,85	1,21%	31,8655	0,94		
S1-E3	55	1,17%	34,8332	1.915,82	0,99%	28,0302	0,77		
S1-E4	51	1,08%	42,8771	2.186,73	1,13%	44,3445	0,87		
S1-E5	66	1,40%	31,4783	2.077,57	1,07%	45,8477	0,83		
S1-E6	34	0,72%	43,7922	1.488,94	0,77%	42,4321	0,60		
S1-E7	51	1,08%	46,883	2.391,03	1,23%	57,2352	0,96		
S1-E8	53	1,12%	23,7617	1.259,37	0,65%	19,1338	0,50		
S1-E9	66	1,40%	45,902	3.029,53	1,56%	53,9246	1,21		
S1-E10	48	1,02%	50,2439	2.411,71	1,24%	50,3399	0,96		
S2-E1	49	1,04%	48,3284	2.368,09	1,22%	37,3265	0,95		
S2-E2	27	0,57%	58,6203	1.582,75	0,82%	68,2876	0,63		
S2-E3	16	0,34%	59,3143	949,03	0,49%	55,2273	0,38		
S2-E4	27	0,57%	73,2911	1.978,86	1,02%	93,8576	0,79		
S2-E5	27	0,57%	55,3963	1.495,70	0,77%	62,6703	0,60		
S2-E6	2	0,04%	15,3913	30,78	0,02%	9,0586	0,01		
S2-E7	43	0,91%	59,8754	2.574,64	1,33%	52,3131	1,03		
S2-E8	59	1,25%	47,3068	2.791,10	1,44%	42,6341	1,12		
S2-E9	24	0,51%	68,2077	1.636,98	0,84%	75,6482	0,65		
S2-E10	51	1,08%	47,1681	2.405,57	1,24%	58,5305	0,96		
S3-E1	120	2,55%	35,6232	4.274,78	2,21%	35,4903	1,71		
S3-E2	55	1,17%	61,2972	3.371,35	1,74%	62,8815	1,35		
S3-E3	25	0,53%	82,9193	2.072,98	1,07%	72,8319	0,83		
S3-E4	35	0,74%	81,284	2.844,94	1,47%	110,2586	1,14		
S3-E5	36	0,76%	51,9963	1.871,87	0,97%	40,4412	0,75		
S3-E6	20	0,42%	83,5898	1.671,80	0,86%	107,3225	0,67		
S3-E7	37	0,79%	47,5351	1.758,80	0,91%	52,2426	0,70		
S3-E8	44	0,93%	79,1297	3.481,71	1,80%	74,3114	1,39		
S3-E9	42	0,89%	55,0265	2.311,11	1,19%	56,5252	0,92		
S3-E10	25	0,53%	59,7821	1.494,55	0,77%	53,6054	0,60		
S4-E1	41	0,87%	34,4196	1.411,20	0,73%	24,5134	0,56		
S4-E2	87	1,85%	46,5981	4.054,04	2,09%	65,6993	1,62		
S4-E3	38	0,81%	54,8452	2.084,12	1,08%	52,8048	0,83		
S4-E4	32	0,68%	56,4832	1.807,46	0,93%	51,6541	0,72		
S4-E5	30	0,64%	72,6357	2.179,07	1,12%	69,1523	0,87		
S4-E6	39	0,83%	37,9341	1.479,43	0,76%	59,9281	0,59		
S4-E7	71	1,51%	51,3478	3.645,70	1,88%	53,0212	1,46		
S4-E8	41	0,87%	58,528	2.399,65	1,24%	44,6129	0,96		
S4-E9	12	0,25%	23,3307	279,97	0,14%	18,2083	0,11		
S5-E1	13	0,28%	51,5914	670,69	0,35%	37,5188	0,27		
S5-E2	48	1,02%	46,3887	2.226,66	1,15%	55,7247	0,89		
S5-E3	52	1,10%	50,7705	2.640,06	1,36%	51,7391	1,06		
S5-E4	43	0,91%	62,9165	2.705,41	1,40%	91,816	1,08		
S5-E5	67	1,42%	40,4754	2.711,85	1,40%	50,5409	1,08		
S5-E6	76	1,61%	44,4435	3.377,71	1,74%	57,0215	1,35		
S5-E7	16	0,34%	32,4406	519,05	0,27%	32,1966	0,21		
S5-E8	6	0,13%	41,3635	248,18	0,13%	53,163	0,10		
	<b>712</b>	<b>100,00%</b>		<b>193.794,12</b>	<b>100,00%</b>				

Vektorisierung mit GRASS GIS:  
 Statistische Maßzahlen der Sektoren des Testgebiets

ANHANG E

SEKTOREN	Cnt_SEKTOR	Cnt_SEKTOR	Ave_TLENGTH	Sum_TLENGTH	Sum_TLENGTH	SD_TLENGTH	Dichte			
N1-E1	24	0,29%	26,4817	635,56	0,32%	34,2589	0,25	Dichte		
N1-E2	101	1,22%	29,0377	2,932,80	1,47%	40,3033	1,17	Mittelwert	0,96	
N1-E3	90	1,08%	42,4118	3,817,06	1,92%	84,0319	1,53	Minimum	0,00	
N1-E4	99	1,19%	20,3125	2,010,94	1,01%	24,9682	0,80	Maximum	2,34	
N1-E5	51	0,61%	19,0664	972,39	0,49%	18,3892	0,39	Standardabweichung	0,52	
N1-E6	71	0,85%	29,7205	2,110,15	1,06%	52,1483	0,84			
N1-E7	62	0,75%	15,4908	960,43	0,48%	13,3173	0,38			
N1-E8	71	0,85%	25,1949	1,788,84	0,90%	31,3933	0,72			
N1-E9	40	0,48%	73,3055	2,932,22	1,47%	97,3552	1,17			
N1-E10	101	1,22%	26,2062	2,646,83	1,33%	37,3718	1,06			
N2-E2	96	1,16%	28,1547	2,702,85	1,36%	33,4508	1,08			
N2-E3	71	0,85%	21,3343	1,514,74	0,76%	29,4633	0,61			
N2-E4	74	0,89%	52,6914	3,899,16	1,96%	99,0913	1,56			
N2-E5	124	1,49%	19,252	2,387,24	1,20%	30,5692	0,95			
N2-E6	106	1,28%	17,8611	1,893,28	0,95%	27,5042	0,76			
N2-E7	101	1,22%	21,2006	2,141,26	1,07%	27,4024	0,86			
N2-E8	91	1,10%	22,6975	2,065,47	1,04%	24,9907	0,83			
N2-E9	78	0,94%	23,5283	1,835,21	0,92%	30,119	0,73			
N2-E10	80	0,96%	22,0158	1,761,26	0,88%	31,5728	0,70			
N3-E2	0	0,00%	-	0,00	0,00%	-	0,00			
N3-E3	71	0,85%	19,7035	1,398,95	0,70%	14,2641	0,56			
N3-E4	86	1,04%	18,3734	1,580,11	0,79%	19,2451	0,63			
N3-E5	126	1,52%	33,7293	4,249,90	2,13%	59,5287	1,70			
N3-E6	172	2,07%	23,2123	3,992,52	2,00%	33,1512	1,60			
N3-E7	66	0,79%	37,4364	2,470,80	1,24%	85,8015	0,99			
N3-E8	194	2,34%	24,9543	4,841,13	2,43%	31,1118	1,94			
N3-E9	263	3,17%	22,2763	5,858,67	2,94%	35,7047	2,34			
N4-E4	118	1,42%	19,1475	2,259,41	1,13%	20,0515	0,90			
N4-E5	58	0,70%	15,7779	915,12	0,46%	15,3449	0,37			
N4-E6	215	2,59%	23,227	4,993,81	2,51%	33,4274	2,00			
N4-E7	123	1,48%	26,2089	3,223,70	1,62%	29,7424	1,29			
N4-E8	132	1,59%	25,9189	3,421,29	1,72%	31,1263	1,37			
N4-E9	40	0,48%	25,1229	1,004,91	0,50%	32,2482	0,40			
N5-E6	66	0,79%	17,4696	1,153,00	0,58%	22,4381	0,46			
N5-E7	378	4,55%	15,3289	5,794,34	2,91%	14,7605	2,32			
N6-E6	5	0,06%	22,4137	112,07	0,06%	18,403	0,04			
S1-E1	195	2,35%	25,5796	4,988,01	2,50%	39,1135	2,00			
S1-E2	56	0,67%	22,3223	1,250,05	0,63%	32,4646	0,50			
S1-E3	40	0,48%	18,1914	727,66	0,37%	20,9539	0,29			
S1-E4	75	0,90%	23,2923	1,746,92	0,88%	32,5924	0,70			
S1-E5	76	0,91%	26,0893	1,982,79	1,00%	42,266	0,79			
S1-E6	45	0,54%	28,7565	1,294,04	0,65%	41,154	0,52			
S1-E7	75	0,90%	36,9343	2,695,08	1,35%	53,8389	1,08			
S1-E8	78	0,94%	14,5935	1,138,30	0,57%	10,4151	0,46			
S1-E9	108	1,30%	29,6503	3,202,23	1,61%	41,3514	1,28			
S1-E10	107	1,29%	25,2165	2,698,16	1,35%	37,0595	1,08			
S2-E1	86	1,04%	23,4125	2,013,47	1,01%	29,1095	0,81			
S2-E2	36	0,43%	38,3071	1,379,06	0,69%	72,1509	0,55			
S2-E3	47	0,57%	23,5978	1,109,09	0,56%	42,4917	0,44			
S2-E4	73	0,88%	23,474	1,713,60	0,86%	36,4809	0,69			
S2-E5	76	0,91%	22,8411	1,735,92	0,87%	41,4186	0,69			
S2-E6	8	0,10%	9,9353	79,48	0,04%	2,4904	0,03			
S2-E7	141	1,70%	21,4791	3,028,56	1,52%	27,0866	1,21			
S2-E8	154	1,85%	18,4793	2,845,82	1,43%	23,9713	1,14			
S2-E9	65	0,78%	29,214	1,898,91	0,95%	42,8549	0,76			
S2-E10	180	2,17%	18,4926	3,328,66	1,67%	22,1269	1,33			
S3-E1	142	1,71%	19,6995	2,797,32	1,40%	34,3525	1,12			
S3-E2	80	0,96%	38,6942	3,095,53	1,55%	54,9937	1,24			
S3-E3	48	0,58%	53,6703	2,576,17	1,29%	70,8429	1,03			
S3-E4	95	1,14%	29,6251	2,814,39	1,41%	81,4686	1,13			
S3-E5	122	1,47%	17,6875	2,157,87	1,08%	20,1008	0,86			
S3-E6	51	0,61%	35,5983	1,815,52	0,91%	63,4172	0,73			
S3-E7	106	1,28%	22,0315	2,335,34	1,17%	35,4051	0,93			
S3-E8	125	1,50%	37,032	4,629,00	2,32%	59,8808	1,85			
S3-E9	101	1,22%	29,4162	2,971,04	1,49%	41,5679	1,19			
S3-E10	39	0,47%	42,0514	1,640,00	0,82%	56,2002	0,66			
S4-E1	139	1,67%	16,4376	2,284,83	1,15%	21,0213	0,91			
S4-E2	221	2,66%	22,2163	4,909,80	2,46%	38,3683	1,96			
S4-E3	130	1,56%	24,1145	3,134,88	1,57%	40,7284	1,25			
S4-E4	100	1,20%	23,3992	2,339,92	1,17%	30,077	0,94			
S4-E5	92	1,11%	27,8341	2,560,73	1,29%	35,1553	1,02			
S4-E6	80	0,96%	22,9103	1,832,82	0,92%	27,7374	0,73			
S4-E7	111	1,34%	31,8072	3,530,60	1,77%	52,863	1,41			
S4-E8	72	0,87%	35,9169	2,586,02	1,30%	33,8397	1,03			
S4-E9	20	0,24%	27,0637	541,27	0,27%	21,5769	0,22			
S5-E1	44	0,53%	20,552	904,29	0,45%	25,3203	0,36			
S5-E2	161	1,94%	18,3241	2,950,18	1,48%	21,219	1,18			
S5-E3	140	1,69%	22,071	3,089,95	1,55%	24,3652	1,24			
S5-E4	157	1,89%	22,0763	3,466,98	1,74%	31,9134	1,39			
S5-E5	252	3,03%	14,6689	3,696,55	1,86%	17,4109	1,48			
S5-E6	237	2,85%	18,2666	4,329,19	2,17%	16,6447	1,73			
S5-E7	68	0,82%	11,7939	801,98	0,40%	8,8525	0,32			
S5-E8	9	0,11%	31,6175	284,56	0,14%	30,0952	0,11			
	<b>8307</b>	<b>100,00%</b>		<b>199.208,96</b>	<b>100,00%</b>					